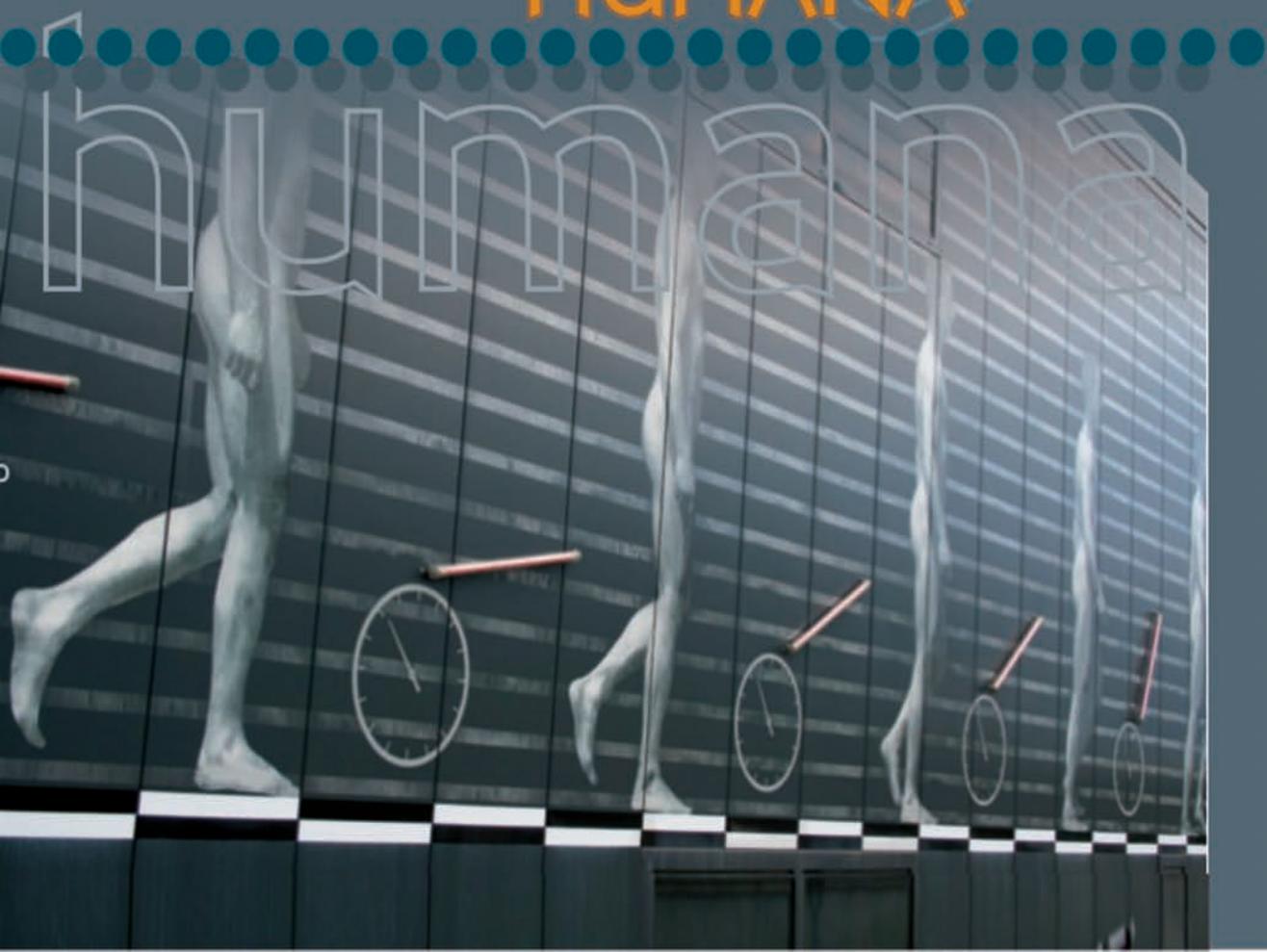


Néstor Estrada
Liliana Maulini
Raúl Montenegro
Raquel Murialdo

BIOLOGÍA HUMANA



Biología Humana

 Editorial Brujas

Néstor Estrada
Liliana Maulini
Raúl Montenegro
Raquel Murialdo

Biología humana / Liliana Maulini ... [et.al.]. - 1a ed. - Córdoba : Brujas, 2010.
400 p. ; 24x15 cm.

ISBN 978-987-591-203-8

1. Biología Humana. I. Maulini, Liliana
CDD 611.018

© de todas las ediciones Raúl Montenegro/Néstor Estrada/Liliana Maulini/Raquel Murialdo

© 2010 Editorial Brujas

Impreso en Argentina

ISBN: 978-987-591-203-8

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723.

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de tapa, puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio, ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o por fotocopia sin autorización previa.



www.editorialbrujas.com.ar publicaciones@editorialbrujas.com.ar

Tel/fax: (0351) 4606044 / 4609261 - Pasaje España 1485 Córdoba - Argentina.

Índice

Capítulo 1	5
<i>Biología: conceptos y generalidades.</i>	
<i>Método Científico.</i>	
<i>El rol del Psicólogo.</i>	
Capítulo 2	13
<i>Modelo no formal de conducta humana.</i>	
Capítulo 3	25
<i>Niveles de Organización de la Materia.</i>	
<i>Características de los Seres Vivos.</i>	
<i>Evolución: origen de la vida.</i>	
<i>Evolución: la vida a través de los tiempos geológicos.</i>	
<i>Diversidad de los seres vivos: los reinos biológicos.</i>	
<i>Diversidad de Razas y Culturas.</i>	
Capítulo 4	49
<i>Composición química de los seres vivos.</i>	
Capítulo 5	65
<i>Célula: organización estructural y funcional.</i>	
Capítulo 6	105
<i>Tejidos</i>	
<i>Nutrición: sistemas: Circulatorio, Respiratorio,</i>	
<i>Digestivo, Excretor.</i>	
<i>Sistema Nervioso.</i>	
Capítulo 7	157
<i>Genes y Cromosomas.</i>	
<i>Genotipo y Fenotipo.</i>	
<i>Dominancia y Recesividad.</i>	
<i>Frecuencias Génicas.</i>	
<i>Alteraciones Génicas y Cromosómicas.</i>	
<i>Cáncer e Información Genética.</i>	
<i>Genética, Biotecnología y Nosotros.</i>	
Capítulo 8	179
<i>Sistema Reprodutor Femenino.</i>	
<i>Sistema Reprodutor Masculino.</i>	
<i>Gametogénesis.</i>	
<i>Conducta Sexual Humana.</i>	
<i>Métodos Contraceptivos.</i>	

Capítulo 9	199
<i>Sistema Endócrino: generalidades.</i> <i>Principales Glándulas y Hormonas.</i> <i>Mecanismo de Feed Back.</i> <i>Homeostasis.</i> <i>Hormonas y Conducta.</i>	
Capítulo 10	235
<i>Desarrollo del Ser Humano.</i> <i>Fecundación e Implantación.</i> <i>Desarrollo Embrionario y Fetal.</i> <i>Nacimiento.</i> <i>Alteraciones del Modelo Normal de Desarrollo.</i> <i>Clonación y Bioética.</i>	
Capítulo 11	265
<i>Evolución.</i> <i>Evolución Biológica. Modelo General.</i> <i>Fuentes de Variación Genética.</i> <i>Evolución del hombre.</i> <i>Evolución cultural.</i>	
Capítulo 12	295
<i>Ecología. Generalidades.</i> <i>Ecosistemas: Estructura, Funcionamiento, Regulación y Evolución.</i> <i>Ecosistemas ajustables.</i> <i>Ecodiversidad.</i> <i>Ecología Humana.</i> <i>Nicho Ecológico Flexible.</i> <i>Límites de la Adaptación Biológica y Cultural.</i> <i>Hacia Conductas Humanas Sostenibles.</i>	
Bibliografía	351

CAPÍTULO 1

- **Historia de la Biología.**
- **Método Científico.**
- **Disciplinas de la Biología.**
- **Aportes de la Biología a la Psicología.**

Autor: Biol. Raquel Murialdo

Primeros Conocimientos de la Biología

Es quizás en Grecia donde nace la biología como conocimiento organizado. Pero no es hasta la Edad Media donde se realizaron los primeros herbarios y bestiarios donde se describían tanto plantas como animales. Ya en el renacimiento, investigadores como Hunter (1728-1793) o Vesalio (1514-1564) estudiaron más exactamente las estructuras y funcionamiento de plantas, animales y también del hombre a partir de lo cual se basan los estudios de la anatomofisiología humana.

Con la utilización del microscopio ya en el siglo XVII se pudieron estudiar las estructuras a nivel de tejidos y se pudieron describir las primeras bacterias y Protistas. Es en el siglo XIX y más aún en el XX donde se amplían considerablemente los conocimientos en virtud de los nuevos adelantos tecnológicos, nuevos enfoques y por qué no a los adelantos de la física y de modo especial los avances de la química.

La Biología como Ciencia

El término Biología fue utilizado por primera vez alrededor del año 1800. Las actividades desplegadas por los naturalistas durante el siglo XIX determinaron que hacia final del mismo, la biología adquiriera el estatus de ciencia; puesto que la Biología es una ciencia y lo que distingue a una ciencia es su insistencia en un método riguroso para hacer el examen de un problema y sus intentos por diseñar experimentos y pruebas razonables con los cuales puedan validarse sus descubrimientos.

El método que utiliza es el científico, donde lo esencial es el planteo de las preguntas y la búsqueda de las respuestas a ellas.

Actualmente suele definirse a la biología *como la ciencia de la vida o la ciencia que estudia los seres vivos*. Sin embargo cuesta imaginarse, a partir de estas definiciones, cuál es realmente su campo de acción. En parte porque tanto el concepto de ciencia como el de vida son complejos.

Podríamos decir que las ciencias biológicas son el estudio sistemático de la vida; la biología, como cualquier otra ciencia, **no** es una lista de descubrimientos, es un modo de pensar. Tampoco consiste en dar nombres a animales y plantas; es la manera de ver el mundo que nos rodea, dando muestras de un espíritu curioso. Las ciencias no son un montón de fórmulas, son el método a partir del cual se puede construir el orden a partir del caos y la unidad a partir de la variedad. Las ciencias no representan conocimientos estériles, sino que posibilitan la adquisición de nuevos conocimientos que se suman al conjunto de los demás. Son un modo lógico de resolver un problema. Las ciencias no son la verdad fundamental, son la búsqueda inteligente de la verdad y esta búsqueda se encuentra entre la pregunta y la respuesta.

Método Científico

El método científico ayuda a los investigadores a utilizar los procesos del pensamiento de una manera racional, sistemática y que reduce al mínimo la posibilidad de errores, con el fin de des-

cubrir, definir y delinear la verdad.

La verdad científica es la concordancia con los hechos. Lo que se busca es una verdad demostrable que pueda ser presentada de manera lógica e innegable.

Con el método científico se trata de distinguir entre la verdad, tal como existe, y las creencias y opiniones sobre la verdad que no pueden ser demostradas; la verdad así concebida es objetiva, en tanto la opinión sobre la verdad es siempre subjetiva.

El método científico se basa en la observación precisa de experimentos, acontecimientos y fenómenos y lo más cuantitativa posible. De esta manera se podrá realizar un análisis y asignarle orden a lo observado.

La secuencia del Método Científico

Planteo del problema

El problema es la situación o fenómeno que se quiere estudiar. Si el problema es muy complejo, conviene subdividirlo en problemas más concretos y simples.

El problema debe ser bien claro, algunos autores prefieren resumir el problema en una pregunta a responder.

Revisión bibliográfica

Consiste en la búsqueda de antecedentes al problema planteado, problemas semejantes, etc. Significa que en una investigación no se parte de cero sino que siempre se pueden

encontrar antecedentes que ayudan a la investigación. Es aquí donde adquiere importancia la investigación bibliográfica.

Formulación de hipótesis

Toda hipótesis es una posible explicación del problema planteado, es decir una posible respuesta a la pregunta planteada.

Cuando se formula una hipótesis, implícitamente, se están relacionando dos o más variables. Es aconsejable explicitar las variables, tratar de formular más de una hipótesis, de modo que cada una de ellas relacione dos variables o tres como máximo.

Verificación de la hipótesis

Según sea el problema planteado, esta verificación puede hacerse usando diferentes procedimientos: experimentos, encuestas, relevamiento de datos, etc.

En todos los casos es conveniente la utilización de algún procedimiento estadístico para organizar los datos o resultados obtenidos y para analizar la incidencia de las variables consideradas en la explicación del problema.

Conclusiones

Es la confrontación de los resultados obtenidos en la verificación de la hipótesis con la hipótesis planteada.

Puede incluirse aquí la comparación con resultados obtenidos por otros investigadores para responder a preguntas similares.

- Es importante aclarar en este punto que los pasos del método cien-

tífico que señalamos constituyen una guía y no una receta mágica para resolver problemas; en un trabajo científico también entran en juego la intuición, la imaginación, y la pasión por conocer la verdad así como una buena cuota de horas para leer y estudiar.

La relación de la Biología con las otras ciencias

Las ciencias biológicas tienen relación con otras disciplinas que aportan su información y/o descubrimientos, las cuales se llaman disciplinas y/o ciencias relacionadas.

Existe una estrecha vinculación con la Química, Física, Geografía; basta pensar en la estructura molecular de un gen, que es el encargado de transmitir la información genética de generación en generación o conocer cuál es la estructura química de la membrana de una célula. También son bien conocidas las leyes de la termodinámica y su aplicación en las características de los seres vivos, las cuales provienen del campo de la física. O la importancia de la geografía en la distribución de diferentes comunidades y biomas.

No es menor la relación con otras ciencias como las Matemáticas, donde la importancia del análisis estadístico de los fenómenos biológicos es fundamental para poder llegar a verdad demostrable de manera lógica.

Un tratamiento especial merece la relación que existe entre la **Psicología y la Biología**. Ya ha pasado la época del divorcio y desconocimiento entre las ciencias biológicas y la psicología;

si la psicología es una ciencia, debe por lo tanto responder a criterios de rigor, es decir ser el fruto de una observación repetible y los fenómenos observados deben ser en lo posible **medibles** y **controlables**.

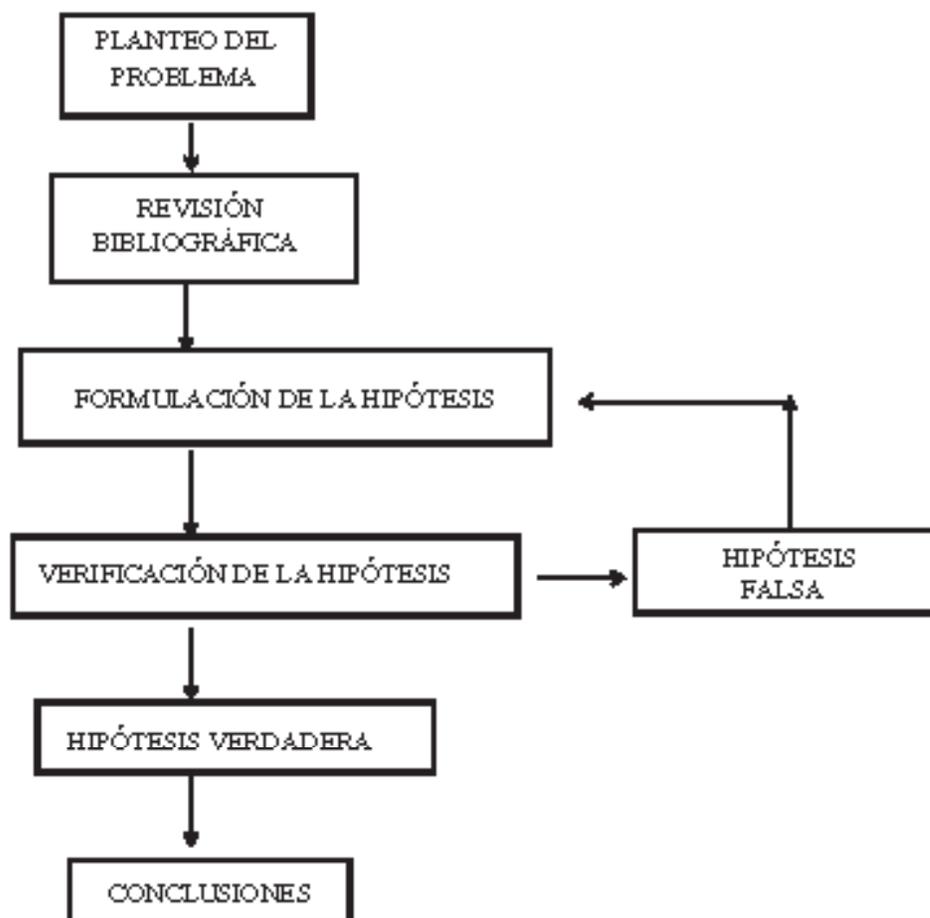
Para el hombre de **ciencia**, sólo cumpliendo con estas condiciones puede constituirse en un cuerpo con doctrina, base del conocimiento. Para el que estudia al hombre, es importante conocer la respuesta, ya sea individual o colectiva frente a los cambios de su medio, o sea, **el comportamiento o conducta individual o colectiva**. En la base de todo comportamiento y de sus alteraciones existe un sistema nervioso como estructura indispensable de este comportamiento (recuerde lo que sucede cuando se desconecta el Sistema Nervioso, el estado de coma, o la descerebración).

El comportamiento es la expresión de la personalidad, o sea, la respuesta del individuo frente a un estímulo o una vivencia determinada; su finalidad última es la adaptación a una situación nueva. La personalidad es esencialmente el elemento del comportamiento de una persona, su manera de ser habitual, lo que lo diferencia de los demás.

Intervienen en ella, por una parte, unos componentes anatomofisiológicos, con un fondo bioquímico y genético, y por otra, factores sociales, educacionales, ambientales, etc.

La organización de estos componentes se elabora y modifica sin cesar bajo diferentes influencias: una de ellas es **la maduración biológica**, condicionada por **la maduración neurológica y endocrinológica**; otra es el resultado de

Diagrama con la secuencia del Método Científico



Fuentes de información de la Biología



acumulación de vivencias, experiencias personales, afectivas, socio culturales, o sea **el aprendizaje**.

Así partimos de la base que el comportamiento resulta de la interacción de **factores exógenos** (medio ambiente y factores socio culturales) y de **factores endógenos**. En estos intervienen los elementos bioquímicos, como las hormonas y por otra parte todo el complejo funcionamiento del sistema nervioso que se conecta con el interior del cuerpo y con el medio siendo el encargado de elaborar las respuestas adecuadas.

Además el individuo es el portador de una “memoria genética” que en parte condiciona la interacción de los factores citados. Así ambos elementos constituyen los polos opuestos de dos teorías, la genetista y la ambientalista, con sus experiencias y defensores, y que por sí solas no dan una solución satisfactoria.

La realidad más probable es que estén en lo cierto: sobre un sustrato heredado, actúan los factores ambientales que seguramente empiecen durante la gestación y continúen a lo largo de la vida del individuo.

CAPÍTULO 2

- **Modelo No Formal de Conducta Humana.**

Autor: Biol. Raúl Montenegro

El Modelo No Formal de Conducta Humana

La conducta humana resulta de la interacción entre numerosos factores, en parte genéticos (por lo tanto heredables) y en parte fenotípicos o ambientales (no heredables). La conducta humana no puede, por lo tanto, explicarse exclusivamente en base a una u otra familia de variables. Investigadores de líneas tan distintas como Konrad Lorenz, Robert A. Hinde y B.F. Skinner han señalado con frecuencia que no existe una frontera definida entre lo heredado y lo adquirido (Wilson, 1980). Es necesario, por lo tanto, desarrollar nuevas concepciones y técnicas que nos permitan archivar esa arcaica distinción.

Una de las más interesantes se basa en la imaginería inventada por el biólogo Conrad H. Waddington. Waddington expresó que el desarrollo de un organismo es como un paisaje que se extiende desde las montañas hasta la playa. El desarrollo de un rasgo -color de ojos, uso de la mano izquierda, esquizofrenia o cualquier otro- se parece a una pelota rodando cuesta abajo. Cada rasgo atraviesa por una parte diferente del paisaje, cada uno de ellos es guiado por un patrón diferente del terreno. En el caso del color de ojos, dado un conjunto inicial de genes para el pigmento del iris del color azul o cualquier otro, la topografía es un solo y profundo canal. La pelota rueda inexorablemente hacia un destino: una vez que el espermatozoide se ha unido con el óvulo, solamente es posible un color de ojos. El paisaje del desarrollo de un mosquito puede imaginarse como una serie de valles

paralelos y rectos, uno de los cuales lleva a la atracción sexual del sonido del aleteo, otro al acto automático de succionar sangre, y de esta forma un repertorio con aproximadamente diez respuestas discretas. Los valles forman una serie precisa, invariable, de etapas bioquímicas que proceden del ADN del óvulo fecundado hasta las acciones neuromusculares mediadas por el cerebro del mosquito.

La topografía del desarrollo de la conducta humana es enormemente más amplia y más complicada, pero aun así sigue respondiendo a una topografía particular. En algunos casos los valles se dividen una o dos veces. Un individuo puede usar la mano derecha o izquierda preferentemente. Si empieza con los genes o cualquier otra influencia fisiológica temprana que lo predispone a usar la izquierda, esa rama del canal puede considerarse como la más profunda. Si no se ejerce mayor presión social, la pelota en la mayoría de los casos rodará por el canal del uso de la mano izquierda. Pero si los padres adiestran al hijo a usar la mano derecha, la pelota puede obligarse a rodar por el canal menos profundo de la derecha. El paisaje de la esquizofrenia es una amplia red de canales anastomosados, más difíciles de identificar y el curso que puede seguir la pelota se puede predecir de modo estadístico (Wilson, loc. cit.).

El paisaje es solamente una metáfora y ciertamente resulta inadecuada para fenómenos de alta complejidad, pero señala una verdad crucial a nivel de conducta social humana (Wilson, loc. cit.).

El comportamiento humano es el resultado de una interacción entre las componentes genéticas o heredables y las componentes culturales o aprendidas. Existen así, por ejemplo, conductas con un predominio de variables genéticas y conductas con un predominio de variables culturales.

Podemos ejemplificar este punto partiendo de conductas mayoritariamente codificadas por el genoma (conjunto de genes). Este es el caso de las expresiones faciales básicas que denotan temor, desprecio, indignación, sorpresa y felicidad. El psicólogo Paul Ekman (1973, 1975) tomó fotografías de individuos estadounidenses expresando estas emociones. También realizó fotografías de grupos que poseen culturas semejantes a la neolítica mientras relataban historias en las cuales expresaban los mismos sentimientos. Cuando se mostraba a cualquiera de los miembros de una de las dos culturas los retratos de la otra, interpretaban los significados de las expresiones faciales con una precisión superior al 80%.

Irenaus Elbl-Elbesfeldt (1977), retrató individuos de distintas culturas comunicándose por medio de gestos y expresiones faciales. Utilizó para ello una cámara que tenía colocada sobre su objetivo un prisma; este aditamento le permitía situarse en posición indirecta, esto es en ángulo recto con relación a los sujetos analizados. Documentó así un extenso repertorio de señales amplia y universalmente distribuidas tanto en culturas con lenguaje escrito como en culturas que no disponen de este sistema. Un ejemplo relativamente poco conocido es el repentino e inconsciente levantamiento de las cejas

utilizado como saludo amistoso. Otro, variante de la conducta es la sonrisa, que aparece en el bebé entre los dos y los cuatro meses de edad. Este aliviador social, innato y poco variable, se halla incluso en niños que nacen sin visión (cf. Wilson, 1980).

Estas conductas base o de determinación principalmente genética interactúan con las culturas endosomáticas (información cultural almacenada en la corteza cerebral) y con el ambiente (incluido en él las conductas sociales). De hecho sonreímos cuando lo deseamos e incluso podemos modular dicha conducta. Pero el comportamiento básico -particularmente su desencadenamiento espontáneo como aliviador de tensiones- tiene raíces genéticas.

Otros ejemplos interesantes se encuentran en la respuesta sexual humana. Muchas conductas y reacciones somáticas involucradas en las cuatro fases de la respuesta sexual humana (excitación, meseta, orgasmo y resolución) son predominantemente innatas. Este es el caso de los cambios de color en los labios menores turgentes durante la fase de meseta. En las nulíparas la coloración que se extiende a ambos lados de la entrada vaginal y al capuchón del clítoris, varía de rosado al rojo brillante. Estos cambios de coloración en los labios menores durante la fase de meseta son tan específicos que se los ha denominado piel sexual de la mujer. La mayor parte de las mujeres premenopáusicas que llegan al nivel de la meseta de tensión sexual y experimentan tales modificaciones alcanzan la fase orgásmica (Masters y Johnson, 1981).

Este comportamiento de los genitales externos de la mujer es apenas una pieza del complejo comportamiento sexual humano. Este último comprende en nuestra especie tres fases según Desmond Morris (1971): formación de pareja, actividad precopulativa o preparatoria y cópula (respuesta sexual humana). Tanto la fase de formación de pareja como la fase precopulativa o preparatoria involucran numerosos comportamientos moldeados por la sociedad. Se entremezclan entonces variantes de base genética, como las sonrisas, y componentes de base cultural como el intercambio de cartas y regalos o la ejecución de actos que favorecen la aproximación física de hombres y mujeres (conversación en voz baja, caminatas en parejas y baile).

Esta complejidad es notable en las sociedades consumidoras del mundo industrializado. Las economías de mercado suplementan con numerosos productos y con modelos enlatados de comportamiento cada una de estas tres fases. El mayor éxito del galanteo, por ejemplo, se asocia publicitariamente al uso de un determinado perfume, cigarrillo o marca de vehículo aunque tales propuestas resulten esencialmente falsas e incluso perjudiciales. Las fases más instintivas de la respuesta sexual humana son provocadas y diversificadas con elementos de uso intragenital (consoladores y vibradores); intergenital (preservativos rugosos o con escamas) y externos (estímulos visuales y auditivos).

La complejidad de las conductas humanas se acrecienta en las sociedades despilfarristas o de alto consumo, donde un habitante dilapidada por día

más de 270.000 calorías para mantener sus modelos de conducta. Una situación totalmente opuesta se vive en las aldeas más pobres del tercer mundo en las cuales ese gasto se reduce a 5.000 calorías o menos por persona y por día (Montenegro 1977).

Tal complejidad no debe desalentar el estudio riguroso de la conducta humana. Pero tampoco debe ser abordado con técnicas improvisadas ni con preconceptos que carecen de validez científica. El hombre para conocerse a sí mismo tiene que estudiarse y acumular un significativo conjunto de datos. Un instrumento muy valioso de aproximación es el análisis de sistemas. Este permite abordar realidades muy complejas en base a la detección e interrelación de componentes claves. Algunos elementos definitorios de esta técnica pueden consultarse en el trabajo «El sistema de la enfermedad de Chagas-Mazza» (Montenegro 1985).

En nuestro caso, la conducta humana, desarrollamos aquí un primer modelo conceptual que interrelaciona las principales variables del sistema (Figura 1). Cada caja, desde las mayores hasta las más pequeñas se consideran cajas negras, esto es realidades cuyo metabolismo interno resulta transitoriamente desconocido. Sus relaciones (marcadas por flechas) son en la práctica entradas y salidas. Cada entrada o cada salida involucra materiales (que circulan) y energía (que fluye unidireccionalmente) e información.

El primer nivel de análisis, marcado como caja I y II, relaciona la *conducta* (bloque 15) con los bloques 1 al 14 inclusive (individuo, sociedad, resto del

ambiente). El segundo nivel de análisis, desarrollado en la caja I, define a su vez tres grandes compartimentos: el *individuo* (caja A), la *sociedad* (caja B) y el *resto del ambiente*, caja C. En sucesivos niveles de análisis se clarifican estos tres últimos compartimentos.

La caja A, *individuo*, comprende dos universos claramente diferenciados. Una caja A_1 , que integra el cuerpo y el metabolismo del individuo y una caja A_2 que engloba su cultura individual.

La caja A_1 , el individuo físico, involucra a su vez tres compartimentos: el genoma (cajas 1 y 2 del bloque A_{1a}), el soma o conjunto de órganos y sistemas de órganos (cajas 3 y 4 del bloque A_{1b}) y el sistema nervioso central con información cultural (cajas 5 y 6 del bloque A_{1c}).

El bloque A_{1a} define las estructuras en las cuales se asienta la información hereditaria, los genes, y su respectivo contenido de información. En un ser humano adulto cada célula somática contiene de 28.000 a 34.000 pares de genes (Wilson, 1980; Genoscope Sequencing Center, 2000). Las células germinales, óvulos y espermatozoides, en cambio sólo contienen un juego de genes (28.000 a 34.000 unidades).

La información genética está almacenada en la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN), una molécula de alta persistencia que se aloja en el núcleo de las células somáticas y germinales. Esta información está escrita en un lenguaje de cuatro letras: los cuatro tipos de nucleótidos que componen la molécula de ADN. Cada

molécula de nucleótido está formada por una base púrica o pirimídica, un azúcar, la desoxirribosa, y un fosfato. Las bases que definen el lenguaje son adenina, timina, citosina y guanina.

En una célula somática los genes están contenidos discretamente en 46 cromosomas (44 somáticos y 2 gonosomas), todos albergados en el núcleo (células somáticas diploides o $2n$). En las células sexuales esas unidades discretas son 22 cromosomas somáticos y un gonosoma X ó Y respectivamente, también alojados en el núcleo celular (células germinales, sexuales o haploides, n).

Esos 30.000 pares de genes tienen un determinado contenido de información. La unidad de medida de la información es el bit (dígito binario). Es una respuesta sí o no a una pregunta no ambigua. Para determinar si una lámpara está encendida o apagada se necesita un único bit de información. Para designar una de las 26 letras del alfabeto latino se necesitan 5 bits ($2^5 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$). La construcción y funcionamiento de un organismo humano requiere 5.000 millones de bits de información (caja 2). Si escribiésemos en inglés esos 5×10^9 bits de información llenaríamos una biblioteca con 1.000 volúmenes. En términos comparativos digamos que el programa de vida de un virus requiere unos 10.000 bits, es decir 500.000 veces menos información que el programa de un ser humano.

El bloque A_{1b} define las estructuras somáticas (tejidos, órganos, sistemas de órganos, caja 3), y su respectivo contenido de información (caja 4). Aunque comprende al sistema nervio-

so central y al sistema neuroendócrino, este último se ha incluido por razones operativas en el siguiente bloque.

Además de la información genética, con sus 5×10^9 bits de información, un organismo de alta complejidad como el humano requiere para su funcionamiento un segundo sistema de almacenamiento informativo y de control. Los 1.000 volúmenes de la biblioteca genética, parafraseando a Carl Sagan, no son suficientes para el mantenimiento del sistema individual. Este rol es desempeñado por el conjunto cefalorraquídeo. Su estructura refleja todas las fases por las cuales ha pasado durante la evolución. En términos generales, puede decirse que sus principales cambios se produjeron desde adentro hacia afuera. En la parte más profunda se halla el tallo encefálico que rige las funciones vitales del organismo (p.e. la respiración).

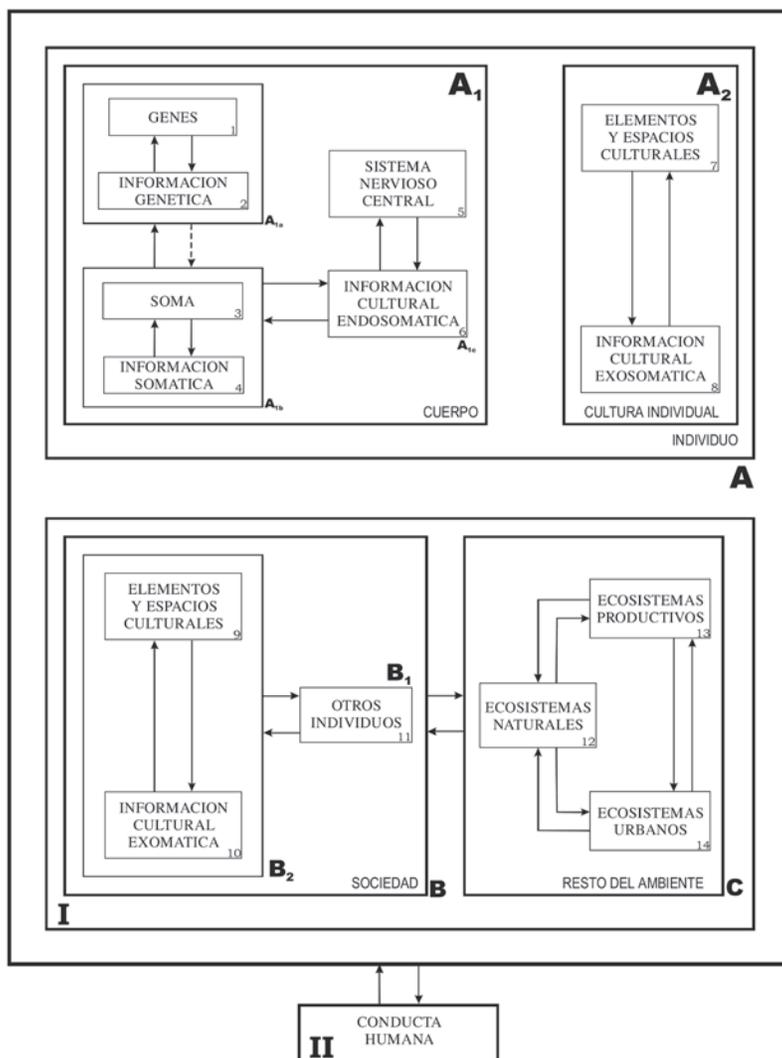
Según un concepto provocativo de Paul MacLean las funciones superiores del cerebro evolucionaron en tres fases sucesivas. Coronando el tallo encefálico está el complejo R, la sede de la agresión, del ritual, de la territorialidad y de la jerarquía social. Esta porción se conformó hace cientos de millones de años en nuestros antepasados reptilianos. Rodeando al complejo R está el sistema límbico del cerebro de los mamíferos, que se configuró hace decenas de millones de años en mamíferos no primates. Es un centro relacionado con las conductas que reflejan estados de ánimo, emociones y cuidado de las crías. Finalmente en el exterior, «viviendo una tregua incómoda» con los cerebros primitivos, situados debajo, se halla la

corteza cerebral que evolucionó hace unos millones de años en nuestros antepasados primates. Comprende más de las dos terceras partes de la biomasa total del sistema nervioso central (cf. Sagan, 1980).

Las unidades de información electroquímica son las neuronas, de las cuales hay 100.000 millones. En cuanto al contenido de información potencial, ésta puede derivarse del número total de conexiones, esto es unos cien billones de bits (10^{14}). Ello equivale, en términos comparativos, a lo que podrían contener unos 20.000.000 de libros (Sagan, 1980).

La corteza del cerebro, la adquisición más nueva de los primates, compara, sintetiza, analiza y genera abstracciones. Como sistema *acumulador* de información no genética o cultural (llamada información cultural endosomática) integra el cuarto bloque A_{1c} que reúne dos compartimentos fundamentales: sistema nervioso central (caja 5) e información cultural (caja 6). La información procedente del interior del organismo (p.e. la sensación de dolor) y la información procedente desde fuera del organismo (p.e. imágenes de una película, música, mensaje de un libro) alimentan la corteza cerebral en forma permanente. Contiene así numerosas memorias con información redundante.

El individuo es el resultado del interjuego de esos tres bloques, es decir, entre el genoma (masa genética), el soma (la totalidad del organismo con sus sistemas) y el sistema nervioso central.



Hasta este nivel de análisis hemos descrito un lenguaje genético de cuatro letras (ADN), un lenguaje neuroquímico de alta complejidad (las conexiones neuronales + el sistema de transmisores químicos, incluidas las hormonas) y un tercer lenguaje resultado de la interacción entre los anteriores y la cultura: el lenguaje verbal, gestual y escrito. Todos ellos permiten el mantenimiento de los distintos niveles de organización involucrados. Cada nueva complejidad organizativa solo puede mantenerse con bancos de datos y lenguajes adecuados.

El bloque A2 define la cultura individual del sujeto. Comprende dos cajas muy bien definidas. Por una parte los elementos y espacios culturales (caja 7) y por el otro la información cultural exosomática (caja 8). La primera integra aquellos elementos que tienen un cierto valor utilitario o simbólico para la persona. Por ejemplo, vestimenta, libreta de direcciones, reloj y otros pequeños instrumentos. El requisito para que tales elementos integren este universo es un uso o tenencia exclusivamente personal. De hecho caracterizan al individuo. La

caja 7 también comprende los espacios involucrados en el home range o territorio (p.e. la habitación privada, espacio propio de trabajo). La caja 8, en tanto, abarca la información contenida en todos los elementos de la caja anterior. Una libreta con direcciones, por ejemplo, puede contener 800 bits de información. También se incluyen aquí el contenido de información de libros de consulta privada, música y cintas grabadas. En sociedades de alto consumo la diversidad y contenido de información de las culturas individuales son muy elevados. En una cultura individual del Tercer Mundo, por ejemplo, las pautas de conductas se mantienen con ingresos muy bajos (p.e. menos de 50 dólares al año), situación que contrasta con el gasto de individuos pertenecientes a culturas tecnológicas (p.e. 40.000 dólares al año). Sus entradas y salidas materiales son igualmente significativas. Los pobres más pobres del mundo de las zonas áridas consumen unos pocos litros de agua por persona y por día, contra por ejemplo los 500 litros por habitante y por día que se utilizan en la ciudad de Córdoba. Es importante señalar que el impacto de la cultura y de los cambios modales se sienten muy intensamente en las culturas individuales de sociedades como la nuestra. La vestimenta, por ejemplo, está más condicionada a un uso cultural que a una utilización con fines de abrigo y protección. Ello genera, en sitios con varias estaciones, cambios notables y de muy alto costo. Algo similar ocurre con los elementos de la caja 7 (por ejemplo relojes que ya no se utilizan solamente para contener y transmitir un determinado tipo de información).

El organismo humano propiamente dicho y la cultura individual configuran un bloque interactuante con la sociedad y el resto del ambiente.

Es preciso aclarar aquí la noción de individuo. Desde una perspectiva tradicional, comprende la etapa intrauterina del embrión y el feto y la extrauterina de la vida libre (neonato- adulto). Pero la conducta se refiere a todas esas etapas, tanto haplontes como diplontes de su organización. La caja A_1 variará significativamente, por lo tanto, según se trate de ovogonia-espermatogonia, ovocito-espermatocito, óvulo-espermatozoide, embrión, feto e individuo de vida libre (neonato, bebé, adolescente, adulto). En el caso particular de una madre embarazada, se agrega dentro de la caja A_1 un cuarto bloque que incluye al embrión y posteriormente al feto.

La caja B, *sociedad*, es notablemente complicada. En nuestro esquema simplificado consideramos dos bloques, el B_1 con una sola caja (caja 11) que reúne a otros individuos y el B_2 que contiene las culturas sociales o públicas, más sus contenidos de información (cajas 9 y 10).

La caja 11 (bloque B_1) comprende «n» individuos de una sociedad. El individuo de la caja A interactúa directa o indirectamente con ellos. Puede hacerlo sin intermediarios (contacto individuo-individuo) o bien indirectamente a través de medios masivos de comunicación (el discurso de un gobernante leído en el diario) o medios interpersonales de comunicación (cartas, teléfono, fax, E-mail). En todos los casos se entiende que la relación se

plantea entre individuos que tienen, cada uno, un cierto modelo de interacción soma-cultura individual. Esto es, cada uno de ellos repite la estructura conceptual del bloque A.

La caja B₂ es igualmente compleja. Integra por una parte los elementos y espacios que no son de uso individual sino comunitario o grupal (caja 9). Por ejemplo, calles, vehículos de transporte urbano, escuelas, letreros publicitarios, estaciones de radio, edificios gubernamentales, bibliotecas, universidades y hoteles. Todos ellos albergan y ofrecen algún contenido de información (caja 10). El libro de una biblioteca (por ejemplo un libro de aproximadamente 400 páginas) puede contener diez millones de bits (10⁷). El número total de bits que caracteriza a un programa de televisión de una hora es de 10¹². En cuanto a la información contenida en forma de palabras e imágenes en todas las bibliotecas de la Tierra es de unos 10¹⁷ bits (Sagan 1980).

Los muy complicados y variables códigos de conducta de una sociedad cualquiera están contenidos, a modo de referencia permanente, en este bloque B. Obviamente, posee redundancias y notables contradicciones (situación esperable en estructuras con gran cantidad de piezas). Una organización con gran contenido de individuos y alto contenido de información (y de sistemas de intercomunicación) tiene más problemas de funcionamiento interno que una pequeña aldea con interacciones simples. Las megalópolis y metrópolis de la actualidad plantean por lo tanto notables desafíos a la capacidad humana de autoorganización. Además de actuar ecológicamente como parási-

tos ecosistémicos, estas aglomeraciones acrecientan la calidad y cantidad de fricciones interpersonales. Sus tasas de cambio cultural son más elevadas y sus mecanismos de regulación muy poco eficaces.

Es interesante señalar que las aglomeraciones humanas, cualquiera sea su dimensión, requieren para funcionar un organizador central y la plena utilización de lenguajes ya analizados (particularmente el escrito). Ese organizador es el estado y ciertas instituciones civiles. En cuanto al lenguaje, las sociedades contemporáneas de muy alta complejidad han agregado un nuevo sistema de almacenamiento de datos y de comunicación: la informática. Esta utiliza simbologías particulares que luego se traducen a los sistemas corrientes de comunicación.

Finalmente nuestro gráfico incluye un bloque fundamental, el C, que definimos como *resto del ambiente*. En la práctica engloba a todos los anteriores (así como el B comprende al individuo A). Groseramente puede definirse como «todo lo que queda cuando se quita la caja A y la caja B». Comprende las grandes unidades ecológicas de la Tierra, y por lo tanto, de las regiones (ecosistemas menores) y de los países (unidades arbitrarias que comprenden, usualmente, parte o la totalidad de uno o más ecosistemas). Un ecosistema está compuesto por componentes bióticos (organismos vivos autótrofos, vegetales, y organismos heterótrofos, animales) y componentes abióticos (espacios y soportes donde se desarrolla la vida, compuestos orgánicos e inorgánicos, factores climáticos, energía fluyente del sol, etc.). Distinguimos

tres cajas clave. La caja 12 reúne a los ecosistemas con una alta capacidad de autoajuste y autoperpetuación, también denominados naturales o equilibrados. Comprende por ejemplo al ecosistema semiárido del Chaco, al bosque serrano de las serranías de Córdoba y a la estepa patagónica. Sus diversidades bióticas, volúmenes y superficies disminuyen alarmantemente. Cada año se talan solamente en América Latina unas 10 millones de hectáreas de bosque natural. Sus poblaciones humanas (esto es el bloque B) suelen tener bajas densidades.

La caja 13 reúne a todos los ecosistemas productivos o agroecosistemas (p.e. cultivos, plantaciones de árboles con algún valor económico, campos de ganadería, lagunas dedicadas a la acuicultura). Las poblaciones humanas asociadas a este tipo de ecosistema (bloque B) son de baja densidad. Tienen modelos culturales menos complejos que las ciudades.

La caja 14, finalmente, nuclea a todos los ecosistemas urbanos y consumidores. Éstos funcionan con los recursos que se les extraen a los anteriores. Concentran la mayor parte de la población humana. En Argentina más del 80% de su población vive en asentamientos con 2000 y más habitantes (1980). Además de alterar el funcionamiento de los ecosistemas naturales y productivos por saqueo irracional (situación ésta que provoca el exterminio de especies vivas y desertificación por ejemplo), también los modifican por contaminación.

Los grupos humanos que viven en estas estructuras de cambio rápido

y de complejidad creciente, particularmente en el mundo industrializado, están sometidos a fuertes disturbios. Las conductas humanas mutan allí con una intensidad notable, situación que dificulta el mantenimiento de estructuras organizativas estables. La existencia de sociedades industrializadas con alto poder y de sociedades dependientes, así como polarizaciones sociales más o menos evidentes dentro de cada nación, ha incrementado la cantidad y particularidad de las patologías sociales. Cabe señalar que solamente entre 1945 y 1979 se registraron 130 guerras civiles nacionales y regionales en 81 países. Doce de tales guerras provocaron, además de una alta mortandad civil, graves daños ambientales. Recordemos, a modo de ejemplo, que la Segunda Guerra Mundial redujo en un 38% la producción agrícola de 10 países. El hecho mismo de que actualmente se destinen a armamentismo más de 1,5 millones de dólares por minuto muestra síntomas graves de alteración organizativa.

Finalmente, todos los bloques del nivel de análisis I («individuo», «sociedad» y «resto del ambiente») determinan la conducta individual y por extensión la conducta supra individual (grupala, social etc). Esta última, a su vez, incide sobre las restantes cajas del sistema.

Aunque en general suele creerse que los ecosistemas y sus sociedades funcionan con cierto orden, la realidad indica que predomina en ellos un exceso de desvíos, esto es un exceso de retroalimentación positiva. De no generalizarse mecanismos sociales de retroalimentación negativa (correctoras de desvíos) ese desorden crecerá. La

puesta en marcha de tales mecanismos exige, además del conocimiento del metabolismo de la biósfera y de los ecosistemas, un adecuado conocimiento de las poblaciones humanas. Esto es, de sus estructuras y modelos de conducta.

El análisis precedente, tentativo, ayuda a identificar las principales variables que regulan los comportamientos sociales, grupales e individuales. Es necesario, sobre esta base (pero nunca a partir de datos inciertos ni tampoco de la improvisación) conocer científicamente el comportamiento humano. Pese a las dificultades que plantea este tipo de tarea, ello es factible mediante la aplicación del método científico, la originalidad y la inventiva, el rigor y el compromiso con la realidad.

El rol del Psicólogo desde una perspectiva biológica y social

Los primeros trabajos grupales realizados por la Cátedra de Biología Evolutiva humana nos permitieron definir, tentativamente, cinco roles del profesional psicólogo.

- a) En primer lugar, investigar científicamente y comprender la conducta humana en todos sus niveles de organización (tanto ontogenéticos como supra individuales). Asumimos para ello que el ser humano pasa por estadios muy diversos de complejidad creciente (ovogonia- espermatogonia, ovocito-espermatocito, óvulo- espermatozoide, embrión, feto y fenotipos libres: de neonato a adulto).
- b) En segundo lugar, investigar científicamente cuáles son las conductas

humanas que la sociedad contemporánea y local considera normal. Ergo, también las conductas consideradas patológicas y anormales. Tal evaluación, lo recalcamos, se extiende a todos los fenotipos ontogenéticos y a todos los niveles de organización supra individual. Esta tarea, muy difícil, permite aproximar los modelos de conducta que biológica y socialmente se desean mantener u apoyar, mejorar, transformar y erradicar.

- c) En tercer lugar, contribuir activa y comprometidamente al logro de los objetivos que en materia de psicología preventiva se ha fijado la sociedad. Esta tarea de alta complejidad involucra subroles de gran importancia: orientación- apoyo, educación y gerencia de instituciones psicopreventivas.
- d) En cuarto lugar, contribuir activa y comprometidamente al logro de los objetivos que en materia de psicología curativa se ha fijado la sociedad. Esta tarea de alta complejidad implica subroles equivalentes al punto anterior.
- e) En quinto lugar, contribuir a la formación de otros psicólogos, a la difusión de la psicología en otras profesiones y al desarrollo de un psicólogo apto para el trabajo interdisciplinario.

La biología evolutiva humana pretende ensamblar con otras disciplinas, y así contribuir a desarrollar el primer rol (investigación y comprensión de la conducta humana).

CAPÍTULO 3

- **Organización de la materia.**
- **Características de los seres vivos.**
- **Origen de la vida.**
- **Evolución de los seres vivos.**
- **Diversidad de los seres vivos.**

Autor: Biol. Raquel Murialdo

Niveles de Organización de la Materia

En el universo, a pesar de su complejidad y de presentarse como un todo único se pueden reconocer diferentes estructuras materiales que se organizan en diferentes sistemas.

Un sistema se caracteriza por poseer una estructura y que además esa estructura está determinada por sus relaciones entre sus componentes. Estas relaciones de tipo funcionales son el flujo de energía, de información y la circulación de materiales.

Así es que, cualquier organismo vivo, sea este animal o planta, posee un mayor o menor número de elementos, por ejemplo los huesos de nuestro pie se relacionan entre ellos de una manera determinada y a su vez se relacionan con los músculos que se insertan en ellos de manera especial ocupando un espacio o disposición especial. De igual manera se podría analizar cualquier órgano del cuerpo, apareciendo entonces un subsistema dentro de otros sistemas.

Todo nuestro entorno natural puede ser observado teniendo en cuenta esta apreciación y se podrá aplicar el criterio del juego de las muñecas rusas, en el cual a medida que se van abriendo las muñecas encontramos otras más pequeñas adentro. Cada muñeca representa *un nivel de organización* diferente.

Cada nivel de organización posee características propias de su nivel y son diferentes a las de las partes que lo componen, esto se debe a las posiciones relativas que ocupan sus partes y las rela-

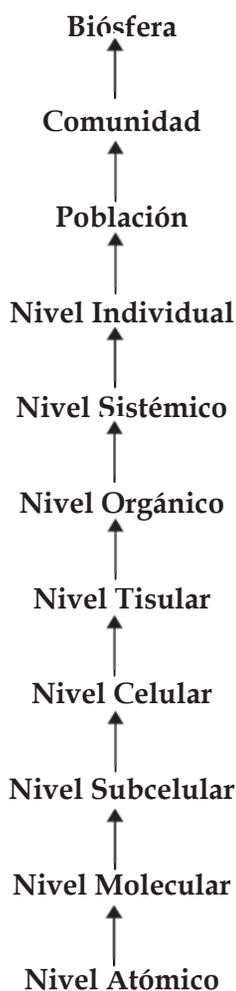
ciones que se establecen entre ellas.

El nivel de máxima complejidad en ese entorno natural es la propia **biósfera** que es el conjunto de **comunidades**. Las comunidades a su vez están formadas por un conjunto de **poblaciones** a las cuales se las puede definir como el conjunto de individuos de la misma especie. Los **individuos** constituyen un nivel de complejidad inferior los cuales a su vez están compuestos por **sistemas de órganos**; los órganos son estructuras formadas por diferentes **tejidos** y los tejidos están constituidos por **células**.

Las células poseen componentes subcelulares, los organoides celulares, constituyendo el **nivel subcelular**.

Las porciones más pequeñas que conocemos de la materia son las partículas **subatómicas** y sus características son diferentes a las del **átomo** en su conjunto. A su vez los átomos se organizan en grupos o **moléculas** diferentes unas de otras de acuerdo a qué átomos las compongan y a la disposición que adopten. Las moléculas inorgánicas se asocian entre sí para formar minerales, éstos para formar rocas y así sucesivamente para conformar los niveles de organización de la materia no viviente.

Ocurre que si las moléculas que se asocian son en gran parte moléculas orgánicas pueden formar estructuras que encontramos dentro de una célula viva, por lo tanto pertenecen a un **nivel subcelular**.



En el anterior esquema se pretende explicar que a medida que avanzamos en el sentido de la flecha avanzamos en niveles de complejidad más elevados.

Características de los Seres Vivos

Si se recurre a la intuición, es tarea más o menos sencilla diferenciar dentro del universo que nos rodea lo que tiene vida y lo que no. Nadie sería capaz de confundir una planta con la arena ni un animal con una roca. Sin embargo si se quiere definir qué es un

ser vivo, con seguridad se apelará a las características por las que distinguimos a un ser vivo. Las cuales se pueden sintetizar de la siguiente forma:

- *Poseen un nivel de organización elevado*, en los seres vivos la materia está organizada a partir de átomos, en moléculas, estructuras subcelulares y célula que pueden organizarse en tejidos y éstos en órganos y a su vez en sistemas. El orden que caracteriza a los seres vivos tiene como «costo» desorganizar el medio circundante, de manera que pueda aprovechar la materia y la energía.
- *Poseen la capacidad de transformar energía e incorporar materiales*, los seres vivos están especializados para tomar energía externa y transformarla para ser utilizada para sus necesidades. De esta manera la energía química que un animal incorpora en su alimento puede ser transformada en energía mecánica para desplazarse. El conjunto de reacciones químicas que permiten estas transformaciones se denominan metabolismo.
- *Poseen la capacidad de movimiento*: los seres vivos son capaces de moverse y desplazarse aun cuando a nuestros ojos los movimientos sean imperceptibles con es el caso de las plantas.
- *Pueden crecer y desarrollarse*, las células se multiplican y aumentan de tamaño. Por otra parte durante el desarrollo pueden cambiar de forma y de estructuras.
- *Poseen la capacidad de reproducirse*, todo ser vivo proviene de otro ser vivo, es decir que los seres vivos son capaces de generar a partir de ellos nuevos seres vivos con características simi-

lares. En los seres vivos es necesario reproducirse y transmitir al mismo tiempo un código detallado, un plan de organización que sirva de patrón a una descendencia numerosa. Para ello, las células disponen de sustancias denominadas ácidos nucleicos, en la mayoría de los casos ADN o ácido desoxirribonucleico, en los que se basa la clave genética de todo el sistema. Así el ADN constituye ese código: se trata de una gran molécula compleja formada por muchas subunidades intercambiables, que pueden dar lugar a tan gran número de combinaciones que en el vocabulario resultante se contienen todas las instrucciones necesarias para formar y conservar el organismo.

- *Pueden responder a estímulos*, es decir tienen la capacidad de reaccionar tanto a estímulos externos como internos.
- *Poseen la capacidad de adaptación*, los seres vivos son capaces de «acomodarse» a las condiciones que el medio le ofrece, lo cual le permitirá subsistir a los cambios.
- *La muerte*, el sistema vivo organizado no funciona así indefinidamente. De allí que no somos inmortales. El desorden acaba por alcanzar a todos los seres vivos y eso es lo que ocasiona la **muerte**. Precisamente por esta razón es que cobra importancia la reproducción.

Existen diferencias entre viviente y no viviente. La materia viva difiere de la materia no viva en su complejidad pero no en la calidad de la materia de que está compuesta, pues no tiene elementos propios. Las características de los sistemas vivientes se presentan

al menos bajo la forma de una célula, que es un conjunto muy complejo de átomos y moléculas constituyentes, y diferente por completo a ellos. La base de estas diferencias no está en los átomos ni en las moléculas mismas, sino en su organización.

Evolución: Una Primera Aproximación

Explicaciones del origen de la vida a lo largo de la historia...

Los libros sagrados de los diferentes pueblos y culturas constituyen textos que además de su carácter religioso intentan explicar sobre el mundo, la vida y sus orígenes, marcados por las costumbres, mitos y tradiciones que transmitidos oralmente son fijadas en etapas posteriores en forma escrita. Hasta aquí tratan de explicar el origen de la vida como «creacionista» vale decir como una creación «espontánea» ligados a una idea de Naturaleza dotada de poderes divinos. En términos generales se puede afirmar que la Teoría de Generación Espontánea reconoce la presencia de un principio activo (soplo divino, principio ordenador, alma, etc.) desde el cual a partir de materia no viviente surjan los seres vivos.

Los griegos ya hablaban de generación espontánea, pero es de destacar que su preocupación estaba ligada a discusiones amplias y abstractas sobre la naturaleza del mundo y no al de la vida según hoy le atribuimos. Muchos de los filósofos presocráticos compartieron la preocupación por la búsqueda de los elementos (agua, fuego, aire y tierra) que como principios constituían

la realidad, especialmente la realidad material. Inclusive muchos presocráticos hablaban de solo un elemento.

Merece atención especial uno de los filósofos más grandes que tuvo la Grecia Clásica: Aristóteles, cuyos pensamientos e ideas sobre la física, la metafísica y la ética influyeron profundamente en la historia de la humanidad.

Siguiendo con el criterio de la generación espontánea le invitamos a obtener sus conclusiones luego de leer este fragmento de la gran obra de Aristóteles: «¿Por qué razón, pues, ciertas cosas parecen generarse cíclicamente, por ejemplo la lluvia y el viento-pues si había nubes, es necesario que llueva, y si ha de llover, es necesario también haya nubes- y en cambio, los hombres y los animales no vuelven a sí mismos de tal manera que vuelva a nacer el mismo? Ya que no porque tu padre exista, existirás tú; pero es necesario que él exista si existes tú. Esta generación parece verificarse en línea recta.»

La intuición aristotélica es magnífica, ya que sugiere que desde la explicación de la generación espontánea no se puede explicar el surgimiento de todos los organismos sino sólo de algunos.

La iglesia cristiana adoptó la idea de la generación espontánea en su variante vitalista: para que la vida surgiera era necesaria la presencia de una fuerza divina, soplo divino, cuya fuerza era capaz de animar la materia inerte. El punto de vista aristotélico fue recogido por la tradición cristiana y no

se discutió por dos milenios.

Poco antes del Renacimiento, surgen en el Cristianismo otras posiciones: Giordano Bruno admitía el origen de la vida animal y vegetal, a partir de materia inorgánica, en un universo panteísta donde cada partícula poseía vida sin principio ni fin y donde evidentemente no había origen.

Como vemos la vertiente vitalista no introduce demasiados términos nuevos en la historia que venimos leyendo. Inclusive no realiza un aporte significativo que ponga en dudas el principio de generación espontánea.

En 1668, el médico toscano Francisco Redi, publicó un libro titulado «Esperienze in torno della generazione degl'Insetti» donde plantea un experimento sencillo pero contundente en relación al tema de la generación espontánea. La preocupación de Redi era investigar el origen de los gusanos que aparecían en la carne en descomposición, los cuales nacen a partir de huevos depositados por los adultos.

Respecto al origen de la vida, el experimento fue efectivamente un «disparo certero» sobre las ideas muy arraigadas sobre la generación espontánea. Esto significó un avance, pero la teoría de la generación espontánea no fue descartada.

Con conocimientos nuevos se explica el problema...

En biología no existe una resolución radical y única de los problemas; con respecto a la generación espontánea continúa aún sin verdades absolu-

tas. Para derribar esta teoría debemos, necesariamente, establecer la conexión con otras disciplinas, como es el caso de la física y de la química.

Fue Pasteur el primero en abolir la doctrina de la generación espontánea con un simple experimento cuyo objetivo fue investigar si en los medios de cultivo, los organismos descomponedores (Mohos) se generan espontáneamente o provienen de microorganismos preexistentes. Ahora sí la generación espontánea quedaba descartada...

Pero la cuestión volvía a quedar abierta y ahora la pregunta era ¿cómo se habían producido los primeros seres vivos?

Tratemos de individualizar las barreras epistemológicas que impedían avanzar en la pregunta por el origen de la vida aun después de los trabajos de Pasteur.

- a) *¿Qué se pensaba a fines del siglo XIX sobre la capacidad de los seres vivos de sintetizar materia orgánica?*

Dominaba la idea de que sólo los seres vivos eran capaces de producir materia orgánica.

- b) *¿Cómo se habrían formado las primeras sustancias orgánicas que integraron al primer ser vivo?*

El origen autotrófico de la vida se levantaba como un gran obstáculo que oscurecía el panorama, pues parecía carecer de sentido explicar cómo se formaron las sustancias orgánicas que integraron el primer ser vivo.

- c) *¿Había quedado totalmente erradicada la idea de generación espontánea luego de la experiencia de Pasteur?*

Aun después de los descubrimientos de Pasteur se concebía la vida como un acto repentino.

- d) *¿Qué tipos de teorías dominaban en aquella época?*

Predominaban las de tipo especulativas.

La situación no parece alentadora para quienes, ya en el siglo XX, iban a continuar la búsqueda: quedaban demasiados problemas sin resolver o por lo menos una solución aceptable para la comunidad científica.

Se comenzaron a esgrimir hipótesis como: súbitamente, por azar, por choque, gen, virus, etc. Esto nos recuerda a la teoría de la generación espontánea; en este caso se trasladaron los problemas al nivel molecular, pero sin solución.

Los avances tecnológicos impulsaron a algunos investigadores a trasladar el problema del origen de la vida a otro contexto y a plantear nuevos problemas y conjeturas.

La propuesta de Oparín

En la década de 1920 investigadores, entre los que figuran un bioquímico ruso llamado Oparín, sostienen que la Tierra se originó hace unos 5000 millones de años, pero como se encontraba aún muy caliente y en estado líquido al momento de formarse o al poco tiempo después a causa del calentamiento radiactivo, las condiciones

compatibles con la vida aparecieron hace 3000 millones de años.

Las condiciones de la atmósfera

Existen pruebas de que la atmósfera carecía esencialmente de oxígeno libre, todos los átomos de oxígeno estaban combinados en forma de agua o como otras moléculas (óxidos). Por lo tanto la atmósfera estaba integrada por metano, amoníaco y agua que salían en forma de gases desde el interior del planeta. El gas carbónico que escapaba de los silicatos y el óxido de C (CO) se encontraba en muy pequeñas cantidades, en razón de la gran afinidad del H₂ con el O₂. Algunos gases inertes completaban la composición del aire (argón, neón, radón, xenón, Kriptón).

Un gran caldo con los precursores de los compuestos orgánicos

Oparín supuso que los átomos de carbono de la corteza terrestre estaban presentes como carburos metálicos. Estos reaccionarían con el agua para formar acetileno el cual se polimeriza (varias cadenas unidas) para integrar largas cadenas de átomos de carbono. La síntesis de compuestos orgánicos: azúcares (carbohidratos), grasas (lípidos) y proteínas, sin intervención de seres vivos, pudo ser facilitada por radiación de alta energía. La mayor parte de las reacciones ocurrieron en el mar en el que pudieron estar disueltos los precursores inorgánicos de esos compuestos orgánicos. De ese modo, el mar debió ser como un caldo diluido en el que esas moléculas chocaban, reaccionaban y se agrupaban en tamaño y complejidad crecientes.

También se sugirió que las fuerzas de atracción intermolecular, así como la tendencia de ciertas moléculas a formar cristales líquidos, podrían haber sido el medio a través del cual se formaron espontáneamente grandes y complejas moléculas específicas.

Los precursores de las células

Cuando las moléculas se unen para formar agregados coloidales (agregados prebióticos), como los esferoides de proteínas rodeados por una membrana, algunos de esos agregados, que tienen en su interior un orden interno favorable, absorben moléculas nuevas a mayor velocidad que los otros agregados.

Al combinarse con otras moléculas grandes llamadas ácidos nucleicos (sobre todo ac. ribonucléico) esas moléculas proteínicas complejas debieron adquirir, en última instancia, la capacidad de facilitar la síntesis de moléculas semejantes a ellas mismas.

Así se comprobó la teoría de Oparín

El estudio de la evolución química a partir de la hipótesis de Oparín fue enfocada de dos maneras.

- a) Analítica: estudiando las rocas y sedimentos del Precámbrico y con ello la antigüedad de la vida en el registro fósil.
- b) Experimental: simulando las supuestas condiciones de la tierra primitiva para tratar de llevar a cabo la síntesis de compuestos orgánicos de acuerdo a la hipótesis de Oparín.

El Big Bang y el origen del universo...

Las modernas tecnologías de laboratorio y computación permiten reproducir los eventos que según se hipotiza, debieron ocurrir en la tierra primitiva y estudiar lo que se ha denominado evolución prebiótica.

Los procesos que explican la formación de los distintos elementos se desarrollan en las teorías cosmológicas como la de la gran explosión «el Big Bang», ocurrida hace 20 mil millones de años.

La primera explosión parece haber ocurrido de forma tal que provocó la dispersión de materia. Se supone que en ese momento la temperatura llegaba a 10^{10} Kelvin, es decir, no podía existir nada que se pareciera a la materia actual. Existía en ese momento energía de radiación y partículas elementales (electrones, protones, fotones, etc.)

Después del Big Bang, pasaron 700000 años, hasta que la temperatura llegó a los 3000° kelvin. Allí comenzó una nueva etapa evolutiva. Ya se habían formado núcleos de átomos que a su vez captaban los electrones libres formando átomos estables de Hidrógeno (H) y de Helio (He).

La condensación de materia (átomos de hidrógeno y helio) en algunas zonas del espacio dio lugar a la formación de gigantescas nubes cósmicas que continuaron condensándose para formarse las galaxias compuestas por millones de soles.

En la fusión atómica el hidró-

geno se convierte en helio, liberando gran cantidad de energía (luz, calor y otras radiaciones electromagnéticas). Asimismo se forman otros núcleos atómicos más pesados como el hierro o el carbono.

Los primeros «seres vivos»: los protobiontes

Pero para formar verdaderas células, unidad básica de los seres vivos, uno de los principales pasos de la evolución fue que esos conglomerados prebióticos desarrollaran una membrana de proteínas y grasas (lípidos) que permitieran acumular ciertas sustancias y eliminar otras.

En el interior de estos protobiontes ocurrieron reacciones químicas que llevaron a la formación de polímeros, es decir que a partir de adenina y en presencia de una enzima adecuada se forma la poliadenina, (un polinucleótido)

La propuesta de Oparín se articula en torno con la idea de que la vida comenzó por una sucesiva acumulación de más y más poblaciones de moléculas dentro de los protobiontes.

Otro paso necesario fue la adquisición de la maquinaria de la transmisión genética (código genético), así una célula con sus características puede ser mantenida por más de una generación.

Manfred Eigen, bioquímico alemán, entiende que la vida y con ello la microestructura polimolecular que estamos buscando en la evolución precelular, se inicia a partir de la for-

mación de la molécula de ARN.

Se parte de experiencias con ARN y se postula que la replicación del ARN fue el proceso fundamental alrededor del cual se desarrolló el resto de la biología. En segundo término el descubrimiento de la doble hélice del ADN mostró que los genes son estructuras más simples que las enzimas.

Estas constituirían con el ARN una forma primitiva del moderno aparato genético de transcripción y las células aparecerían finalmente para dar coherencia física al aparato, lo cual explica el posible origen del código genético.

La evolución de las diferentes formas de metabolismo hasta llegar a las actuales

Organismos que degradan de moléculas orgánicas

Los primeros seres vivos, al estar en un mar con moléculas orgánicas y en una atmósfera sin oxígeno, obtenían su energía por reacciones químicas, sin oxígeno, fermentaciones anaeróbicas de algunas de esas sustancias orgánicas. Esto indica que los primeros organismos eran heterótrofos; estos debieron existir mientras hubiera cantidad suficiente de moléculas orgánicas disponible en el medio.

Organismos que realizan degradación catalítica

Suponiendo que el organismo utiliza una determinada sustancia R para mantener su organización, esta sustancia R sufre una secuencia natural de transformaciones durante su descomposición espontánea de lo complejo a lo

simple $R \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$. Pero cuando esa sustancia R en el medio comienza a escasear utiliza otra sustancia llamada enzima para catalizar las reacciones inversas, es decir desde las más simple a las más complejas $C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow R$. De este modo, muchas sustancias complejas se formaron a partir de sustancias muy simples y abundantes, mediante la adquisición secuencial de enzimas específicas. Mediante la inversión de vías descomponedoras se habrían constituido las secuencias biosintéticas.

Organismos que realizan fotosíntesis anaeróbica

Sin embargo cuando se agotaron los recursos, es decir esas sustancias orgánicas simples, algunos organismos heterótrofos mutaron (cambiaron) y se convirtieron de organismos fermentadores en **organismos quimioautótrofos**, capaces de utilizar moléculas inorgánicas muy abundantes como el dióxido de carbono (CO_2), en presencia de energía ya sea lumínica o química, como por ejemplo el SH_2 (ampliamente distribuido en el océano primitivo y donde el oxígeno seguía siendo escaso) y obtener así las moléculas orgánicas. La adquisición de este mecanismo permitió la independencia total de la sopa primigenia como fuente de materia orgánica, e instauró el camino hacia la biota basada en la existencia de los organismos autótrofos.

Organismos que fijan Nitrógeno

El otro paso importante en la historia del metabolismo fue la evolución de un mecanismo para la fijación del Nitrógeno (N_2). Este mecanismo ocurre actualmente aun con las características de atmósfera oxidante en la que vivimos y por lo que la llevan a

cabo organismos con características anaeróbicos.

Organismos que realizan fotosíntesis aeróbica

La Fotosíntesis que produce oxígeno (O_2) utiliza agua en vez de SH_2 . Si bien los enlaces del SH_2 son más difíciles de romper que los del OH del agua el gasto extra de energía era compensado porque el oxígeno que se generaba con la fotosíntesis actuaba como veneno y afectaba los organismos anaeróbicos. Debido a estas ventajas los organismos como las algas verdes azuladas, **organismos del tipo autótrofos** pasaron a dominar la tierra. Es en este paso donde el gas oxígeno comienza a producirse y dispersarse en la atmósfera y como producto secundario el oxígeno gaseoso; el proceso se llama fotosíntesis. De acuerdo a esta teoría el oxígeno de la atmósfera se formó siempre por la misma vía.

Organismos que realizan respiración aeróbica

Probablemente, esta evolución se produjo a partir de la fotosíntesis, como una modificación de la maquinaria fotosintética básica. En este mecanismo, a partir de las moléculas de glucosa sintetizadas por los organismos fotosintetizadores, se optimizó la extracción de energía de los compuestos orgánicos en relación con los procesos anaeróbicos de degradación catalítica.

Comentario final

En cada momento de la historia de nuestro Planeta, a partir de esos primeros seres unicelulares, la Tierra estuvo ocupada por distintas clases de seres vivos, muchos de los cuales se

han extinguido (desaparecido). Otros se han ido transformando hasta dar como resultado los organismos actuales y otros permanecen en el tiempo con pocas modificaciones.

¿Cómo se producen las extinciones? Aún está en discusión. Pero el hecho de que los seres vivos evolucionan cuenta con muchas pruebas; pero: ¿qué son las pruebas?, son los argumentos que permiten establecer la evolución como un hecho y además proporcionan las pistas para deducir cómo pudo haber ocurrido. Las pruebas vienen de diferentes ramas de la ciencia: anatomía, embriología, bioquímica y paleontología.

La vida a través del tiempo

Del agua a la tierra firme

En la Era Arqueozoica, hace 3500 millones de años, una época de gran actividad volcánica, se supone que los seres vivos hacen su aparición bajo la forma de organismos unicelulares con metabolismo de tipo fermentador. La atmósfera carecía de oxígeno.

Hacia la Era Proterozoica, 2000 millones de años después, luego de procesos de sedimentación y actividades erosivas, surgen los primeros vegetales acuáticos, algas azules verdosas, las primeras con metabolismo de tipo autótrofos. Estas algas, mediante el proceso de fotosíntesis fueron las primeras que introdujeron el oxígeno en la atmósfera. Luego aparecen hongos y los primeros representantes Protistas (Protozoo marinos).

En el Período Cámbrico ya de la Era Paleozoica, se difunden las algas

marinas, surgen los Trilobites y los Braquiópodos.

Hace unos 500 millones de años (Era Paleozoica, período Ordovícico), aparecieron en los mares los primeros peces de agua dulce, corales y trilobites. Cien millones de años después (Devónico) ya existían las rayas y tiburones, es decir los peces cartilaginosos y una importante variedad de peces óseos, de las cuales algunas especies poseían pulmones, peces pulmonados, los cuales podían introducir el oxígeno atmosférico por la boca. Surgen los primeros bosques y se afianzan las plantas terrestres.

Luego las aguas que habían invadido los continentes comenzaron a hacerse menos profundas y escasas en oxígeno, debido a las elevaciones de la corteza terrestre. Algunos se veían obligados a chapotear en el barro. Así, en un ambiente de bosques pantanosos, hacen su aparición los primeros anfibios, descendientes de los peces pulmonados.

En el período Mississípico, 50 millones de años después, cuando el clima era muy húmedo y cálido, se difunden las gimnospermas y es el período de gran auge de los tiburones.

Hace trescientos veinte millones de años (Pensilvánico), cuando el clima de la corteza terrestre se tornó más seco y se desarrollaron los bosques de helechos y gimnospermas, aparecen los primeros reptiles y los insectos en abundancia.

La piel seca de los reptiles cubierta de escamas los protegía de la deseca-

ción. Sus huevos provistos de cáscara y provistos de vitelo garantizaban su desarrollo y la fecundación interna aseguraba la unión de las gametas.

Antes de la aparición de los grandes reptiles, en coincidencia con los levantamientos de los continentes, aparecen los insectos modernos, desaparecen los antiguos animales.

A la era Mesozoica, hace 230 millones de años, se la llamó la edad de los reptiles, donde vivieron animales de gran tamaño como los dinosaurios, en el Jurásico y el Cretácico, cuyos cuerpos estaban cubiertos de corazas y escudos espinosos. Algunos dinosaurios adoptaron la posición bípeda, dejando entonces los miembros anteriores libres, lo que fue el punto de partida de la aparición de las aves.

El posterior enfriamiento del clima y la competencia por el forraje, ya que muchos de ellos fueron herbívoros, quizás fue lo que determinó que estos reptiles se fueran extinguiendo. Un grupo de ellos evolucionó entonces dando origen a los animales homeotermos, primero las aves y luego los mamíferos. El éxito de los mamíferos fue tal que los últimos 65 millones de años (Era Cenozoica) se conocen como la edad de los mamíferos.

Como vemos hasta aquí, la clave de la evolución reside en la adaptación, proceso mediante el cual a lo largo de muchas generaciones, los animales y las plantas sufren modificaciones para extraer un mejor provecho de su ambiente e intentar sobrevivir; los que mejor se adapten mayor éxito tendrán.

Los mamíferos, a los que pertenece el hombre, constituyen por encima de los reptiles la forma dominante de vida animal sobre la superficie terrestre, ya que están mucho mejor adaptados. La primera característica que tienen es la de tener sangre caliente y estable lo cual es esencial para que se verifiquen los procesos fisiológicos en las células. Además lo hacen independiente de las fuentes externas de calor. Otra característica es la adquisición de diferentes tipos de dientes, lo que le permite una masticación más eficiente y una dieta más variada. Son los mamíferos los que dejan de poner huevos en contraposición con el resto de formas animales anteriores; éste es un mecanismo reproductivo más eficiente y obliga a dispensar mucho más cuidado a las crías, al ser éstas criaturas jóvenes. Por otra parte los mamíferos tienen la capacidad de obtener el máximo beneficio de las oportunidades que se les presentan, gracias a que pueden aprender ciertas lecciones de su experiencia, antes de tener que valerse por sí mismos una vez finalizados los cuidados de los progenitores.

La evolución del hombre comenzó hace 65 millones de años, con la aparición de diferentes primates que vivían en los árboles, muy parecidos a los gatos domésticos comedores de frutos e insectos, los prosimios. Luego aparecen los simios, son cada vez de costumbres más omnívoras, la cola prensil y de mayor longitud sus extremidades.

Los primeros primates antropoides (póngidos) y los hombres (hominidos) aparecen hace unos 3,5 millones de años, en medio de un clima frío, en

la Era Cenozoica del Período Oligoceno. La evolución de los primates antropoides como los gorilas o el chimpancé fue paralela a la humana. Los restos más antiguos de homínidos fue el *Ramapithecus*, que datan de 10 a 12 millones de años.

Los primates antropoides eran capaces de balancearse entre los árboles, pero cuando se enfrió el clima en las áreas forestales aparecieron algunos espacios verdes abiertos, entonces cierto tipo de primates descendieron de los árboles y se adaptaron al nuevo hábitat. Estos animales que se movían sobre sus cuatro extremidades y ocasionalmente se erguían fueron los antecesores del *Australopithecus*, el cual caminaba erguido y vivía en grupo en la sabana.

En los primates el sentido de la vista es más importante que el olfato, lo cual se asocia a un mayor desarrollo de las zonas cerebrales asociadas a la interpretación de las sensaciones visuales. También se desarrolla la tendencia a manipular lo circundante.

Procariontes y Eucariontes: Organización general de sus células

Los procariontes y eucariotes se distinguen fundamentalmente en cuanto a la organización de su material genético. En las procariontes el material genético consiste en una gran molécula única de ácido desoxirribonucleico (ADN); en las células eucarióticas, en cambio, el ADN se asocia con proteínas constituyendo un material denominado cromatina. En realidad, podría decirse que los procariontes tienen un único cromosoma de organización particular.

En células eucariotas la cromatina se organiza sólo en determinados momentos en un cuerpo denominado cromosoma. La cromatina o los cromosomas se encuentran en el interior de un orgánulo denominado núcleo celular, mientras en los procariotas no existe una membrana envolvente que rodee al material génico. En los procariotas, el ADN no está dentro de un núcleo organizado, de allí el nombre pro= anterior y karion= núcleo, mientras los eucariotas poseen un núcleo definido o verdadero (eu= verdadero).

Los procariotas que viven actualmente comprenden a las bacterias y las cianobacterias o algas verde azules. La membrana celular de los procariotas está rodeada por una pared celular externa rígida o semirrígida, elaborada por la célula misma. Algunas eucariotas, como las de plantas y hongos, tienen pared celular, pero otras como las humanas y de otros animales carecen de ella.

Las células eucarióticas en general tienen un tamaño mayor que las procarióticas y sus orgánulos son más numerosos y complejos, a menudo encerrados por membranas. Por otra parte, todos los organismos compuestos por más de una célula, es decir, los pluri o multicelulares, están compuestos por células eucarióticas que se producen por sucesivas mitosis, es decir divisiones celulares muy especiales y controladas.

El tamaño promedio de una célula procariótica es de 1-10 μm , pero algunas llegan a medir escasamente 0,2 μm y otras llamativamente 60 μm . Por otra parte, producen células semejantes

a sí mismas generalmente por fisión binaria, que es un tipo de división muy simple. Otras producen esporas y finalmente algunas se reproducen por un proceso denominado gemación donde en un sitio de la célula crece un brote que se desprende y crece como un nuevo individuo.

En algunos procariotas los productos de la división celular permanecen asociados formando cadenas, filamentos o agrupamientos, pero muchas especies existen como células aisladas, no agrupadas.

La membrana plasmática en los procariotas se invagina en algunos puntos extendiéndose hacia el interior del citoplasma. En los organismos fotosintéticos a estos plegamientos suelen unirse enzimas y pigmentos relacionados con la fotosíntesis. También se adosan a la membrana parte de las enzimas relacionadas con la respiración celular.

Un plegamiento particular es el mesosoma, que se relaciona con la división celular y la respiración. Sin embargo se considera que estas membranas internas no alcanzan a delimitar compartimientos, es decir, sitios con características diferenciales dentro del procarionte, y además este sistema no en todos los casos es permanente.

En el protoplasma procariota existen muchos tipos de sustancias químicas, entre ellas parte de las enzimas que intervienen en la respiración celular y numerosos ribosomas.

Los ribosomas son partículas muy pequeñas, de 15 a 20 nm de diámetro. Están compuestos por al menos

tres moléculas de ácido ribonucleico (ARN) y más de cincuenta proteínas diferentes. Estos diminutos orgánulos son los que hacen posible la síntesis de proteínas bajo las órdenes de la información genética del núcleo celular, permitiendo su traducción.

Casi todos los procariotas son autótrofos, lo que significa que pueden sintetizar sus nutrientes orgánicos a partir de la energía de la luz o moléculas inorgánicas y obtener el carbono de los compuestos orgánicos del CO₂ atmosférico. La mayoría de las bacterias son heterótrofas y obtienen la energía y el carbono para su crecimiento a partir únicamente de compuestos orgánicos ya sintetizados. Ninguno de ellos puede tomar alimentos sólidos del medio circundante.

El material genético se localiza en una región denominada nucleóide. En el nucleóide existe una única molécula de ADN bicatenario que posee todos los genes de la especie. Este ADN es «desnudo» pues no está firmemente unido a proteínas y es de conformación circular en la mayoría de las especies.

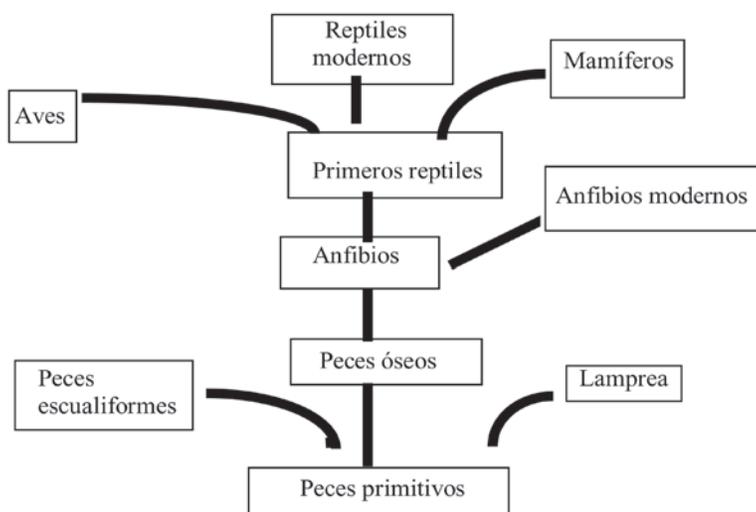
Algunos procariotas se mueven por medio de flagelos, que tienen estructura muy simple.

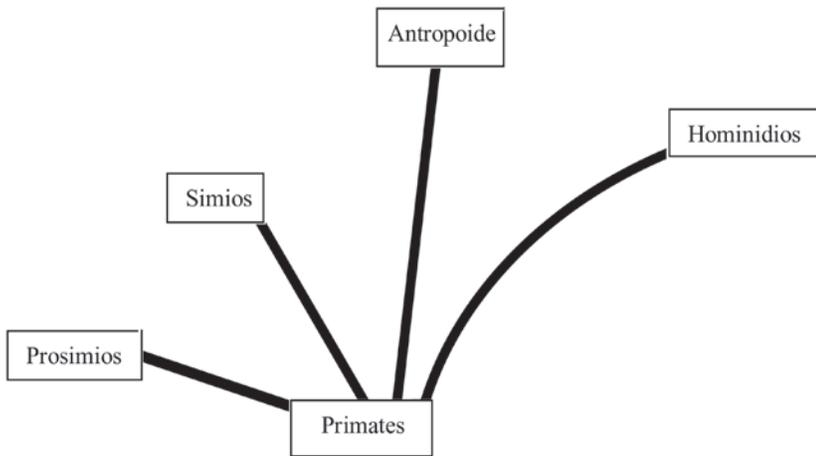
Una característica fundamental de los eucariotas es la presencia de compartimentos subcelulares limitados por una membrana.

El núcleo es el compartimento más evidente y alberga los cromosomas, los cuales son estructuras complejas formadas por una molécula de ácido desoxirribonucleico íntimamente asociada a varias proteínas. A diferencia de los procariotas los eucariotas tienen dos o más cromosomas en su genoma.

Uno de los compartimentos del citoplasma eucariota es el núcleo celular, rodeado por una envoltura. La envoltura nuclear consta de dos membranas que tienen aberturas llamadas poros nucleares, mediante los cuales mantiene sus conexiones con el resto de la célula.

Entre la membrana plasmática y la envoltura nuclear se encuentra el





citoplasma. En él pueden diferenciarse a su vez la serie de orgánulos y materiales sumamente pequeños, globulares o fibrosos, que son formes, es decir, con forma. El resto es un jugo complejo compuesto por agua, moléculas disueltas y redes moleculares.

Una célula transforma la energía mediante tres procesos: la fotosíntesis, la respiración celular y el trabajo celular. Una célula animal no realiza fotosíntesis (que queda reservado para las células vegetales) pero respira y trabaja.

En la respiración se degradan compuestos energéticos como carbohidratos, lípidos y proteínas hasta reducirlos a CO₂ y H₂O. Este proceso realiza el camino inverso a la fotosíntesis. La energía es almacenada y transportada por la molécula de ATP, y liberada gradualmente para realizar trabajo, sea este mecánico o químico. ¿Cómo organizar estas funciones dentro del interior celular? La célula realiza estas actividades en diferentes compartimentos.

Individuos: Acelulares, Unicelulares y Pluricelulares

Desde los tiempos de Aristóteles, que fue el primer pensador que introdujo el método que en la actualidad se utiliza según las semejanzas y sus diferencias, los biólogos han dividido al mundo vivo en dos: las PLANTAS y los ANIMALES.

Esta visión tan enraizada en el pensamiento humano parecería no tener otra alternativa. En el siglo XIII se estableció que los organismos unicelulares que se caracterizan por tener aspectos intermedios entre las plantas y los animales se llamarían PROTISTAS. Fue recién en 1969 los hongos fueron agrupados como FUNGI, ya que no existen hongos fotosintéticos, es decir no son productores, además la mayoría tiene paredes celulares de una sustancia llamada quitina parecida al exoesqueleto de los insectos. En tanto las bacterias y cianobacterias quedaron reunidas como MONERA, individuos unicelulares microscópicos que carecen de núcleo bien definido y otros orga-

noides de las células eucariotas.

Los VIRUS, palabra que significa veneno o ponzoña, son estructuras no celulares, no pueden realizar ninguna función por sí mismos. Son capaces de reproducirse sólo en las células que infectan. Recién en 1895, el botánico holandés Beijerinck, investigando una enfermedad de las hojas de las plantas del tabaco lo descubre, y pensando que era una sustancia tóxica la llamó «virus filtrable».

Una nueva entidad infecciosa: los PRIONES, forma abreviada del inglés que significa «Partícula infecciosa proteinácea» cuyo descubrimiento le dio el Premio Nobel de Medicina al investigador Stanley B Prusiner, quien dedicó más de 20 años de su vida al estudio de esta nueva forma viva. Este agente carece de ADN y ARN, juega un rol muy importante en las enfermedades que implican degeneración en el cerebro.

La mayor parte de la ciencia de la biología ha estado, y seguirá estando, asociada con la taxonomía, que es la rama dedicada a la nomenclatura y clasificación de los organismos.

Aunque existen millones de tipos diferentes de organismos vivos ninguno de ellos tiene adherida de manera natural una etiqueta en la que aparezca su nombre y relaciones evolutivas y ecológicas con los demás seres vivos, por tanto, corre por cuenta de la inventiva del hombre el diseño de un sistema que le permita descifrar el orden que existe dentro de la diversidad de la vida.

Así es que por taxonomía aparecen los seres vivos con estrategias de vida comunes y los clasifica en los siete grupos que mencionábamos anteriormente, y que de ahora en adelante llamaremos REINOS.

Reino Priones

A pesar de la gran cantidad de evidencias circunstanciales que relacionan los priones con enfermedades del cerebro, conocidas como encefalopatías espongiformes, se sabe que los priones son proteínas que pueden adoptar dos configuraciones distintas en el espacio, siendo una de ellas la llamada forma normal, básicamente con múltiples hélices o cuerdas espiraladas, y que se encuentra en pequeñas cantidades en el cerebro de cualquier animal superior, y la otra forma infecciosa donde los espirales se desenrollan y las proteínas adoptan formas diferentes y se vuelven letales. Como si esto fuera poco dramático, el encuentro entre una proteína normal con una infecciosa o desdoblada da como resultado el desdoblamiento de la normal o espiralada, de modo que se transforma en letal ella también. Así comienza una reacción en cadena en la que las proteínas infecciosas modifican las formas de las normales que encuentran en su camino y las unen a su equipo. En el momento en que la cantidad de proteínas infecciosas alcanza su valor límite rompen la célula donde están alojadas, produciendo así la degeneración celular.

De esta manera, Prusiner, explica cómo los Priones son responsable de «carcomerse» el cerebro, dejándolo reducido a una masa agujereada similar a una esponja. Todavía no se sabe cuál es la función de la proteína normal,

aunque los investigadores intuyen que debe jugar un rol muy importante.

En 1981, Prusiner anunció que había encontrado una proteína infecciosa en el cerebro de ovejas que padecían Scrapie. Desde entonces diferentes enfermedades del cerebro, entre las que se cuenta el Kuru, propagada mediante el ritual del canibalismo entre los primitivos habitantes de Nueva Guinea, el Insomnio Fatal Familiar, que produce alucinaciones, adormecimiento y finalmente la muerte. En todos los casos, el cerebro se transforma en una masa cuya apariencia es similar a una esponja. En los animales que la padecen sucede exactamente lo mismo, el Scrapie en las ovejas, El Mal de las Vacas Locas en el ganado vacuno y el Desgaste Crónico en los ciervos.

Además el trabajo sobre los Priones ofrece el marco para comprender otras enfermedades neurodegenerativas como el mal de Alzheimer, entre otras patologías, causante de demencia y/o muerte.

Más allá de la revolución que provocó que los Priones infecten, a pesar de carecer de código genético, estas proteínas tienen otras características como la de causar enfermedad, no sólo a través de infección, sino que también son las responsables de las formas esporádicas de este tipo de patologías. La forma hereditaria está dada por mutaciones heredadas y la esporádica tiene que ver con la aparición en forma esporádica en la población.

Reino Virus

Un virus es una partícula diminuta formada por un núcleo de ácido nucleico, rodeado por una cápside

viral que es una cubierta de proteínas y algunos de lípidos o grasas.

La mayoría tiene el tamaño más pequeño que una bacteria, de forma de hélices o poliédricos. Son agentes de numerosas enfermedades como la gripe, poliomeilitis, SIDA, hepatitis, entre otras. Muchos investigadores aún no consideran los virus como un Reino, pero en este curso lo consideraremos como tal.

Reino Monera

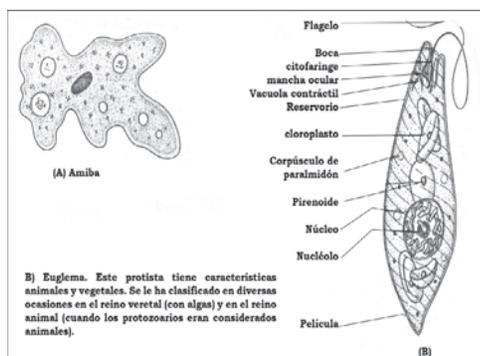
Las bacterias y cianobacterias (algas verdeazules) del reino Monera se diferencian de otros organismos por el hecho de carecer de membrana nuclear y de otros organelos rodeados por una membrana. Estos organismos también son conocidos como **procariotes**

Las bacterias son organismos microscópicos que actúan como desintegradores en el ecosistema. Algunas bacterias son patógenos de los seres humanos y de otros organismos. Las cianobacterias se parecen estructuralmente a las bacterias, pero contienen el pigmento verde llamado clorofila (así como otros pigmentos), con el que captan la energía de la luz solar para realizar la fotosíntesis. (Algunas bacterias verdaderas también son fotosintéticas, aunque emplean versiones alternativas del proceso).

Reino Protista

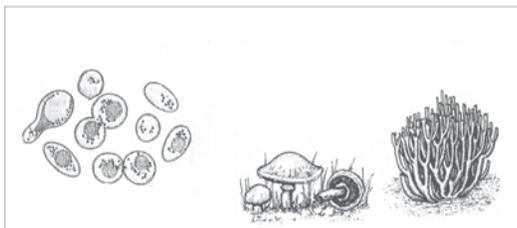
Los miembros del reino Protista son eucariotes unicelulares que por lo general viven solitarios, aunque algunas especies forman agrupaciones laxas denominadas colonias. Los protistas de tipo animal, los protozoarios, son generalmente más grandes que las

bacterias y están dotados de movilidad. Los protistas del tipo vegetal incluyen varias divisiones de algas; estos organismos contienen clorofila y son fotosintéticos.



Reino Fungi

Los hongos, que integran el reino Fungi, son un grupo muy diverso de eucariotes con grandes estructuras y mecanismos reproductivos. Estos organismos actúan como desintegradores, ya que absorben los nutrientes que hay en las hojas muertas y otros materiales orgánicos del suelo. Los hongos producen esporas cuando se reproducen. Existen dos tipos principales de hongos, los **mohos** deslizantes y: **los verdaderos**. Los mohos deslizantes son organismos en forma de masas viscosas que se encuentran sobre hojas y troncos en putrefacción.



Durante su ciclo de vida pasan por una serie de formas muy diferentes entre sí. Entre los hongos verdaderos

se incluyen las levaduras unicelulares, los mohos pluricelulares, los hongos típicos y los hongos en media luna.

Reino Plantae

Los vegetales son organismos pluricelulares adaptados para realizar la fotosíntesis. Sus pigmentos fotosintéticos, como la clorofila, se localizan dentro de organelos membranosos llamados cloroplastos. Las células vegetales están rodeadas por una pared celular rígida que contiene celulosa, y típicamente tienen grandes sacos llenos de líquido llamados vacuolas. En el reino Plantae se incluyen las algas rojas, cafés y verdes, las briófitas y las plantas vasculares.

Las algas **rojas y cafés** son organismos pluricelulares, principalmente marinos, que en general se conocen como algas o sargazos. Las **algas verdes** son plantas simples que viven en hábitat tan variados como las aguas saladas y las dulces, pasando por los ambientes terrestres húmedos. La mayoría de los botánicos piensan que las plantas más complejas evolucionaron a partir de organismos similares a las algas verdes contemporáneas.

Las **briófitas** son los musgos hepáticos y sus parientes. Estas plantas terrestres necesitan ambientes muy húmedos para poder completar su ciclo reproductivo. Debido a que carecen de un sistema eficiente de transporte interno, las briófitas no suelen ser grandes.

Las **plantas vasculares o traqueófitas** son las plantas terrestres más antiguas y, asimismo, las plantas dominantes en el medio terrestre

en la actualidad: helechos, coníferas (gimnospermas) y plantas con flor (angiospermas). Su eficiente sistema de transporte interno lleva el agua y los nutrientes de una parte a otra de la planta, lo que les permite alcanzar enormes dimensiones.

Reino Animalia

Todos los animales son pluricelulares. Sus células carecen de pigmentos fotosintéticos, de modo que los animales obtienen sus nutrientes devorando otros organismos. Los animales complejos tienen un alto grado de especialización en sus tejidos; y su cuerpo está muy organizado; estas dos características surgieron a la par que la movilidad, los órganos sensoriales complejos, los sistemas nerviosos y los sistemas musculares. Se reconoce, en general, la existencia de 10 grupos principales phyla (singular phylum) de animales. Entre ellos se encuentran los siguientes:

Esponjas. (Poríferas). Las esponjas son los animales más simples. De hábitat acuáticas y sésiles. El cuerpo de las esponjas está perforado por poros (de allí su nombre) y por donde ingresan las partículas alimenticias.

Cnidarios. Los cnidarios son las aguamalas o medusas, anémonas y corales. Estos animales acuáticos, marinos en su mayoría, presentan como característica células urticantes. Su cuerpo es básicamente un saco simple, en el que la única abertura que comunica con la cavidad digestiva, la boca (que también debe funcionar como ano) está rodeada por un círculo de tentáculos en los que están las células urticantes.

Platelmintos (gusanos chatos). Al igual que los cnidarios, los platelmintos tienen una cavidad digestiva abierta al exterior por un orificio único. Estos animales viven en aguas dulces o saladas, aunque también hay especies terrestres. Los platelmintos son bilateralmente simétricos, lo que significa que el cuerpo puede ser dividido en dos mitades, una derecha y una izquierda, aproximadamente iguales. Existe una concentración de tejido nervioso y órganos sensoriales en el extremo anterior (frente) del animal, lo que constituye una ventaja definitiva para cualquier organismo que avance en sentido anterior en el medio. Ejemplo, las planarias, las tenias; éstas tienen la apariencia de una cinta con la cabeza en la parte anterior, son parásitos obligados del intestino de los vertebrados. Son muy importantes desde el punto de vista sanitario.

Moluscos. Los moluscos son las ostras, almejas, veneras, pulpos, caracoles, babosas y calamares. Estos animales tienen una estructura corporal compleja muy diferente a la de otros animales. La mayoría de ellos tienen una concha calcárea (que contiene calcio) dura que les brinda protección, aunque dificulta mucho la locomoción. Estos animales tienen, típicamente, un pie muscular ancho, que les sirve para desplazarse de un lugar a otro.

Anélidos. Los gusanos segmentados, o anélidos, habitan en océanos, aguas dulces y muchos hábitat húmedos y sombreados. A este grupo pertenecen las lombrices de tierra, sanguijuelas y una variedad de gusanos marinos. El cuerpo de los anélidos consta de una serie de anillos o segmentos; tanto

la pared del cuerpo como los órganos internos están segmentados.

Artrópodos. Las arañas, langostas, insectos, ciempiés y milpiés se encuentran entre los artrópodos más conocidos. Existen más artrópodos, en términos de número y especies -hay aproximadamente un millón de especies, sobre todo de insectos-, que organismos en cualquier otro phylum. Estos animales habitan en una enorme variedad de hábitat y consumen una diversidad aún mayor de alimentos; en estos dos aspectos superan a los miembros de cualquier otro phylum. El término artrópodo (pie articulado) se refiere a los apéndices articulados pares de estos animales.

Equinodermos. (equino= espinas) Los equinodermos, que tienen el cuerpo cubierto de espinas, son las estrellas, erizos y pepinos de mar. Estos animales son radicalmente distintos de los demás animales, aunque parecen estar emparentados con los cordados. La piel de los equinodermos contiene placas calcáreas cubiertas de espinas.

Todos estos phylum son conocidos comúnmente como **invertebrados**, no tienen columna vertebral, pueden sí tener el exoesqueleto que cumple la función de sostén (valvas calcáreas, cutícula de quitina). Es el grupo más grande de animales, son el 90% de las especies conocidas.

Cordados. Los cordados tienen una varilla esquelética rígida (notocorda), un cordón nervioso tubular y hendiduras branquiales pares. Dichas estructuras (o sus rudimentos) se observan en todos los embriones de

los cordados, aunque pueden haber desaparecido o estar transformadas en los adultos. El principal subphylum de los cordados, los **vertebrados**, se caracteriza por la presencia de una columna vertebral cartilaginosa u ósea que envuelve -y generalmente reemplaza- a la notocorda. Los vertebrados son **los peces cartilaginosos** como los tiburones, **los peces óseos**, **los anfibios** (ranas y salamandras), **los reptiles** (serpientes, lagartos, tortugas, cocodrilos), **las aves y los mamíferos**

Los cordados son menos diversos y mucho menos abundantes que los insectos, pero compiten con ellos en cuanto a la adaptación a muchas formas de vida.

Clasificación del Ser Humano

Phylum:CHORDATA

Sub Phylum:VERTEBRETA

Super - Clase:TETRÁPODA

Clase:MAMALIA

Sub - Clase:EUTHERIA

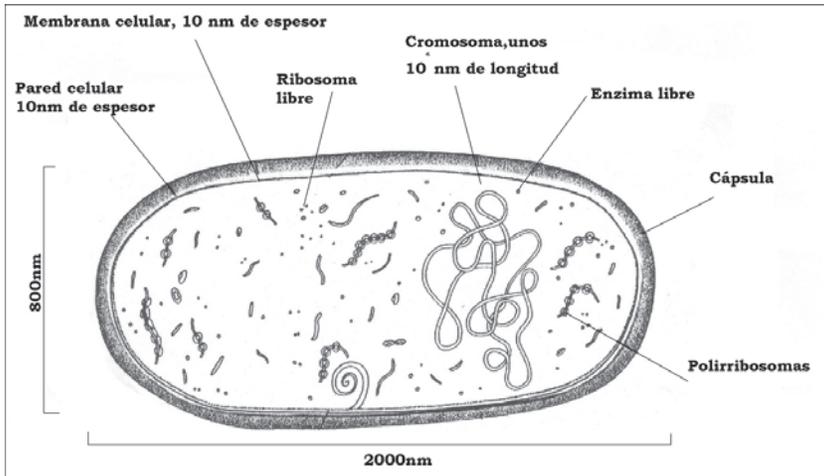
Orden:PRIMATES

Familia:HOMINIDAE

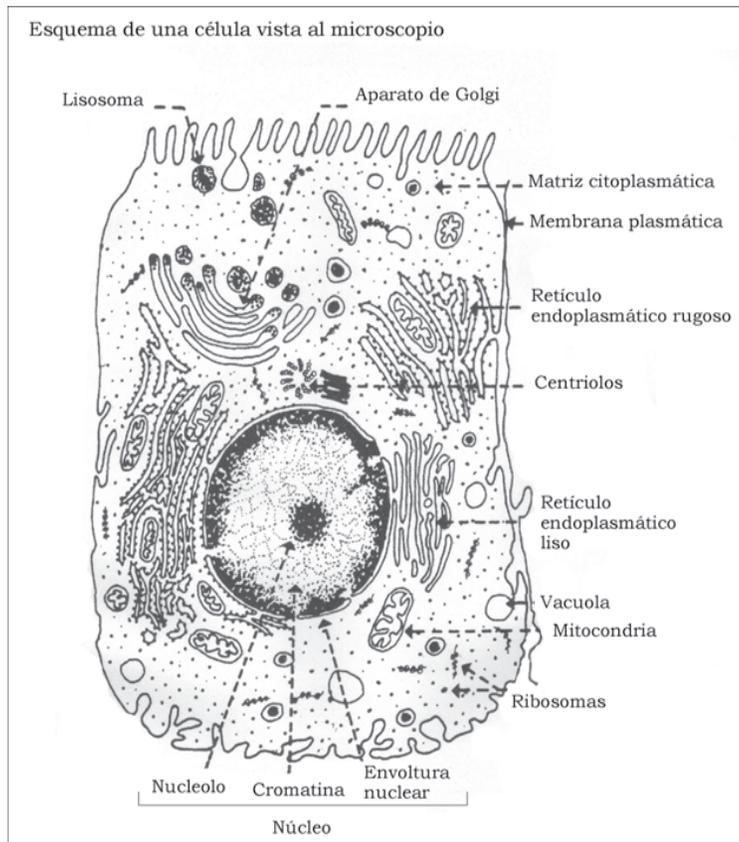
Género y especie:HOMO SAPIENS

Diversidad de Razas y Culturas

En términos evolutivos, el hombre es un recién llegado a la tierra y, sin embargo, en un corto período de tiempo se ha afianzado como la más próspera y dominante de las especies



Esquema de una célula procariota



Esquema de una célula eucariota

A medida que los primeros antepasados del hombre abandonaron los bosques para alimentarse en las sabanas y formaron agrupaciones de viviendas en los llanos, experimentaron cambios físicos, mentales y sociales.

El desarrollo de una estructura social fue moldeado y guiado por las mismas fuerzas de la selección natural, conduciendo además hacia las estructuras de las sociedades modernas y a las culturas de nuestros días.

Características del hombre

- a) Dedos relativamente cortos, pulgar largo y oponible. Permitió la utilización libre de las manos.
- b) Bipedestación, dejó las extremidades superiores libres para el manejo de las herramientas. Se relaciona con la necesidad de recoger las semillas. Australopitecus, de 1.20 de estatura y 25 Kg de peso, era granívoro.
- c) Aumento del tamaño cerebral. Notable crecimiento de las áreas de la corteza y cambios en el tamaño relativo de las partes.
- d) Retraso de la maduración humana, el hombre posee un largo período de aprendizaje. En los prosimios dura 4 meses y en el hombre dura 14 años.

Raza: es una subdivisión de una especie formada por una población con una combinación característica de genes y que difiere de las otras poblaciones.

Los caracteres corporales que definen los principales grupos de razas son:

- Proporciones corporales.
- Forma del cráneo.
- Pigmentación cutánea.
- Textura del cabello.
- Abundancia del vello corporal.
- Forma de pestañas.
- Espesor de los labios.
- Frecuencia de grupos sanguíneos.
- Capacidades gustativas.

Los principales grupos raciales son:

1. Caucasoides, que incluye a:

1.1. Europa Occidental:

Nórdica

Alpina

Mediterránea

1.2. Europa Oriental

Armenoides

Dináricos

Hindúes

2. Mongoloides, que incluye a:

Chinos

Japoneses

Ainus

Esquimales

Indios de Estados Unidos y América

Latina

3. Congoides, que incluye a:

Negros

Pigmeos

4. Capoides, que incluye a: Bechuanos

Hotentotes

5. Australoides, que incluye a:

Aborígenes de Australia

Tasmanianos

Papuomelanésicos

CAPÍTULO 4

- **Componentes inorgánicos.**
- **Componentes orgánicos.**
- **Glúcidos.**
- **Lípidos.**
- **Proteínas.**
- **Ácidos Nucleicos.**

AUTOR : Biol. Néstor Estrada

Composición Química de los Seres Vivos

El ser vivo es un sistema material de una gran complejidad que participa activamente en el movimiento de la energía, transformándola en otras formas de energía, las que puede acumular en forma de energía química, en determinadas estructuras moleculares que funcionan como acumuladores biológicos.

No obstante tal enorme complejidad es posible considerar, en el ser vivo, dos grandes categorías de componentes: *sustancias inorgánicas* y *sustancias orgánicas*.

La composición química teniendo en cuenta las proporciones, es la siguiente aproximadamente dependiendo de la edad del individuo: 75% de agua, 15% de proteínas, 5% de lípidos, 3% de hidratos de carbono 2% de ácidos nucleicos y otros.

Componentes Inorgánicos

En este primer grupo tenemos el agua, las sales minerales, anhídrido carbónico, etc.

Agua

Es la sustancia más abundante en los seres vivos. Representa más del 95% en las primeras etapas de la vida y su proporción decrece con la edad, hasta valores próximos al 65 - 60%, en la madurez.

Todos los restantes componentes se encuentran disueltos en agua, formando complejas soluciones.

No obstante la enorme humildad de su composición, el agua es una sustancia que goza de propiedades excepcionales: alta conductibilidad térmica,

elevado poder dieléctrico, enorme capacidad disolvente, conductibilidad eléctrica, elevado poder calorífico o calor específico, etc.

- capacidad solvente o disolvente: todas las sustancias que integran al ser vivo están disueltas en agua formando complejas soluciones.
- poder dieléctrico o disociador: las sales minerales están disueltas y a su vez disociadas en iones componentes.
- elevado poder calorífico: tiene la capacidad de absorber una gran cantidad de calor sin producir grandes cambios de temperatura.
- conductividad térmica: facilita la conducción del calor lo que hace posible una adecuada distribución de la temperatura.
- capacidad protectora de choques, actúa como colchón hidráulico amortiguando impactos y golpes.
- escasa viscosidad: fluye con facilidad, permitiendo su distribución en todo el organismo.
- conductibilidad eléctrica: si bien el agua es un mal conductor, en el ser vivo el agua está formando soluciones donde existen iones que facilitan la conducción eléctrica, haciendo posible los fenómenos bioeléctricos.

Sales Inorgánicas

Todas las sales, en el ser vivo, se encuentran formando soluciones. Como tales, toda sal está disociada en sus componentes iónicos; un ión es un átomo o grupo de átomos que presentan carga eléctrica positiva o negativa, por pérdida o ganancia de electrones respectivamente. Existen *ANIONES* y *CATIONES*, los que exhiben carga eléctrica negativa y positiva, respectivamente.

Entre las distintas funciones que tienen a su cargo las sales debemos mencionar:

- el mantenimiento de la presión ósmica.
- su participación como cofactores en la actividad enzimática.
- regulación del PH.

Entre los aniones más comunes citaremos los: **cloruros, bicarbonatos, fosfatos, monoácidos, fosfatos diácidos, sulfatos**, etc.

Entre los cationes más abundantes tenemos **catión sodio, catión potasio, catión magnesio, catión calcio**. Los cationes sodio y calcio están perfectamente compartimentalizados, siendo el catión sodio *ion extracelular* por excelencia; mientras el potasio es el *catión intracelular* más importante.

Estos iones se conocen con el nombre de *electrolitos* por la carga eléctrica que presentan.

Componentes Orgánicos

Comprende los compuestos que contienen en su molécula átomos de carbono y que son el resultado directo de la actividad vital (metabolismo); pues todos los compuestos orgánicos son sustancias que han sido producidas en algún eslabón de la cadena trófica o alimentaria como expresión de la actividad química del ser vivo. Esto contrasta con las sustancias inorgánicas, las cuales llegan al ser vivo desde la fuente natural es decir desde el Reino Mineral.

En esta categoría de sustancia tenemos los *glúcidos o azúcares grasas o lípidos, proteínas y derivados, ácidos nucleicos y derivados* y las *vitaminas*.

Glúcidos, Azúcares, Carbohidratos o Hidratos de Carbono

Comprende sustancias que químicamente son poli-alcoholes con función aldehído o cetona y también sus derivados por oxidación (ácidos) o por reducción (polialcoholes). Son sustancias, generalmente, muy solubles en agua y con sabor dulce. Biológicamente los azúcares cumplen funciones principalmente energéticas, es decir, actúan como combustible aportando la enorme cantidad de energía que tienen encerrada en forma de enlaces químicos. Tal energía es eficientemente aprovechada por el ser vivo, demoliendo tales sustancias, en un proceso que se llama *respiración celular o interna*.

Los azúcares se clasifican en dos grandes grupos:

- a) **no hidrolizables.**
- b) **hidrolizables.**

Los *azúcares no-hidrolizables* son aquellos que no pueden ser descompuestos en azúcares más sencillos por procesos hidrolíticos y comprenden los *monosacáridos*; los que a su vez están formados por *tres, cuatro, cinco, seis o siete átomos de carbono*, en su esqueleto y, así, tenemos las *triosas, tetrosas, pentosas, hexosas y heptosas* respectivamente.

Entre las pentosas nos encontramos con la **ribulosa** que es el azúcar que participa en la fijación del CO₂ (anhídrido carbónico) en la fotosíntesis llevada a cabo por los vegetales, que es la fuente más importante de alimento para sostener la vida sobre la tierra. Otra pentosa es la **ribosa** y un derivado de la misma, la **desoxirribosa** que es el azúcar que encontramos en la cons-

titución de los ácidos nucleicos. Entre las hexosas mencionaremos: las aldohexosas glucosa, manosa, galactosa, y cetohehexosas como la fructosa.

Los azúcares hidrolizables, que en forma abreviada diremos que están formados por dos o más monosacáridos. Estos se clasifican en **oligosacáridos** (formados por dos a doce monosacáridos) y en **polisacáridos** (cuando el número de residuos de monosacáridos que lo forman supera los doce). Entre los polisacáridos mencionaremos: *celulosa*, *almidón*, *glucógeno*. Hay polisacáridos como los mencionados, que están formados por un mismo azúcar que se repite muchas veces, son los **homopolisacáridos**; otros, en cambio, están formados por distintos monosacáridos y generalmente son derivados aminados y constituyen el grupo de los **heteropolisacáridos**. Estos heteropolisacáridos son azúcares fundamentalmente estructurales; se conocen también como mucopolisacáridos.

El almidón representa la forma de almacenamiento de glucosa en el reino vegetal, y su equivalente en el Reino animal es el glucógeno, ambos formados por una sola clase de monosacáridos u homopolisacáridos.

Entre los heteropolisacáridos se encuentran los azúcares estructurales como la quitina, componente del exoesqueleto de los insectos, el condroitín sulfato, que lo encontramos en las estructuras cartilaginosas, y la heparina es otro de los ejemplos de los heteropolisacáridos.

Grasas o Lípidos

Comprende un grupo muy heterogéneo de sustancias que tienen en común la insolubilidad en agua y la

solubilidad en solventes orgánicos.

Biológicamente, al igual que los azúcares, los lípidos cumplen funciones energéticas. En este caso particular los lípidos constituyen la reserva energética del organismo, o lo que es lo mismo aportan energía a largo plazo. Tiene un mayor rendimiento energético respecto a los carbohidratos, mientras 1 gs de azúcar rinde 4,5 calorías, 1 gs de grasa rinde el doble.

Por otra parte tienen función estructural dentro de los seres vivos; es el caso por ejemplo de los fosfolípidos, con una cabeza hidrofílica (afín al agua) y una cola hidrofóbica (no afín al agua) cuya propiedad, que les permite ordenarse de manera de esconder debajo del agua la cola mientras que su cabeza queda expuesta formando las micelas o dobles capas, permitió la aparición de las membranas celulares.

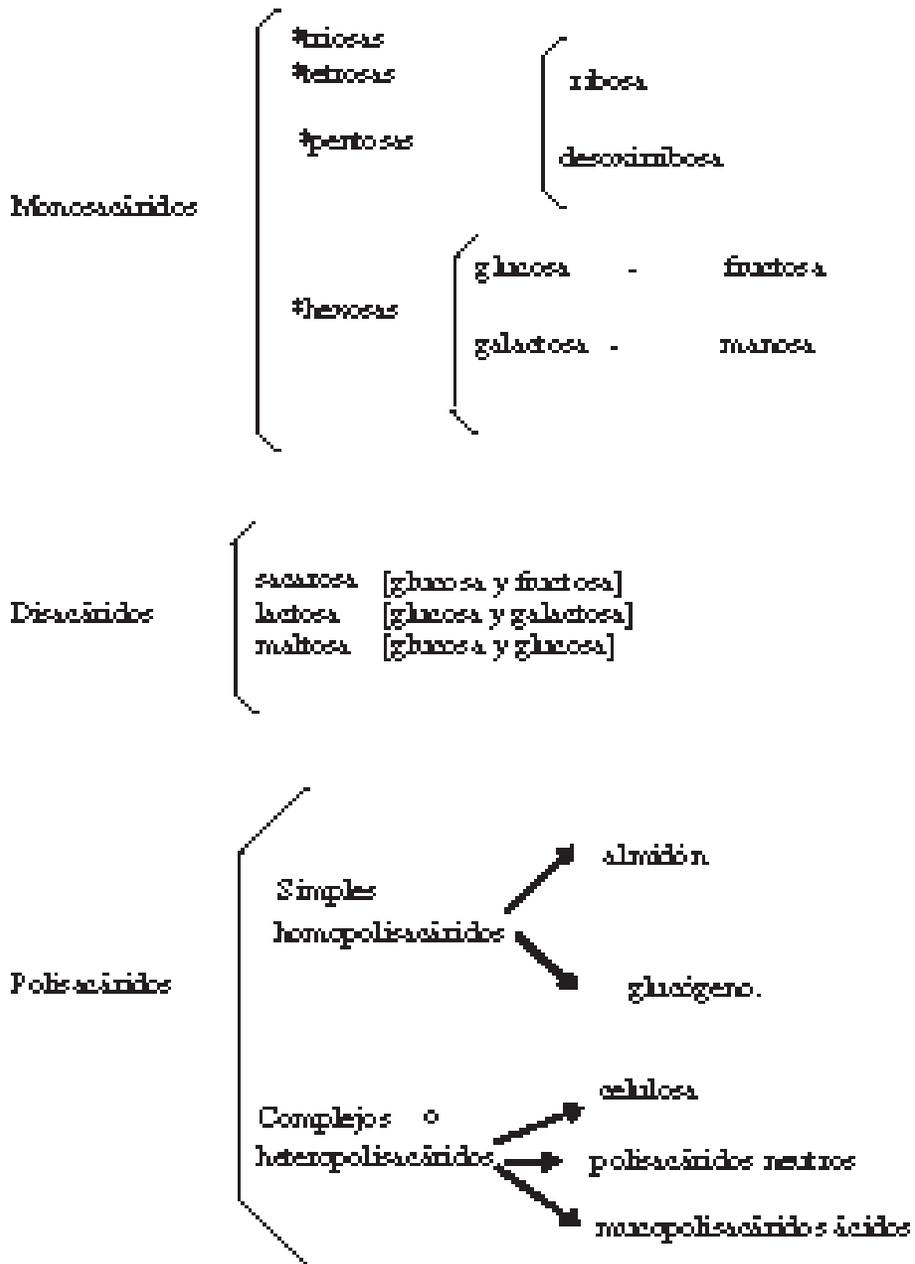
Químicamente, en esta categoría están comprendidos los *alcoholes*, *ácidos*, *ésteres* (sustancias derivadas de la combinación de un alcohol con un ácido orgánico o inorgánico), *ésteres fosfato*, *esteroides*, *esteroles*, y formas más complejas de lípidos como *glucolípidos* y *lipoproteínas*.

* **ALCOHOLES**. El más común es el **glicerol** o propanetriol. Otros alcoholes importantes son el **esfingol** o esfingosina (un amino-alcohol), el **colesterol**, el cual representa el 7% de la parte grasa de la membrana celular.

* **ÁCIDOS GRASOS**. Son sustancias caracterizadas por la presencia de un grupo carboxilo en un carbono primario que representa la parte ácida de la molécula. Hay ácidos que poseen dos o más grupos carboxilos; son los ácidos dicarboxílicos y tricarboxílicos, respectivamente. Tal grupo carboxilo

está unido a una cadena hidrocarburo con un número variable de átomos de carbono, a excepción del ácido fórmico o metanoico que sólo está representado por el grupo carboxilo. El resto hidrocarburo de los restantes ácidos puede estar representado por un residuo de un carbono (grupo metilo) en el ácido

acético (etanoico), o por más, llegando a superar ampliamente los 20 átomos de carbono. El residuo hidrocarburo puede estar formado por carbono. El residuo hidrocarburo puede estar formado por carbonos unidos por enlaces simples; éstos son los **ácidos grasos saturados**. También podemos



encontrarnos con uno o más doble enlaces, propios de los **ácidos grasos insaturados**.

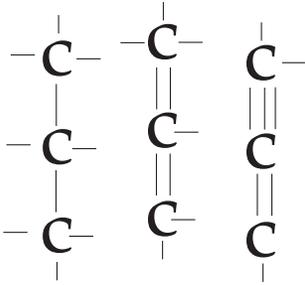


Fig.3.1. Cadenas saturadas con simple enlace. Cadena insaturada con dobles o triples enlaces.

Es importante tener presente que los ácidos grasos saturados tienen un punto de fusión creciente de acuerdo al número de átomos de carbono que conforman la cadena hidrocarbonada; mientras tanto, los ácidos grasos insaturados, tienen un punto de fusión tanto más bajo cuanto mayor es el grado de insaturación que presenta la molécula. Estos ácidos grasos insaturados son muy importantes porque tales moléculas son fluidas y tienen la capacidad de trasladar esta propiedad a las moléculas que resultan de la combinación con tales sustancias.

A esta categoría de ácidos grasos insaturados pertenece un grupo de ácidos que el organismo es incapaz de sintetizar y que son importantes en la estructura molecular del ser vivo, son los **ácidos grasos esenciales**, como los ácidos linoleico, linolénico y araquidónico que están formando parte de los fosfolípidos de la membrana celular y son responsables de parte de la fluidez que presenta la matriz lípida de la membrana.

* **ÉSTERES**. Son sustancias que resultan de la combinación de un al-

cohol con un ácido.



Cuando el alcohol en cuestión es glicerol, los ésteres son llamados **glicéridos** y éstos pueden ser mono, di o tri-glicéridos, según se hallan esterificado uno, dos o los tres grupos alcohólicos que ostenta el glicerol.



Otros ésteres tienen ácido fosfórico, como es el caso de los **fosfolípidos** donde tenemos glicerol, uno o dos ácidos grasos (generalmente uno de ellos insaturado) y una molécula de ácido fosfórico. Así tenemos formados los **ácidos fosfatídicos** que a su vez pueden esterificar a un residuo ácido del propio ácido fosfórico y tenemos conformada una molécula más compleja que son las lecitinas y cofalinas, que representan a los fosfolípidos típicos que encontramos en las membranas biológicas.



Otros ésteres tiene como alcohol al colesterol.

Anfipatía

Todas estas sustancias y otras tienen la particularidad de presentar un comportamiento dual frente al agua. La molécula grasa exhibe una parte de su molécula que **es soluble en el agua** o sea una región o parte de la molécula que **es hidrófila** o hidrosoluble y se halla ionizada, es la región polar; mientras que la otra parte o región de la molécula que **es no soluble en agua**

o **hidrófoba**, y no se halla ionizada, es la región apolar.

Esta doble afinidad (contrapuesta) se llama anfipatía y juega un papel muy importante en la distribución y ordenamiento de los lípidos y de las otras moléculas dentro de la célula y en especial de las membranas.

Proteínas

Son grandes estructuras moleculares (macromoléculas) formadas por **aminoácidos**.

Químicamente se definen como polipéptidos de alto peso molecular, porque los aminoácidos están unidos entre sí por medio de un tipo de unión, conocida como unión o puente peptídico. Resumiendo lo expuesto hasta acá, podemos decir: la unidad estructural de cualquier proteína es el aminoácido.

Un aminoácido es una molécula que tiene en su estructura ambas funciones, la función amina y la función ácido.

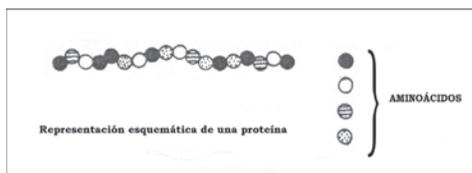


Fig.3.2. Representación esquemática de una proteína

La unión o puente peptídico se realiza entre el grupo ácido de un aminoácido y el grupo amina del otro aminoácido, y así sucesivamente.

***¿Cuántos aminoácidos distintos existen?** Existen VEINTE aminoácidos distintos.

*** ¿Qué rol desempeñan las proteínas en el ser vivo?** Las proteínas son

los motores que permiten o hacen posible el *metabolismo celular* (anabolismo y catabolismo); pues la ocurrencia de estos procesos depende de la presencia integral y funcional de las proteínas.

*** ¿Qué las diferencia de otras sustancias?** *Las proteínas son moléculas que gozan de especificidad biológica: es decir, cada proteína tiene a su cargo la realización de una función particular que no puede ser ejecutada por otra sustancia.*

Otro aspecto importante a saber es lo siguiente: *la síntesis de cada tipo particular de proteína depende de la información previamente contenida en la herencia del organismo.*

“La síntesis de una proteína representa la expresión bioquímica de una unidad de herencia, llamada GEN”.

Hemos definido a las proteínas como péptidos (polipéptidos) de alto peso molecular y también hemos visto un péptido, formado por dos aminoácidos. Cuando dos aminoácidos se unen a través de un puente peptídico, el péptido resultante es un *dipéptido*; cuando a ese dipéptido se le une otro aminoácido, resulta un tripéptido; el péptido resultante de cuatro aminoácidos es un tetrapéptido; luego tenemos un pentapéptido, hexapéptido, etc.

Cuando el número de residuos aminoácidos está entre dos y doce (hay autores que consideran hasta quince), hablamos de *oligopéptidos* (oligo: poco), nombre que hace referencia al escaso número de aminoácidos participantes.

Cuando el número de residuos supera los doce o quince hablamos de *polipéptidos*.

Si bien las proteínas son esenciales en el ejercicio de la vida, esto no significa que los oligopéptidos carezcan de importancia biológica, pues hay oligopéptidos que desempeñan importantes funciones biológicas, como lo son las hormonas neurohipofisarias, vasopresina (llamada neurona antidiurética) y la oxitocina. La angiotensina II (hormona plásmica que actúa sobre la corteza suprarrenal), también es un oligopéptido. También hay neurotransmisores oligopéptidos de gran importancia en la fisiología neuronal; pero como también los hay polipeptídicos, se habla, por razones de extensión, de neuropéptidos.

*** ¿Todo polipéptido es una proteína?** No, una proteína es polipéptido que tiene un peso molecular (suma de los pesos atómicos de todos los átomos que integran la molécula) igual o superior al de la *insulina* (hormona hipoglucemiante del páncreas), cuyo peso molecular está estimado en 6000 dáltones (el dalton es la unidad de peso atómico). De lo aquí expuesto, deducimos que toda proteína es un polipéptido; pero, que no todo polipéptido es una proteína.

*** ¿Cómo se clasifican las proteínas según las funciones que cumplen en el organismo?** Las proteínas se clasifican en *estructurales* y *funcionales*.

Proteínas estructurales son aquellas que están formando el andamiaje del mismo, como ejemplos, la proteína del pelo, etc.

Proteínas funcionales son aquellas que tienen a su cargo funciones específicas como la actividad enzimática

o catalítica y el transporte de sustancias entre otras.

Las proteínas funcionales se clasifican en enzimas y transportadores o carriers.

Las enzimas son catalizadores biológicos de naturaleza proteica. No existen enzimas que no sean proteínas. **¿Qué es un catalizador?** Un catalizador es una sustancia que tiene la propiedad de acelerar la velocidad de una reacción química pero sin participar en la misma, es decir que no forma parte de los productos finales de dicha reacción.

Las enzimas gozan de especificidad o fidelidad. **¿Qué significa esto?** Que una enzima particular sólo puede actuar específicamente en una determinada reacción química, sobre una determinada sustancia y no sobre otra. La sustancia sobre la que actúa una enzima se conoce con el nombre de SUSTRATO.

*** ¿Cómo actúa la enzima?** La enzima se une transitoriamente al sustrato formando el COMPLEJO ENZIMA-SUSTRATO. Al quedar así formado ese complejo enzima-sustrato, la molécula enzimática sufre un cambio conformacional que incide sobre el sustrato, al que eleva su nivel energético con lo que lo hace inestable (la estabilidad de una molécula es tanto mayor cuanto menor es el nivel energético de la misma). Como consecuencia de este aumento de energía y por consiguiente de inestabilidad, la molécula sustrato tiende a adquirir nuevas formas de estabilidad, lo que logra por roturas, reordenamientos internos o por combinaciones con otras

sustancias; en ese preciso momento el sustrato inicial, al haber cambiado a otra estructura molecular, se separa de la molécula de enzima descomponiéndose el complejo enzima-sustrato, dejando a la enzima en libertad para poder actuar nuevamente sobre otra molécula sustrato. Esto se conoce como actividad enzimática y depende de la concentración de enzima y de sustrato, como también de co-factores y de co-enzimas. Son co-enzimas aquellas moléculas que se unen a la enzima para que ésta pueda actuar y generalmente participan como dadoras o receptoras de cargas reductoras, tal el caso del NAD, NADH, FAD, FADH, etc.

Los transportadores son proteínas que también gozan de especificidad y tienen a su cargo el transporte específico de sustancias en el organismo, tal el caso de la hemoglobina, la transferrina, en la sangre; en las células tenemos las permeasas que actúan facilitando el movimiento específico de sustancias a través de la membrana.

En toda proteína se reconoce una estructura primaria, una secundaria y otra terciaria; en algunas existe la estructura cuaternaria.

De la estructura primaria mencionaremos que es el ordenamiento que tienen los aminoácidos en la misma, también llamado secuencia. Esto significa que dos proteínas pueden tener los mismos componentes pero se diferencian como dos palabras distintas, según el orden de sus componentes; ej: ROMA - OMAR. Así como estas dos palabras tienen distintos significados, las proteínas tienen distintas funciones. La estructura primaria depende del puente péptico, en cambio, las estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias dependen de uniones muy débiles como los puentes de hidrógenos, uniones salinas, interacciones iónicas y también de uniones fuertes como los puentes disulfuros. Son las uniones débiles las que se alteran o anulan cuando aumenta la energía del sistema en que se encuentran tales proteínas, con lo que se altera la funcionalidad de la proteína (desnaturaliza).

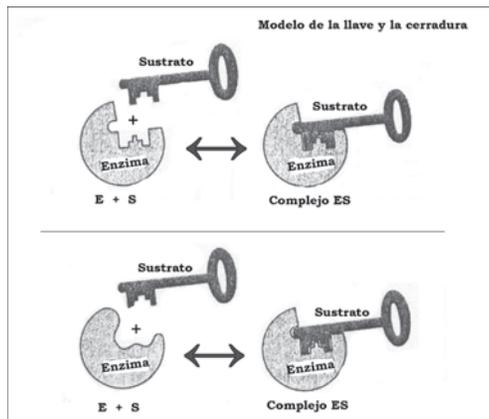


Fig.3.4. Representación gráfica del modelo llave cerradura

*** ¿Cómo se reconoce una proteína de otra?** Por medio de sus estructu-

En cuanto a su composición, las proteínas pueden ser simples o conjugadas. Son proteínas simples aquellas que están formadas exclusivamente por aminoácidos. Las proteínas conjugadas son aquellas formadas por dos partes: una parte proteica (el polipéptido, como en el caso anterior) y una parte no proteica llamada grupo prostético que pueden ser azúcares (glicoproteínas), lípidos (lipoproteínas) o complejos orgánicos conteniendo o no metales. En este último caso tenemos las metaloproteínas, como la hemoglobina, citocromos, etc.

Las proteínas son en general muy solubles en agua, formando soluciones coloidales (las soluciones coloidales son viscosas, es decir, resistentes a fluir). Las enzimas son solubles.

Las proteínas son muy sensibles a las altas temperaturas. A los 45 - 50°C, comienza a alterarse la estructura secundaria y terciaria (eventualmente la cuaternaria) por destrucción de los débiles enlaces representados principalmente por los puentes de hidrógenos; esto hace que la proteína pierda su conformación natural y con ello su actividad biológica. Esta pérdida puede recuperarse (es reversible); pero, a los 60°C, la alteración de las estructuras mencionadas (DENATURALIZACIÓN) se hace IRREVERSIBLE con lo que la proteína pierde completamente toda su actividad.

Las proteínas también se desnaturalizan por acción de ácidos y álcalis fuertes y por acción de soluciones salinas concentradas. Los tratamientos combinados de soluciones ácidas o alcalinas fuertes con temperaturas altas rompen los enlaces peptídicos, con lo que se altera completamente la proteína.

Las radiaciones ionizantes también alteran las proteínas.

*** ¿Qué pasa cuando en un organismo falta una proteína?** Se produce una alteración en la frecuencia metabólica a la que está afecta dicha proteína; tal el caso de las deficiencias congénitas (hereditarias).

Ácidos Nucleicos

Son grandes estructuras moleculares formadas por la unión de muchos

nucleótidos. Se definen como polinucleótidos de elevado peso molecular. Funcionalmente son las **moléculas portadoras de la información biológica**. Estas biomoléculas tienen a su cargo la **síntesis, conservación y expresión de la herencia del organismo** (la herencia se expresa en la síntesis de las proteínas).

La vida comienza con el mantenimiento de las estructuras heredables y tal hecho está a cargo de los ácidos nucleicos.

Siendo los ácidos nucleicos polinucleicos, ¿qué son los nucleótidos o unidades con que están formados los ácidos nucleicos? Un nucleótido es una molécula formada por:

una molécula de ácido fosfórico + una molécula de azúcar + una molécula de una base nitrogenada

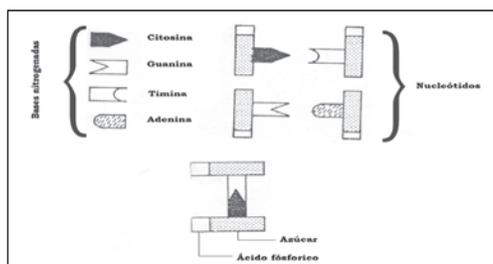


Fig.3.5. Esquema de un nucleótido

El nucleótido está formado por tres moléculas, de las cuales dos son constantes: el ácido fosfórico y la pentosa (azúcar). El azúcar puede ser: **ribosa o desoxirribosa**, según el tipo de ácido nucleico de que se trate. El elemento variable en los ácidos nucleicos es la base nitrogenada. Las bases operantes son cinco; tres pertenecen al núcleo pirimidina y son las bases pirimídicas

citocina, timina y uracilo; las otras dos pertenecen al núcleo purina y son las bases púricas **adenina y guanina**, están presentes en todos los ácidos nucleicos. La **timina** se encuentra con la **desoxirribosa** en los ácidos **desoxirribonucleicos**; al **uracilo** lo encontramos con la **ribosa** en los ácidos **ribonucleicos**. El ácido fosfórico actúa a modo de puente uniendo los distintos nucleótidos entre sí, de tal modo que un ácido nucleico es una cadena de nucleótidos.

Siempre la base nitrogenada está unida a la pentosa y ésta al ácido fosfórico.

*** ¿Cuántos tipos de ácidos nucleicos hay? Dos ¿Cuáles son?** Ellos son los **ÁCIDOS DESOXIRRIBONUCLEICOS (ADN)** y los **ÁCIDOS RIBONUCLEICOS (ARN)**.

Cuadro de diferencias entre adn y arn

ADN
* Glúcido: desoxirribosa
* Bases nitrogenadas: timina, adenina, guanina, citocina
* Conformación espacial: dos cadenas polinucleótidas en espiral.
* Opera en el núcleo
* Mantiene la herencia
ARN
* Glúcido: ribosa
* Bases nitrogenadas: uracilo, adenina, citocina, guanina.
* Conformación espacial: una sola cadena polinucleotídica plegada en hasas.
* Opera en el núcleo y citoplasma
* Sintetiza las proteínas
* Expresa la herencia

Los ácidos desoxirribonucleicos o ADN. Son las estructuras moleculares de mayores dimensiones que existen en la célula. Están formados por dos cadenas de polinucleótidos que se mantienen unidas por medio de puentes de hidrógeno que se establecen entre las bases enfrentadas, de una y otra cadena. Esto es posible porque existe una *complementaridad, correspondencia o apareamiento de bases* que hace posible la formación de puentes de hidrógeno.

El principio de complementaridad, correspondencia o apareamiento de bases de Watson y Crick que establece que la *adenina se aparea con la timina* y viceversa; y la *citocina se aparea con la guanina* y viceversa. Entre *adenina y timina* se establecen *dos enlaces de hidrógeno*, entre *guanina y citocina* se establecen *tres enlaces*. Esto es importante tener presente porque en ello se basa la exactitud de la síntesis del material hereditario.

*** ¿Dónde se encuentra el ADN?**
El ADN se halla en el núcleo celular y también en algunos organoides llamados semiautónomos; dentro del núcleo, el ADN se encuentra en el cromosoma; si el cromosoma está formado por un solo filamento o cromátida, en esa cromátida tenemos una molécula de ADN; si el cromosoma está formado por dos cromátidas, en cada una de ellas hay una molécula de ADN.

*** ¿Cómo está el ADN?** En las células más primitivas (procariontes) el ADN se halla solo; en cambio, en las células más evolucionadas (eucariontes) el ADN está asociado con proteínas (histonas) formando los complejos conocidos como núcleos proteínas.

* **¿Qué propiedad particular tienen los ADN?** Los ADN son las únicas estructuras moleculares capaces de sintetizarse a sí y ésto, precisamente, hace posible que la naturaleza les haya confiado el mantenimiento de la herencia.

* **¿Cómo se reproduce o sintetiza el ADN o material hereditario?** Para sintetizarse, comienzan a separarse las dos cadenas que conforman una molécula de ADN y luego, según el principio de apareamiento o correspondencia de bases de Watson y Crick, cada cadena fija su base complementaria a partir de una forma especial de nucleótidos sueltos en el núcleo; después por acción enzimática se produce la unión de los nucleótidos por medio de los puentes fosfatos entre los residuos de ácidos fosfóricos. De esta manera, *cada cadena original actúa a modo de molde matriz para la exacta síntesis de su cadena complementaria. En toda molécula de ADN existe una cadena nueva y una cadena vieja (la cadena molde o matriz).*

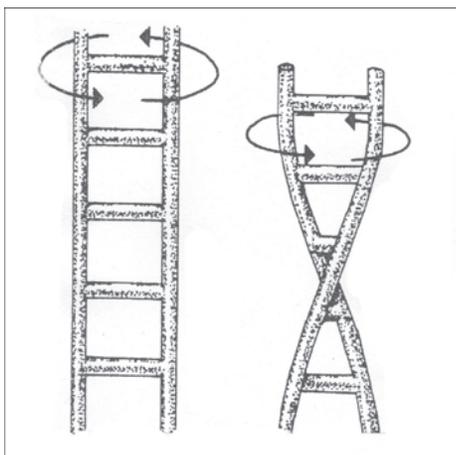


Fig 3.6. El ADN y la estructura de doble cadena en espiral.

* **¿Qué pasa cuando se produce un error en la colocación de una base durante la síntesis del ADN?** Cuando ocurre ésto, estamos en presencia de una mutación. Tal mutación sólo es conocida cuando se expresa en la síntesis de una proteína que no responde al plantel normal de proteínas que debe poseer el organismo.

La síntesis de ADN se llama duplicación o replicación.

* **¿Existen mecanismos para asegurar la exactitud en la síntesis del material hereditario?** Sí. En el grupo se encuentra un verdadero equipo de enzimas que están para evitar que los errores de síntesis escapen; tales equipos o sistemas enzimáticos se conocen como *enzimas de reparación del ADN*.

Estos mecanismos hacen a la *naturaleza conservadora de la herencia*; no obstante, algún error escapa a este mecanismo control y se produce la mutación que representa la base molecular de la evolución.

* **¿Qué otra función tiene el ADN?** La otra función importante del ADN es la de sintetizar el ARN, se llama *transcripción*.

* **¿Qué relación íntima existe entre el ADN y la herencia?** La herencia de un organismo está representada por varios miles de unidades de herencia o factores hereditarios. Cada unidad de herencia o factor hereditario se conoce con el nombre de *gen* y *cada gen es un trozo de ADN*. Por lo tanto, una molécula de ADN representa a miles de genes contenidos en ella (en su secuencia de bases) de un tipo particular de ARN.

Los ácidos ribonucleicos o ARN

Están formados por una sola cadena de polinucleótidos que contiene la base *uracilo* como distintivo, en reemplazo de la *timina* que es propia de los ADN.

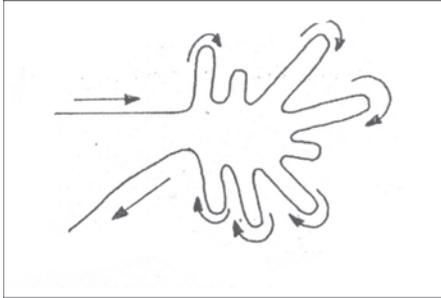


Fig.3.7. Estructura del ARN donde se muestra el tipo de plegamiento de su cadena.

* **¿Dónde se encuentran los ARN?** Los ARN se encuentran en el núcleo celular y también en el citoplasma.

* **¿Dónde se sintetizan los ARN?** Se sintetizan en el núcleo, lugar donde se encuentran los ADN.

* **¿Qué función tienen los ARN?** Ellos tienen por función la síntesis proteica. Los ARN constituyen la maquinaria para la síntesis proteica.

* **¿Dónde operan los ARN o dónde se produce la síntesis de las proteínas?** La síntesis proteica ocurre en el citoplasma.

Por su función distinguimos tres tipos de ácidos ribonucleicos (ARN): ARN ribosómicos (ARN_r), ARN mensajeros (ARN_m), y ARN de transferencia (ARN_t).

Los ARN_r reciben este nombre porque son los constituyentes representativos de los ribosomas (organoides sin membranas que se encuentran en el citoplasma y que es el sitio donde se produce la síntesis de las proteínas; es más correcto decir que es el sitio donde se sintetizan los polipéptidos). Casi todos los ARN_r se sintetizan en el nucléolo y allí se organizan con las proteínas formando estructuras ribonucleoproteicas, que después constituirán las subunidades ribosomales.

Los ARN_m son los encargados de llevar al citoplasma las directivas sobre el tipo de proteína o polipéptido que se debe sintetizar. Representa a un verdadero mensajero del gen contenido en la molécula de ADN.

* **¿Cómo dirige el ARN_m la síntesis proteica?** El ARN_m tiene por función servir de ordenador de los aminoácidos; de este modo, determina la secuencia de los aminoácidos en la proteína.

* **¿Cómo funciona el ARN_m para lograr este propósito?** Si bien el ARN_m como todo tipo de ácido nucleico está definido por su secuencia (ordenamiento) de nucleótidos, operativamente el ARN_m está definido por una *secuencia de tripletes de nucleótidos*. Cada triplete de nucleótido codifica indirectamente a un aminoácido, por ello se conocen con el nombre de *codón*, pues codifican a un aminoácido. De este modo debemos considerar al ARN_m como una *secuencia de codones*.

Existen 64 tripletes de nucleótidos o codones distintos. De estos 64 codones la forma AUG se conoce como

codón de iniciación y siempre codifica al aminoácido *metionina*. Los codones UAA, UAG y UGA no codifican para aminoácido alguno y son los *codones de terminación* e indican el fin de la síntesis proteica.

Los ARN_t tienen por función el transporte de aminoácidos desde el citoplasma hasta el ribosoma, lugar de síntesis del polipéptido. Estos ARN_t son los ácidos nucleicos más pequeños y están formados por cerca de 70 nucleótidos cada uno. Tienen la forma de una hoja de trébol, es decir presentan tres asas, una de ellas es el anticodón o triplete complementario del codón.

* ¿Cómo operan los ARN_t ?

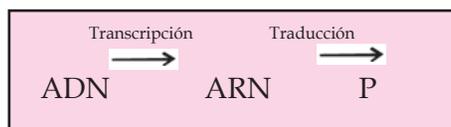
Ellos se combinan con el aminoácido específico y lo transportan hasta el sitio de síntesis proteica, acomodando y adaptando el aminoácido en el sitio exacto.

* ¿Cómo se acomoda el aminoácido en el sitio justo? Ello es posible por medio del anticodón. El ARN_t , mediante el anticodón se une al codón complementario del ARN_m formando puente hidrógeno entre las bases complementarias de uno y otro y de ese modo asegura el sitio que debe ocupar el aminoácido en cuestión. Después los aminoácidos se combinan entre sí formando los puentes o uniones peptídicas y los ARN_t se van soltando, volviendo al seno del citoplasma, donde pueden eventualmente transportar otro aminoácido del mismo tipo. Cada uno de estos ARN transporta un solo tipo de aminoácido.

De lo expuesto, resulta que la síntesis de proteínas es una lectura traducida de los codones contenidos en el ARN_m , dicha lectura la llevan a cabo

los sucesivos ARN_t , que van llegando al mensajero. La lectura contenida en un mensaje cifrado en cuatro símbolos o letras (las bases) se traduce a un lenguaje escrito con aminoácidos, de los que resultan los polipéptidos o proteínas. Es por eso que la síntesis de proteínas se llama traducción.

Ahora se puede comprender cómo la información genética contenida en el ADN fluye hasta la síntesis de proteínas (en la que se expresa), pasando por la síntesis de ARN_m . Esto constituye el dogma central de la Biología.



* ¿Qué ocurre cuándo se produce una duplicación no correcta del ADN?

Esta situación como ya dijimos responde a un caso de mutación. Cabe la posibilidad de que tal error se produzca en un sector no génico del ADN; en tal caso pasa desapercibida sin afectar de forma alguna al organismo. Pero si afecta a un sector génico, la misma se expresa o define por la ubicación de una base incorrecta, la que será responsable de la alteración correspondiente (en el ARN dependiente de dicho gen) y tal codón a su vez será responsable de la colocación de un aminoácido en la proteína a sintetizar, lo que puede determinar la síntesis de una proteína con sus características funcionales alteradas, causa de patologías hereditarias en el organismo; ejemplo de ello es la anemia falciforme o falcemia.

Otro tipo de alteración más severa aún es aquella que produce la pérdida o deleción o la incorporación de una base adicional. En tal caso se altera la secuencia de nucleótidos, lo

que determinará una total alteración en la secuencia de los codones correctos y se terminará expresando en la síntesis de la proteína tradicional.

CAPÍTULO 5

- **Estructura general.**
- **Membrana plasmática.**
- **Citoplasma.**
- **Organoides citoplasmáticos.**
- **Ciclo celular.**
- **Núcleo celular.**
- **Mitosis y Meiosis.**

AUTOR : Biol. Néstor Estrada

Nociones Generales

Esta unidad, dada su enorme importancia, será desarrollada como si fuera el relato de un viaje o recorrida por el interior de un ser vivo. En esta ocasión, el ser vivo objeto de la visita es la célula.

Como todo sabemos, la célula es un ser vivo muy pequeñito, lo cual nos obliga a manejarnos con otras unidades de medida, que por falta de práctica nos puede resultar extraño. Sabemos que el tamaño de una célula está en el orden de la milésima del milímetro, y esta magnitud se llama **micrón** y se representa con la letra griega **m,E**

Nosotros nos encontraremos en el interior celular con diferentes tipos de estructuras y en muchas oportunidades tendremos que abordar las características de las estructuras sub-celulares, las cuales presentan dimensiones que están en el orden de la milésima y diez-milésima parte del micrón.

Sabemos que las células exhiben diferentes formas y distintos tamaños; de igual modo sabemos que existen organismos vivos formados por una sola célula y que también los hay formados por muchas células; precisamente ésta da lugar a la clasificación de los seres vivos en: **organismos unicelulares** y **organismos pluricelulares**. En estos últimos, el patrimonio celular se agrupa formando **tejidos** para el desarrollo de una función más eficiente.

Como ser vivo, la célula es una estructura que contiene -al menos- los dos componentes principales de la maquinaria viviente:

- a) **la maquinaria para la conservación y transferencia de la información**, la cual se acumula, se distribuye, se procesa y -por sobre todo- **genera la información que controla los procesos vitales**. Este control se realiza mediante la **fabricación o síntesis de PROTEINAS**, las cuales son exclusivas de cada ser vivo y actúan como los verdaderos **motorcitos** que ponen en funcionamiento la vida, al motorizar o poner en marcha la compleja maquinaria biológica. **información. b) la maquinaria necesaria para la transducción de la energía**, a la que transforma de una forma energética en otra, la conserva acumulándola en forma transitoria en ciertos dispositivos moleculares especiales (**acumuladores biológicos de energía, como el ATP**) y la distribuye por todo el territorio funcional del organismo, para hacer posible la ocurrencia de los fenómenos o procesos vitales.

La célula es la unidad anatómica y funcional del ser vivo

Estructura Celular

Ahora iniciamos nuestro viaje al interior celular. Este organismo llamado célula puede compararse con una isla porque toda célula vive rodeada de un medio líquido, que a su vez es una compleja solución acuosa en la que encontramos sustancias inorgánicas y sustancias orgánicas. Tal medio, llamado medio extra-celular está en constante interacción con la célula, la cual -a través de ese medio- recibe información, recibe nutrientes, y vierte o excreta sus desechos metabólicos, al mismo. En los organismos pluricelulares, las células se relacionan entre sí

merced al medio extra-celular.

Al llegar a nuestra fabulosa **célula**, una verdadera **ISLA VIVIENTE**, lo primero que se podrá observar es una curiosa configuración que a modo de barrera rodea completamente a la célula animal.

Cubierta celular o glicocáliz

Esta estructura llamada **cubierta celular** o **glicocáliz**, se dispone alrededor de la misma, como si fuera una barba o barbilla formada por pelitos, que son los **restos** o **residuos azucarados** de los complejos glucolipídicos y glucoproteicos de los componentes moleculares de la membrana celular. Tales residuos azucarados (**oligosacáridos**) se proyectan al exterior de la superficie celular, manteniendo un íntimo contacto con el medio extra-celular. Esta cubierta tiene un espesor de **100 a 120 Å**.

En estas regiones del territorio celular, el glicocáliz o cubierta celular representa una especie de dispositivo de protección de la línea de frontera celular (como tal, por su actividad, nos recuerda los Puestos o Destacamentos de Gendarmería o de Prefectura Naval). Esta compleja estructura cumple importantes funciones, entre ellas:

Protección de la membrana celular.

Retención transitoria del material (conservación o mantenimiento) para su posterior **ingreso** al interior celular.

Formación y mantenimiento de un micro ambiente.

Participación en los fenómenos o procesos de reconocimiento celular.

El reconocimiento celular es una función que le permite a la célula examinar el entorno para percatarse de las condiciones del medio que lo rodea; de este modo, la célula **sabe** si dispone de espacio para su descendencia, en el caso que la misma se pudiese dividir.

Cuando **se altera esta función**, por alteración del material químico comprometido, **la célula pierde esta capacidad de reconocimiento y entra en un proceso de división descontrolada que produce una hiperplasia, que puede no ser benigna**; en tal caso, este proceso puede conducir a la formación de un **tumor**. La naturaleza química del material implicado en estas desviaciones son los **gangliósidos**; cabe la especulación de que los productos cancerígenos del tabaco como los antracenos y benzopirenos, reaccionen con los componentes de los gangliósidos, alterándolos.

Esta cubierta celular o glicocáliz es una estructura de secreción y carece de actividad metabólica.

En las células vegetales existe una estructura de secreción mucho más desarrollada equivalente a la cubierta celular; pero tiene otras funciones a cargo, es la pared celular, la que participa en la protección de la célula, en el mantenimiento de su forma y en los mecanismos de la turgencia, entre otras cosas.

Membrana Celular

Tras haber hecho una pausa entretenida en la contemplación del glicocáliz, se reanudará el viaje; ahora estamos pasando la **membrana celular**,

también llamada membrana plasmática o plasmalema, que marca el límite exacto de esta **maquinaria viviente llamada célula**. Acá nos encontramos con una fina, tenue o delicada (¡digamos chuchi!) estructura de naturaleza lipo-proteica (formada por lípidos y proteínas). Analizando esta membrana comprobamos que está organizada sobre la base de dos capas de lípidos de una molécula de espesor, cada una.

El componente sobresaliente son los fosfolípidos, que representan el **85%** de la parte grasa de esta matriz o base estructural; el 15% restante está conformado por colesterol (7%) y otros tipos de lípidos, el resto. Esto forma la **matriz lipídica de la membrana** sobre la que se disponen las **proteínas** como si fueran baldosas o mosaicos, interrumpiendo la continuidad estructural que formaban los lípidos. En virtud de esto se habla de Teoría del Mosaico Fluido, cuando se hace referencia a la disposición u ordenamiento que guardan los lípidos y las proteínas, en esta membrana.

Sabemos que los lípidos son sustancias anfipáticas (en la extensión de su dimensión molecular muestran dos regiones con distintas afinidades funcionales, una zona o región es **hidrofílica** o soluble en agua; mientras que la otra zona o región es no soluble en agua, es decir **hidrofóbica**, y en virtud de esto se colocan o ubican exponiendo sus regiones hidrosolubles o polares hacia el medio líquido (cara extracelular de la membrana y cara intracelular o citoplasmática); mientras que las regiones apolares o no-hidrosolubles se disponen hacia la parte central de la bicapa, aisladas de todo contacto

con el agua.

Las proteínas que encontramos en la membrana son de dos clases, según la relación o contacto que guardan con los elementos grasos. Acá tenemos proteínas llamadas **integrales** o **intrínsecas** las que se hallan sumergidas en el espesor de la bicapa (algunas proteínas se encuentran en el espesor de una cualquiera de las monocapas; otras atraviesan completamente la bicapa, desde la cara externa hasta la cara intracitoplasmática). Las otras proteínas son las llamadas **extrínsecas** o **periféricas**, y se disponen sobre la cara externa de la membrana. Ambos tipos de proteínas se mantienen relacionados con los lípidos mediante relaciones polares y apolares (hidrofílicas-hidrofóbicas).

El ingreso a la maravilla del mundo viviente se hace a través de esta membrana que tiene un espesor promedio de 75 A (menos de ocho millonésimas de milímetro); el espesor varía entre los 60 y 100 A.

La membrana es una estructura fluida y debe esta fluidez a la abundancia relativa de residuos de ácidos grasos poli-insaturados (ácidos grasos esenciales) y esta fluidez permite el movimiento de deslizamiento lateral de una capa sobre la otra, lo que resulta compatible con el dinamismo de la vida misma.

Una pregunta que generalmente surge, en forma casi espontánea, es: **¿para qué sirve esta membrana celular?**

Todo material que ingresa o sale de la célula, lo hace a través de esta

membrana. Esta función se conoce con el nombre de **regulación de la permeabilidad celular** (no cualquier sustancia puede entrar; tampoco cualquier sustancia puede salir de la célula). **Este movimiento de sustancias**, hacia uno y otro lado de la membrana, **es regulado por la permeabilidad selectiva** que presenta la membrana.

Este flujo de material se conoce como **“transporte a través de membrana”**. Acá vamos a hacer un pequeño descanso (que aprovecharemos para hablar de las soluciones y su importancia en el ser vivo; puesto que todo material relacionado con el ser vivo, en algún momento de su historia, estaba en estado de solución). Toda solución es una mezcla donde se reconocen **dos tipos de componentes**, la sustancia que disuelve (**solvente**) y la sustancia que se disuelve o deja disolver (**soluto**). La relación que guardan ambos componentes (**solvente** y **soluto**) se llama concentración (definimos la palabra concentración expresando que es la cantidad de sustancia presente, por unidad de volumen). Es importante el concepto de concentración porque ella es quien determina la ocurrencia del flujo de material y, por consiguiente, la dirección del mismo. La concentración de una solución se puede expresar de varias formas; de tal modo, la solución se puede expresar como:

a) solución molar: cuando contiene una molécula gramo o mol de soluto en un litro de solución.

b) solución mola: cuando contiene una molécula gramo o mol de soluto en un litro de solvente.

c) solución normal: cuando se trata de

una solución iónica o salina (soluciones ácidas, soluciones básicas o sales en solución), pues en estas condiciones cada molécula disuelta produce **dos o más partículas** en dispersión. Para esta clase de sustancias químicas de carácter iónico, la unidad de medida de cantidad de sustancia es el **equivalente químico** que es el cociente entre el peso molecular y la valencia. Una solución normal contiene un **equivalente químico** por litro de solución.

d) solución porcentual: expresa el porcentaje de la cantidad de sustancia o material disuelto en la solución. El porcentaje puede expresarse como: peso en peso, peso en volumen, volumen en volumen, etc.

Transporte de sustancias a través de membrana

El movimiento o transporte de sustancias a través de membrana se realiza según dos modalidades:

- **a) sin gasto de energía o PASIVO:** la célula no gasta energía en el movimiento de sustancias.
- **b) con gasto de energía o ACTIVO:** la célula gasta o consume energía (en forma de **ATP**).

Transporte Pasivo o Difusión: Este tipo de transporte es un movimiento de sustancias **desde una zona o región de mayor concentración** (de sustancias) hacia otra zona o región de **menor** concentración de sustancias (se observa, a través del tiempo, un movimiento **neto** de sustancias desde **donde hay más**, hacia **donde hay menos**). Debido a que este tipo de movimiento, flujo o transporte de

sustancias se rige por **las Leyes Físicas de la Difusión, también se lo conoce con este nombre.**

Hablamos de **movimiento neto de sustancia** porque el movimiento es **bi- direccional**; la sustancia se mueve tanto desde la región de mayor concentración, hacia la de menor concentración, como lo hace en sentido contrario. Esto hace necesario que tengamos que definir el flujo neto o absoluto de material, lo que se obtiene restando ambos movimientos. El movimiento se realiza a favor de un **gradiente de concentración** y este gradiente determina la diferencia de concentración entre dos puntos del sistema. La concentración en un punto o región define una **presión de difusión** y la diferencia de presión de difusión entre estos dos puntos, define el **gradiente de presión de difusión** que es quien determina la dirección del flujo.

La difusión es una **propiedad coligativa**, es decir, depende de la cantidad de partículas en suspensión o en solución, más que de la propia concentración molecular de la solución (acá una de las aplicaciones del concepto de soluciones normales).

Cuando analizamos el transporte pasivo o difusión tenemos que considerar que el material que se mueve está en estado de **solución**; siendo así, observaremos que hay un doble movimiento de sustancias: por un lado tenemos el **movimiento o flujo de solvente** y por otra parte tenemos el **movimiento o flujo de soluto**. Esto se debe a que el movimiento de sustancia se realiza a través de una **membrana semipermeable** o de **permeabilidad selectiva**, en la cual el agua o solvente

goza de franca movilidad o circulación a través de la membrana; en cambio, no así los solutos, que se encuentran con una circulación restringida por la concentración relativa de los mismos.

Posiblemente, Ud. se esté cuestionando por qué tiende a complicarse o hacerse más engorroso este tema del transporte de sustancias; pero no es así, por el contrario, es más sencillo de lo que imagina. Ocurre que nosotros vamos a realizar un transporte de sustancias a través de una **membrana semipermeable**, la que permitirá el pasaje de cierto material, pero no de otro, debido a la **selectividad**, lo que hace posible el **mantenimiento del medio interno o medio intracelular**.

El transporte o difusión de soluto se llama **DIÁLISIS**.

El transporte o difusión de solvente se llama **ÓSMOSIS**.

Para no confundirse, recuerde que a los pacientes que se les hace o practica **diálisis** es para facilitarles el movimiento o recambio de solutos, en particular los catabolitos o sustancias producidas como expresión de la actividad química o metabólica del ser vivo.

Existen **2 (dos)** formas o modalidades de transporte pasivo o difusión:

a) difusión simple: las sustancias **difunden libremente** a través de la membrana, a favor del gradiente de concentración. **La difusión está determinada por el tamaño de las moléculas o partículas** y por su afinidad con la porción lipídica de la membrana (las

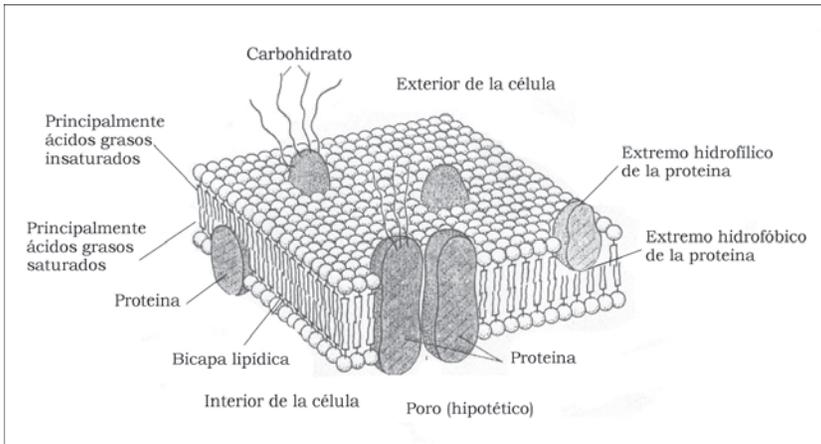


Fig. 4.1 Esquema de la membrana celular y de la cubierta celular . Observe los componentes moleculares de ambas estructuras y su disposición correspondiente. Modelo de Mosaico Fluído.

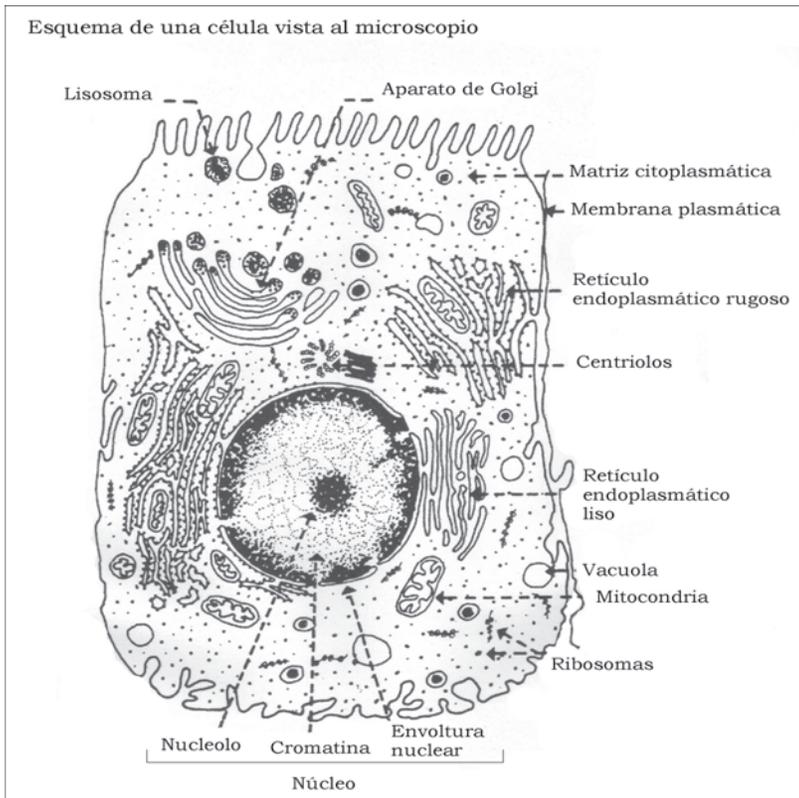


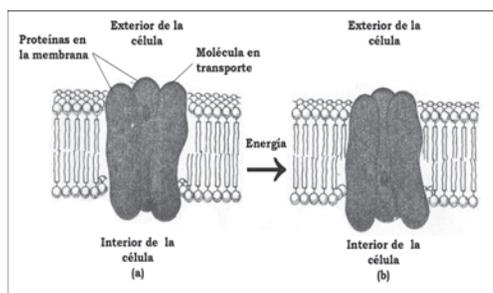
Fig. 4.2. Esquema de una Célula Eucariota observada al microscopio electrónico.

sustancias liposolubles difunden con mayor facilidad.

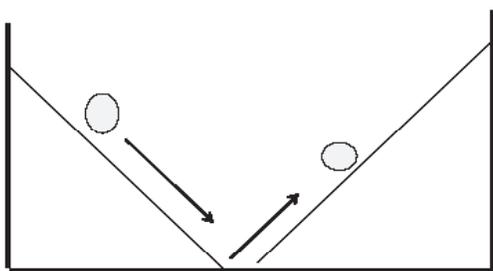
b) difusión facilitada: (también llamada **difusión mediada por permeasas**). Es un tipo de difusión donde la molécula difunde en forma indirecta merced a una proteína de membrana que actúa como transportador **específico**, facilitando el movimiento o flujo del material. Esta proteína de membrana tiene una configuración particular, llamada **conformación**, la cual cambia o se altera cuando esta proteína se une o “liga” con la sustancia específica a la cual debe transportar; a consecuencia de este cambio de conformación, la permeasa se coloca o reordena de tal modo que permite la translocación de la sustancia al otro lado de la membrana. Se supone que la permeasa experimenta un movimiento de giro -dentro de la membrana- pasando, del espesor de una hemicapa a la otra. En su estado inicial la proteína está orientada hacia un medio donde la concentración de determinada sustancia es mayor que del otro lado; esto facilita la unión, acoplamiento o “**binding**” de dicho material con la proteína transportadora. Una vez que la proteína ha girado hacia la otra cara, la sustancia transportada se suelta (se desacopla), pasando a la región donde la concentración de la misma era menor. Entre los azúcares, la glucosa, la fructuosa, la galactosa se transportan por difusión facilitada; lo mismo hacen los amino-ácidos.

Transporte Activo: Es el **flujo** o transporte de sustancias **contra gradiente**, es decir, desde una zona o **región de menor concentración** hacia otra **zona de mayor concentración**. Para vencer este gradiente o

diferencia de concentración, la célula debe consumir energía. Al abordar el transporte contra gradiente, debemos tener presente que existen dos formas de gradiente: **un gradiente químico** y **un gradiente eléctrico o de cargas eléctricas**.



Ej.: Difusión mediada por permeasas.



A) Transporte pasivo B) Transporte activo

Diagrama 4.1. En A) el desplazamiento de la esfera hacia abajo es debido a la diferencia de energía potencial (movimiento a favor de gradiente). En B) el desplazamiento debe hacerse en sentido inverso, en contra de gradiente de energía, para lo cual es necesario invertir energía (se empuja la esfera).

Otra forma de transporte activo es la **ingestión** o incorporación de grandes estructuras moleculares o de otros organismos celulares (bacterias, virus, hongos, protozoos) y la liberación al ex-

terior de grandes estructuras (material elaborado o material de desecho).

Para cumplir con sus funciones vitales la célula necesita, como cualquier ser vivo, alimentarse. La alimentación se cumple con el ingreso de pequeñas moléculas, como azúcares, aminoácidos y grasas; las cuales ingresan por difusión. La ingestión de grandes cuerpos se llama **endocitosis** y la misma se caracteriza porque el material **ingresa al interior celular “rodeado por una membrana derivada de la membrana plasmática o celular”**, formando una **vesícula de ingestión o endocítica**.

Nos encontramos con dos formas de ingestión o endocitosis. Tenemos la ingestión de grandes estructuras moleculares disueltas en agua, formando soluciones coloidales (como es el caso de las proteínas); parangonando, bien podríamos decir **la célula está bebiendo**. Esta forma de endocitosis se llama **pinocitosis**. Por otra parte nos encontramos con la incorporación de sólidos, es decir **el comer**; proceso que a nivel celular se conoce con el nombre de **fagocitosis**.

Mecánica de la endocitosis. Para ingerir un cuerpo disuelto, formando solución, o un cuerpo firme (como puede ser el caso de un microorganismo), la célula se acerca al mismo por un proceso quimiotáctico y comienza a producir una invaginación en su membrana, lo que crea una depresión en la superficie celular y este proceso se acentúa, cuanto más cerca está del material a ingerir; por último, el cuerpo queda rodeado por los bordes de la membrana invaginada, los cuales

al tocarse producen la **coalescencia o fusión de membranas**, que da lugar a la formación de la vesícula ingestiva con la porción de membrana que estaba invaginada y que **se suelta** del resto de la membrana celular (liberación de la vesícula) para quedar en el citoplasma como **vesícula endocítica**. Por otro lado, la mencionada fusión o coalescencia permite reintegrar la continuidad de la membrana celular.

Acá observamos el mecanismo de ingestión, formación de la vesícula endocítica, el show de los lisosomas, el desplazamiento de los productos de la digestión, la formación del cuerpo residual y su eliminación al exterior celular o escitosis.

El destino del material ingerido (como alimento) es su **digestión**. Para ello se suman unos organoides revestidos de membrana, portadores de las enzimas digestivas correspondientes (hidrolasas); son los **lisosomas**, los cuales se movilizan para ir al encuentro de las vesículas de ingestión, con las que hacen contacto a través de sus membranas. Acá volvemos a encontrarnos con el proceso de coalescencia o fusión de membranas. Cuando esto ocurre (entre lisosomas y vesículas endocíticas), a través de la puerta o abertura formada se produce el volcamiento o pasaje de **la carga lisosomal** desde el lisosoma hacia la vesícula de ingestión (la carga lisosomal son las enzimas). En este momento, lo que era una vesícula de ingestión o endocítica se ha convertido en **una vesícula digestiva**.

En el interior de esta vesícula se produce la digestión del material inicialmente ingerido. Los productos

resultantes de la digestión abandonan la vesícula digestiva a través de la membrana correspondiente y **pasan al citoplasma** (a la matriz citoplasmática) para integrarse al pool de materia prima (este material servirá como reserva energética o sustrato respirable como materia prima para fabricar proteínas, grasas complejas, ácidos nucleicos, etc.).

El material no digerido se contiene en una vesícula membranosa, constituyéndose en **un cuerpo residual**, cuyo destino es su excreción al exterior celular, proceso llamado **exocitosis**. Esta exocitosis se desarrolla en forma inversa a la ocurrencia de la endocitosis; para ello el cuerpo residual se desplaza hacia la membrana celular, hasta hacer contacto con ella. Entonces ocurre la fusión de membranas y se forma la abertura que permite la liberación de los residuos. Este mismo mecanismo de exocitosis es el que permite el fenómeno de la **secreción celular**, donde lo que se libera al exterior celular es material procesado por la propia célula (secreción lacrimal, salival, secreción hormonal, etc.).

Tras la intensa recorrida que hicimos por la membrana plasmática, acompañados por sus componentes que nos indicaban cómo operaban, en el incesante trajín de facilitar el intercambio de material entre célula y medio, ahora vamos a pasar al interior.

Citoplasma

Ahora nos encontramos en el extenso territorio llamado **citoplasma** y lo primero que nos llama la atención es la falta de homogeneidad, pues acá se destaca una enorme masa que ocupa

todo el citoplasma, la **matriz citoplasmática**; esta matriz sirve de transporte a los **organoides u organelas citoplasmáticas** y a unas estructuras inconstantes, que generalmente representan reservas de alimentos: son las **inclusiones citoplasmáticas**.

Este citoplasma se extiende desde la cara interna de la membrana celular hasta la misma membrana o envoltura nuclear, que define el límite o contorno del núcleo (la membrana nuclear pertenece al mismo citoplasma). En esta enorme región territorial nos encontramos con toda la infraestructura fabril que hace posible la producción de energía, la fabricación o elaboración de aquellas grandes organizaciones moleculares únicas o específicas encargadas de cumplir roles esenciales para la vida. Además nos encontramos con un complejo sistema de circulación de material.

Matriz citoplasmática o hialoplasma

Es la región amorfa o informe (carente de forma, que no tiene forma) del citoplasma y está representada por una compleja solución coloidal, en la que encontramos sales minerales (representadas por sus iones), distintos tipos de azúcares, distintos tipos de grasas, aminoácidos (recordemos que son la materia prima para la síntesis proteica, a la vez que representan el producto de la degradación o digestión de las proteínas); también encontramos vitaminas, nucleótidos, precursores y hasta ácidos nucleicos pequeños (ARN_i).

Esta matriz citoplasmática representa el **medio interno de la célula** y de su constancia o mantenimiento

depende la vida de la célula.

Este territorio citoplasmático tampoco es uniforme, pues en su extensión podemos apreciar una gran diferencia entre la parte periférica o limitante con la membrana y la parte central (restante) que limita con la envoltura nuclear.

Ectoplasma o Plasmagel

Es la porción periférica o cortical de esta matriz; es más consistente, más densa, más firme, más viscosa. Se presenta como un **gel**, es decir opone mayor resistencia a fluir, tiende a conservar la forma (como una gelatina); por eso se lo llama plasmagel; se lo llama ectoplasma por la posición que ocupa. Las características que presenta este ectoplasma se deben a la abundancia de elementos estructurales, de

naturaleza proteica, alargados. Entre estos elementos fibrilares tenemos: filamentos superfinos, microfilamentos, filamentos y microtúbulos. Todos estos elementos están dispuestos en forma de **malla** o **red** y esta armazón, en cooperación con otros componentes del citoplasma, tienen a su cargo el mantenimiento de la forma de la célula; por eso se le da el nombre de **esqueleto celular** o **citoesqueleto**. Entre los componentes de esta malla o red nos encontramos con filamentos contráctiles, del tipo de la **actina**, que participan en la movilidad celular.

Endoplasma o plasmasol

Es la porción restante y la más abundante de la matriz citoplasmática, muy fluida, por lo tanto, carente de forma. Representa la parte mayor de la matriz y se extiende desde el ecto-

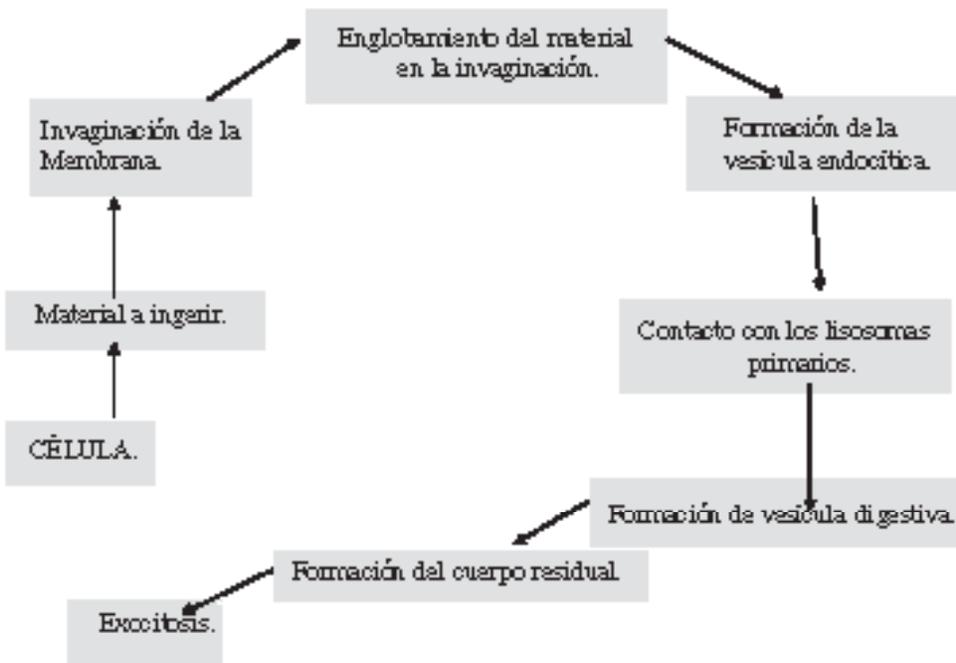


Fig. 4.3. Proceso de ingestión digestión – excreción celular.

plasma hasta la membrana nuclear. Los bioquímicos lo denominan **citósol**. Entre las proteínas solubles que forman la solución coloidal encontramos todo el sistema enzimático comprometido en la respiración anaerobia o Vía de Embden-Meyerhoff (conocido como **Glucólisis anaerobia**). También encontramos las enzimas que actúan en la formación del complejo entre el aminoácido y el **ARN_t** específico. La mayoría de los orgánoides citoplasmáticos están distribuidos en este plasmasol o citósol. Después de haber navegado por este extenso mar que es la matriz citoplasmática, ahora nos encargaremos de visitar las vías de comunicación y cada una de esas fábricas donde se procesa todo lo necesario para la vida.

Orgánoides Citoplasmáticos

Son estructuras permanentes en la célula, al menos en la misma etapa del ciclo celular. Cada orgánoides tiene una identidad funcional y la misma está estrechamente relacionada con su morfología. Nos encontraremos con orgánoides desnudos (desprovistos de membrana) y con orgánoides membranosos (revestidos o recubiertos por membrana). Después veremos que el desarrollo de las membranas internas o endomembranas es una adquisición evolutiva propia de las células más evolucionadas. Las células bacterianas (bacterias) y las algas azul verdosas, representan las formas más primitivas de organización celular y se caracterizan por carecer de membranas internas; por lo tanto no hay orgánoides membranosos; tampoco tenemos un núcleo definido por una envoltura nuclear que lo delimite del citoplasma (por eso se lo llama nucleóide), pero basta para cum-

plir con las funciones que les compete en la determinación hereditaria. Estas son las células **procariotas** y los organismos se llaman **procariotes**.

Las formas celulares más evolucionadas, entre ellas, las que forman los organismos pluricelulares, como adquisición evolutiva han llegado a desarrollar membranas intracitoplasmáticas o internas que permiten definir muchas clases de orgánoides. Estas células se llaman **eucariotas** (que significa verdadero núcleo, en alusión a la existencia de un núcleo delimitado por la membrana nuclear).

Orgánoides sin membrana

En esta categoría analizaremos las características de los ribosomas, microtúbulos, centríolos, huso de división, cilias y flagelos.

Ribosomas

Son orgánoides formados por la asociación de **ARN_r** y **proteínas**, formando grandes asociaciones moleculares. **Los ribosomas son los orgánoides o sitios donde se produce la síntesis proteica**. Estos ribosomas hacen las veces de fábricas o talleres donde se fabrican **las proteínas** (es decir, que acá se produce la **traducción** de la información en una molécula operativa).

Todo ribosoma está formado por **2 (dos) sub-unidades**, una **mayor** y otra **menor**. La sub-unidad mayor tiene **60 S** (unidades de sedimentación o **unidades_Svedberg**); la sub-unidad menor tiene **40 S**. Ambas unidades aparecen sueltas, libres o desacopladas entre sí y sólo se unen o acoplan cuando van a sintetizar. Cuando ambas

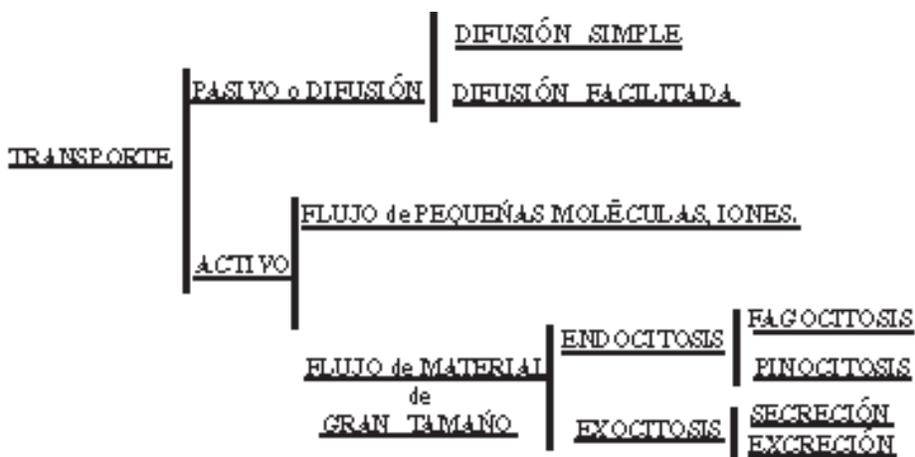
sub-unidades están acopladas se produce una contracción en el índice de sedimentación, y de ello resulta que el ribosoma tiene **80 S**.

El ribosoma de las células procariontas (bacterianas) tiene 70 S y está formado por una sub-unidad mayor 50 S y otra sub-unidad menor 30 S (ribosomas de este tipo vamos a encontrar en los orgánulos semi-autónomos cuando los visitemos).

Cuando se va a sintetizar una proteína vemos que el **ARN_m** se acomoda (se une con la sub-unidad menor ribosomal, según el principio de apareamientos de bases de Watson y Crick); acá se produce la **lectura del codón de iniciación** lo que permite la fijación del **primer aminoácido** (siempre es una metionina) y entonces se produce el acoplamiento de ambas sub-unidades. En estas condiciones se continúa con la síntesis proteica (proceso llamado **elongación de cadena**) y esto sigue hasta que nos encontramos con algunas de **las tres formas de co-**

dones de terminación. Entonces se da por terminado el proceso de síntesis; luego la proteína se suelta o desprende del **ARN_m**, después se desacoplan la sub-unidad mayor de la menor, y por último, se desprende la hebra de **ARN_m**, el cual va a ser degradado, quedando ambas sub-unidades disociadas, pero listas para operar en otro mecanismo de síntesis proteica, que puede ser para fabricar otra molécula idéntica u otra proteína distinta.

Recorriendo el citoplasma nos encontramos con **2 (dos)** clases de ribosomas. Dispersos en casi toda la matriz encontramos los ribosomas libres o sueltos. Estos ribosomas son los encargados de fabricar las proteínas de consumo local (es decir, aquellas proteínas que actúan en las adyacencias de región de síntesis). También vemos otra categoría de ribosomas; pero éstos están unidos a la cara externa de un sistema de túbulos. Estos ribosomas forman el **RER** o **REG** que es el **retículo endoplásmico rugoso** o **granular**, nombre que se debe al aspecto que pre-



Cuadro 4.1 Formas de transporte de sustancias a través de membrana.

senta este sistema de túbulos. Este RER o REG tiene a su cargo la síntesis de las proteínas llamadas de exportación (es decir proteínas que se sintetizan en una región pero que van a operar en otra parte de la célula o que pueden ser volcadas al exterior).

Polirribosomas o polisomas

Son conjuntos de ribosomas **unidos por una hebra común de ARN_m**. Estos polisomas representan las verdaderas fábricas de proteínas; pues dada la dimensión molecular de la proteína, es necesario un ARN_m de tales dimensiones que no podría ser sostenido por un solo ribosoma.

Nos encontramos con polisomas sueltos o libres en el citoplasma y también con polisomas en el Retículo Endoplásmico Rugoso. En este último caso, la proteína sintetizada ingresa al interior tubular (cisternal) y luego se rodea o protege con una membrana que le permite viajar por el citoplasma, sin ser degradado.

Microtúbulos

Son cilindros huecos de 25 nm de diámetro y que pueden alcanzar varios micrones de largo. La pared del cilindro está formada por 13 protofilamentos (unidades) dispuestos uno al lado del otro en forma circular. A su vez, cada filamento está formado por dos proteínas (dímero de proteínas) que son las a tubulinas y las b tubulinas, que se disponen en forma alternada, una al lado de la otra, en forma circular.

Estos microtúbulos los encontramos comprometidos en el entramado del esqueleto celular, sirviendo de punto de apoyo y como elemento de unión a los otros componentes filamentosos.

Los microtúbulos son los componentes fundamentales de las estructuras microtubulares, entre las que tenemos todo el aparato mitótico, las cilias y los flagelos.

Aparato mitótico

Este es una **organización formada por microtúbulos** que se ordenan o disponen cuando la célula entra en estado de división y la función que tienen es la de dirigir el desplazamiento de los cromosomas hacia los futuros núcleos hijos (acá representados por los polos del huso de división correspondiente). Este aparato mitótico comprende: los centríolos, los ásteres y las fibras del huso de división (acá usamos la palabra **huso** con “h”, para que no se gaste).

Centríolos

Comprende **2 (dos) cilindros huecos** (abiertos por ambos extremos) dispuestos en forma perpendicular, uno con respecto al otro (formando ángulo recto). Cada centríolo o cilindro hueco tiene un diámetro de 150 nm y una longitud de 300 a 500 nm y sus paredes están formadas **por nueve tripletes de microtúbulos**, dispuestos en forma regular alrededor de la circunferencia que define al cilindro (los microtúbulos están dispuestos según una orientación angular de 30°. El túbulo más interno del triplete presenta dos brazos, uno extendido hacia el centro y el otro hacia un túbulo de un triplete vecino). Los microtúbulos se conocen como distal o sub-fibra C (la externa); sub-fibra B o intermedia y sub-fibra A o proximal (la interna). (Recordemos que cada microtúbulo está formado por unidades alternadas de tubulinas a y tubulinas b).

¿Cuál es la importancia de los centríolos? Los centríolos actúan como reguladores en la síntesis y organización de los microtúbulos y como tales, son los organizadores del huso de división celular.

Los centríolos se originan a partir de los centríolos pre-existentes y reciben el nombre de pro-centríolos o centríolos hijos. La duplicación de los centríolos sólo se produce si la célula se va a dividir; en tal caso, los pares de centríolos se separan o alejan unos de otros y ocupan posiciones opuestas en relación al núcleo y en tal lugar, definen la correspondiente posición del **polo de división celular**, el cual será el futuro núcleo de la célula hija.

La migración de ambos pares de centríolos se inicia durante la profase temprana.

Asteres

Son radiaciones de microtúbulos que irradian hacia afuera desde el par de centríolos, en todas direcciones. Se forman antes de la migración de los pares centriolares hacia los polos.

Huso mitótico o huso de división celular

Es una estructura que se forma durante la **cariocinesis** (proceso de división nuclear) en la mitosis o en la meiosis y **es parte de la maquinaria responsable de la distribución del material hereditario**, entre las células hijas.

Este huso de división está formado por fibras microtubulares, que se pueden clasificar en tres categorías:

a) fibras continuas o acromáticas. Son aquellas fibras que hacen un trayecto continuo, desde un polo al otro, sin

interrumpir su recorrido. Se llaman acromáticas porque no hacen contacto con los cromosomas. También se llaman **fibras polares**.

b) fibras discontinuas o cromáticas.

Son aquellas fibras que en su recorrida de polo a polo se interrumpen para hacer contacto con los cromosomas. Este contacto lo hacen a nivel de los centrómeros o cinetocoros que son regiones especializadas de los cromosomas.

c) fibras interzonales. Representan un tercer grupo de fibras que aparecen en la etapa de anafase, como separando los conjuntos de cromosomas hijos en migración, hacia los polos correspondientes.

- Durante la cariocinesis las fibras del huso de división actúan traccionando y guiando a los cromosomas hijos hacia los polos respectivos. De este modo se asegura que el cromosoma no se pierda, con lo que **se garantiza la correspondiente cantidad de material hereditario a cada célula hija**.

Cuerpo basal

También denominado **cinetosoma** (cuerpo de la movilidad); es un organoide que presenta una estructura similar a la del centríolo (como aquél está compuesto por nueve tripletes de microtúbulos). Se pueden observar con cierta frecuencia, la existencia de largos filamentos que se extienden desde el cuerpo basal y se internan profundamente en el citoplasma; lo que parece estar relacionado con la sujeción o anclaje del cuerpo basal al citoplasma. En relación al centríolo, el cuerpo basal presenta un extremo abierto y el otro extremo permanece cerrado u ocluido por la **placa basal o ciliar**.

Cilias y flagelos

Son los organoides de la movilidad celular y se manifiestan como prolongaciones filiformes (presentan el aspecto de delgados filamentos o hilos) en la superficie celular. La ultraestructura de estos organoides de la movilidad es la misma (exhiben idéntica configuración). La diferencia entre cilios y flagelos radica en la longitud de estos organoides y en el número en que se presentan en la célula:

a) **cilias**: son prolongaciones

muy cortas; pero muy numerosas. Muchas células del tejido epitelial presentan en su superficie libre o cara apical un tapiz de cilias.

b) **flagelos**: representan prolongaciones muy largas pero muy escasas. En el ser humano la única célula flagelada es el espermatozoide.

La cilia o el flagelo comprende una estructura axial (de axis: eje) llamada **axonema** que se proyecta fuera de la superficie celular, acompañada por la correspondiente porción de membrana celular, que acá representa

Componentes filamentosos Diámetro Características

filamentos superfinos 3 a 4 nm

están interconectados a otros filamentos, microtúbulos y a la membrana.

microfilamentos 5 a 7 nm

está representado por la actina.

filamentos intermedios 12 nm

tonofilamentos, neurofilamentos.

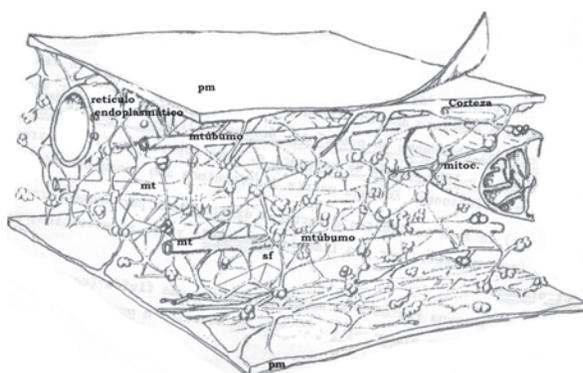
filamentos gruesos 15 nm

miosina de las fibras musculares.

microtúbulos 25 nm

centríolos, huso de división, cilios.

Cuadro 4.2. Estructuras más comunes en la integración de la trama del citoesqueleto.



Esquema de la trama del citoesqueleto

la membrana ciliar o flagelar.

Estructura del axonema.

De los tres microtúbulos o sub-fibras que integran cada uno de los nueve tripletes que forman el perímetro del cuerpo basal, la sub-fibra más externa o **sub-fibra C** desaparece en las inmediaciones de **la placa ciliar o basal**, sin atravesarla. De esta manera, en el axonema solamente apreciamos 9 (nueve) conjuntos de dobletes.

La subfibra interna o sub-fibra A presenta dos prolongaciones o brazos de dineína (que es una proteína que tiene actividad de ATPasa). El brazo externo afecta forma de gancho; en tanto el brazo interno tiene una extensión adicional que lo une a la sub-fibra B, del conjunto inmediato.

En la parte central del axonema aparecen **dos microtúbulos centrales**, un poco más pequeños que los microtúbulos periféricos y se presentan

rodeados por **una vaina central**, que se mantiene conectada con los conjuntos periféricos, mediante eslabones radiales.

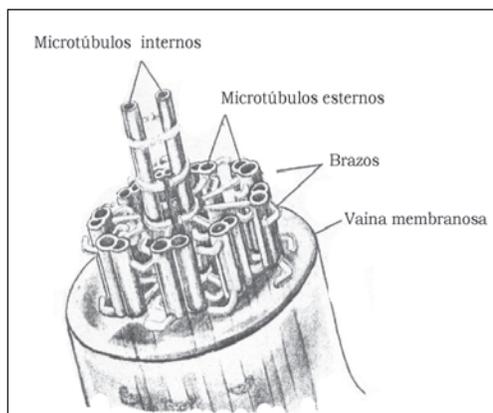


Fig.4.7. Esquema del corte transversal de un axonema mostrando la típica estructura 9+2.

La actividad ciliar o flagelar **implica gasto o consumo de energía** y la misma es proporcionada en forma de **ATP**. Esta circunstancia determina la íntima relación funcional entre estos

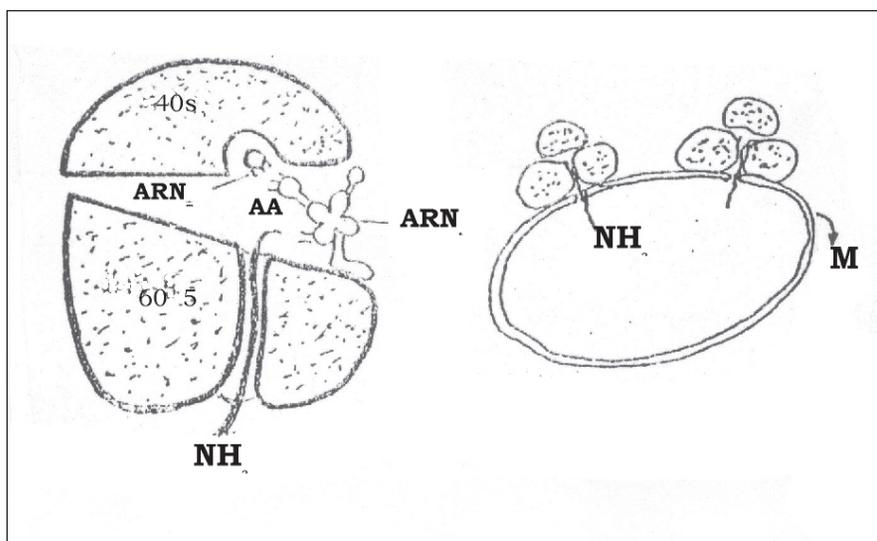


Fig. 4.5. Modelo tridimensional de un ribosoma donde se aprecian ambas sub-unidades.

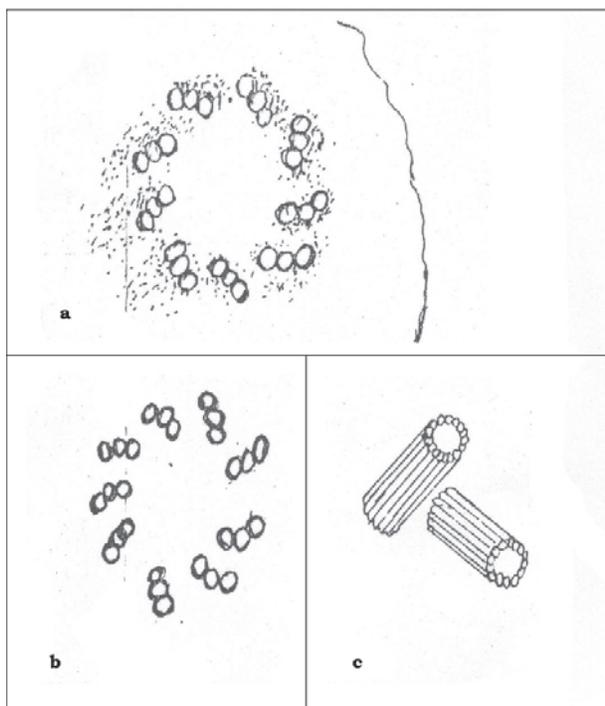


Fig.4.6. Centríolos y microtúbulo. Observe la disposición y características de los centriolos.

organoides de la movilidad celular y las mitocondrias (**usinas celulares**).

Organoides membranosos

En este grupo nos encontramos con los componentes del sistema vacuolar citoplásmico o citoplasmático y sus derivados (lisosomas, peroxisomas, glioxisomas, vesículas de secreción), las mitocondrias y los plástidos (en las células vegetales).

Volviendo a nuestro rol de viajeros, ahora vamos a contemplar un extenso parque, con su sistema de riego, almacén de material y una especie de vallado que actúa como compuerta, permitiendo la entrada y salida de cierto tipo especial de material. Para ser efectivo este sistema de riego debe ser muy vasto, muy extenso y debe tener

varias fuentes de aprovisionamiento. Ahora veremos y lo analizaremos.

Sistema vacuolar citoplásmico o sistema de endomembranas (SVC)

Este sistema comprende un conjunto de organoides relacionados entre sí y caracterizados por estar formados por membranas que al doblarse o cerrarse, forman estructuras huecas. En este sistema encontramos túbulos, vesículas y cisternas (los túbulos son estructuras huecas alargadas, como mangueras; las vesículas son estructuras huecas redondeadas y las cisternas son sacos aplanados o aplastados; en todos los casos, revestidos o definidos por membranas).

Los componentes primarios de este sistema de endomembranas (SVC)

son el retículo endoplásmico o endoplasmático, la membrana o envoltura nuclear y el aparato de Golgi.

Retículo endoplásmico (RE)

Es un conjunto de estructuras membranosas huecas formado por túbulos, vesículas y cisternas. Los componentes dominantes son **los túbulos**, en los cuales siempre podemos apreciar una cara de la membrana que está orientada hacia el citoplasma (cara citoplasmática) y otra cara de la membrana orientada hacia el interior tubular o cisternal (cara cisternal).

Por el interior circula material (como en una manguera) es decir, representa una vía de circulación y este conjunto es tan profuso, tan abundante, que se entrecruzan entre sí, formando una especie de trama o red; de allí, precisamente el nombre de **retículo**. Además esta organización es mucho más densa o abundante en el citosol o endoplasma que en el ectoplasma; a esta circunstancia debe el nombre de **endoplásmico** (lo cual no significa que no exista en el ectoplasma; pues este **RE** se extiende desde la membrana celular hasta el mismo límite del núcleo (luego veremos que la envoltura nuclear está íntimamente relacionada con el RE).

Por su amplia distribución en el interior celular el RE contribuye con los componentes del citoesqueleto en el mantenimiento de la forma (esta es una actividad mecánica).

Reconocemos dos tipos de **RE**: uno de ellos presenta la cara externa de su membrana sin ninguna particularidad, es el **RE liso**; mientras que el otro exhibe una especie de granulaciones

sobre la cara externa de la membrana y que representan a los ribosomas adheridos a la misma (recordemos lo que vimos en ribosomas); es el **RE rugoso o granular**.

Retículo endoplásmico liso o agranular (REL o REA)

Entre sus funciones específicas podemos mencionar:

- a) degradación de glucógeno o glucogénesis (merced a la actividad enzimática de algunas proteínas de la membrana de este REL, ellas actúan sobre el glucógeno del endoplasma vecino, iniciando su degradación).
- b) síntesis de lípidos como triglicéridos, fosfolípidos, etc.
- c) funciones de detoxificación consistente en combinar a las sustancias tóxicas con otras sustancias, alterando su estructura original, haciéndole disminuir o perder su toxicidad.

Retículo endoplásmico rugoso o granular (RER o REG)

Ya dijimos que esta clase de RE presentaba ribosomas adheridos sobre la cara externa de la membrana, sobre unas proteínas portadoras de ribosomas: las riboforinas.

Este **RER** o **REG** está a cargo de la síntesis de las proteínas de exportación. Estas proteínas conforme se van sintetizando, se internan en el interior tubular y por circulan por su interior, hasta que se rodean de una membrana que les permite independizarse de esta porción. El destino de esta proteína de exportación es el aparato de Golgi, donde se almacenará temporariamente, para luego seguir su camino, ya dentro de la célula o fuera de ella.

Membrana o envoltura nuclear (EN)

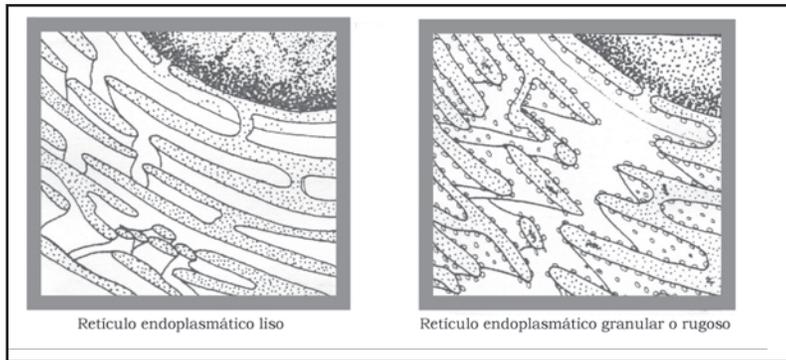


Fig. 4.8. Reticulo endoplásmico liso y rugoso.

Es una doble membrana, muy porosa, que rodea al núcleo aislándolo de la masa citoplasmática. La membrana interna está en íntimo contacto con el material nuclear; mientras que la externa se mantiene en contacto con el citoplasma y se continúa con el RE adyacente, pudiendo presentar ribosomas.

Los poros de la EN se encuentran rodeados por un conjunto de proteínas que forman el **complejo de poro**, que permite reducir la luz del poro a la vez que regula el transporte de sustancia, debido a las interacciones que ejercen estas proteínas. A través de estos poros ingresan al núcleo las proteínas nucleares y las que se integran con los ARN_r (en el nucléolo) para conformar las sub-unidades ribosomales; las cuales abandonan el núcleo y pasan al citoplasma, a través de estos poros.

Una pregunta corriente y no menos interesante que podría surgir es la siguiente: **¿Esta envoltura o membrana nuclear permanece constante durante todo el ciclo celular? ¡No!**

La envoltura nuclear desaparece cuando la célula entra en estado de división y se reconstituye o regenera

cuando está por terminar el proceso de división celular (ver ciclo celular y reproducción celular).

Aparato de Golgi

Es el organoide de la secreción celular. Está formado por un conjunto de cisternas o sacos aplanados, dispuestos en forma paralela y por vesículas, derivadas de tales cisternas. En este conjunto paralelo de sacos aplanados reconocemos una cara o zona de formación y una cara o zona de maduración que es la región del organoide donde se produce el desprendimiento de las vesículas de secreción. El destino de estas vesículas (cargadas con material de secreción) es el de hacer posible el transporte del material de secreción por el citoplasma, sin que sea degradado por las enzimas citosólicas en su viaje hacia la membrana celular, a través de la cual será vertido o liberado al exterior, por exocitosis (recordemos que cuando ambas membranas, la vesicular y la plasmática hacen contacto se produce la fusión de membranas que forma la abertura, por donde sale el material a liberar).

Cuando la vesícula contiene enzimas digestivas (hidrolíticas) estamos

en presencia de un **lisosoma**.

El aparato de Golgi desempeña las siguientes funciones:

1. Acumulación o almacenamiento de sustancias de secreción.
2. Concentración del material acumulado en las cisternas del Golgi.
3. Conjugación de las sustancias a secretar (actividad química o metabólica) con azúcares o con lípidos. De esta forma resultan los glucolípidos, glucoproteínas y lipoproteínas. Las proteínas de secreción se sintetizan en el RER y desde allí migran a las cisternas del Golgi, donde, en caso de necesidad, se conjugan; pero desde el RER salen las proteínas puras.
4. Provisión de membranas: con la formación de vesículas el Golgi se convierte en un proveedor de membranas, lo que facilita la recirculación de membranas para compensar la cantidad de membranas que ingresan con la endocitosis.

Lisosomas

Son los organoides encargados de la digestión celular. Están definidos o caracterizados por la existencia de enzimas hidrolíticas o hidrolasas, contenidas en una vesícula membranosa, derivada del SVC (sistema vacuolar citoplásmico).

Los lisosomas son organoides funcionalmente relacionados con el RER o REG, puesto que las enzimas son de naturaleza proteica, y bien sabemos que las proteínas destinadas a operar lejos de su sitio de síntesis se sintetizan en el RER. Por otro lado, están relacionados con el aparato de Golgi, puesto que éste se encargó de proveerles la membrana que forma la vesícula que los contiene.

Polimorfismo lisosomal

El lisosoma recién formado o desprendido del Golgi es un **lisosoma primario** o **inmaduro** (inactivo). Este lisosoma se dirige hacia una **vesícula endocítica** o **de ingestión**, hasta con-

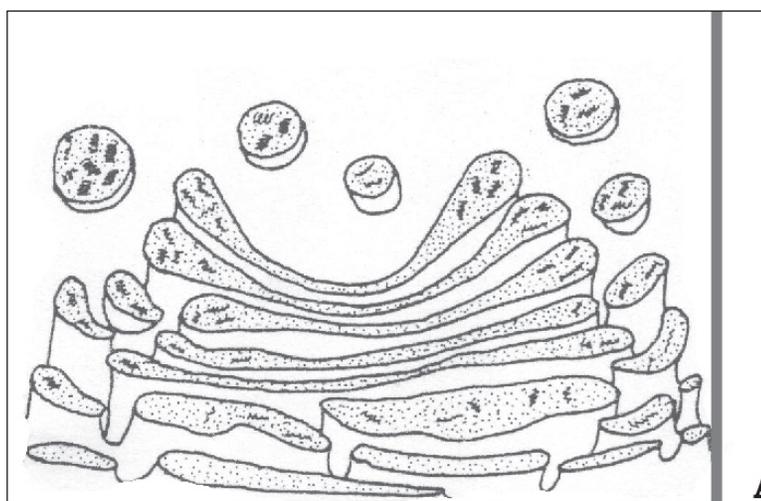


Fig. 4.9. Visión tridimensional del aparato de Golgi, donde podemos apreciar las cisternas y las vesículas.

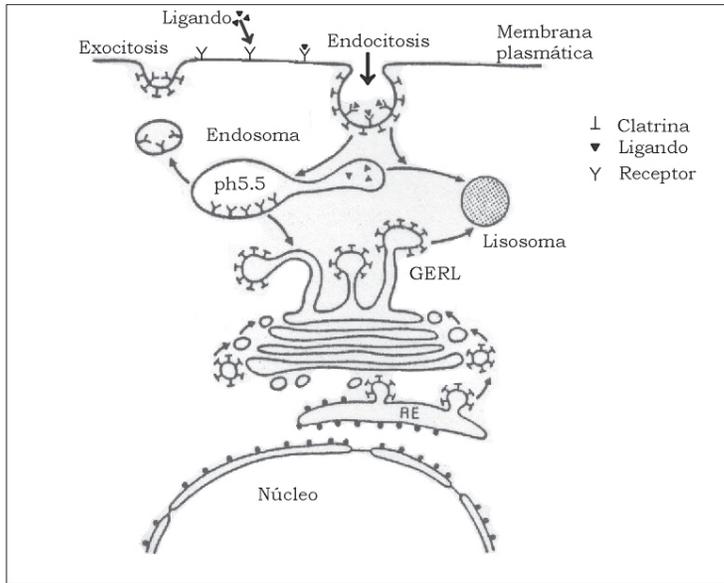


Fig. 4.10. Diagrama del mecanismo de ingestión, digestión y excreción celular.

tactar sus membranas, lo que permite la fusión de membranas y el consiguiente derramamiento del contenido lisosomal en el interior de la vesícula ingestiva. El conjunto resultante (lisosoma primario y endosoma) ahora se conoce como **lisosoma secundario, vesícula (vacuola) digestiva o fagosoma**.

Reconocemos dos clases de lisosomas: los que sirven para digerir el material ingerido, llamados **heterofagosomas** y los que sirven para eliminar las partes u organoides alterados de la célula; éstos son los llamados **autofagosomas, autolisosomas o lisosomas autofágicos** (los cuales hacen un trabajo de limpieza en el citoplasma).

Cuerpos residuales

Los restos no digeridos de la vesícula de ingestión permanecen encerrados en la membrana, aislados de la matriz citoplasmática, y su destino es su eliminación al exterior, excreción

o exocitosis. Estos restos se conocen como cuerpos residuales y su acumulación está relacionada con los fenómenos de envejecimiento celular.

Microsomas o microcuerpos

Son organoides membranosos de tipo vesicular que contienen enzimas del tipo **óxido-reductasas**. El tamaño de estas vesículas varía ampliamente desde 0,2 hasta 0,5 μ m. En este grupo se encuentran los **peroxisomas** y los **glioxisomas**. Los primeros por su contenido enzimático actúan en la descomposición del peróxido de hidrógeno generado al oxidar ciertos sustratos, donde se forma H_2O_2 que es muy dañino o nocivo para la integridad celular. Los segundos o glioxisomas contienen las enzimas comprometidas en la vía del glioxilato, que es una ruta metabólica que desvía el ciclo de Krebs, hacia la gluconeogénesis (es decir, posterga la producción de energía en beneficio de la síntesis de azúcar).

Las proteínas enzimáticas encontradas en los microsomas **son sintetizadas en los ribosomas libres** y luego **son encerradas en una vesícula formada por membranas pertenecientes al RELISO**. Acá no participa el RER o REG, tampoco el aparato de Golgi; como era lo usual.

Cualquier defecto en la síntesis de las proteínas de secreción, de los lisosomas o de los microcuerpos o microsomas se expresará en quien los posea, en trastornos metabólicos, más o menos severos, que incluso pueden llegar a comprometer el normal desarrollo de la vida. Dentro de los lisosomas existe una falla que consiste en la desviación de la proteína enzimática, como proteína de secreción, siendo excitada y, por lo tanto, no existe como proteína lisosomal (esto se debe a que las proteínas lisosomales son proteínas **marcadas** con un agregado molecular llamado **señal**, que en este caso es un residuo de manosa-fosfato, el cual no se

ha incorporado y por lo tanto la proteína no es reconocida como una enzima lisosomal, ocurriendo el volcamiento ya comentado).

Mitocondrias

Son los orgánoides responsables de la respiración celular.

Son orgánoides de doble membrana que se encuentran en gran cantidad en el citoplasma. Más del 13% del volumen celular está ocupado por estos orgánoides que son los proveedores de energía que tiene la célula; por esta razón cuando hablamos de mitocondrias nos referimos a las **usinas celulares**. También se los conoce con el nombre de **pulmones celulares** porque en ellos se consume todo el oxígeno que entra a la célula y parte de este oxígeno termina uniéndose con el hidrógeno para formar agua metabólica.

Las mitocondrias son orgánoides generalmente que miden de 2 a 5 μm de

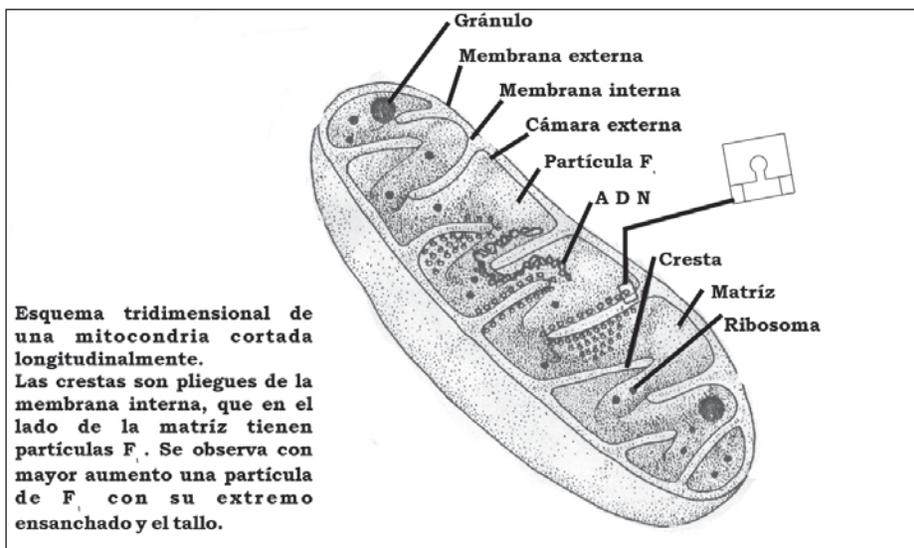


Fig. 4.11. Mitocondria: Observe la doble membrana, las dos cámaras y las crestas mitocondriales.

largos por 0,5 μm de ancho, pero también existen mitocondrias redondeadas.

Vistas al microscopio electrónico, se puede apreciar la presencia de las **dos membranas**. Una **membrana externa lisa** que presenta una sobreabundancia de grasas en relación a los prótidos; siendo la encargada de regular la entrada y salida de material al organoide. La **membrana interna se presenta intensamente plegada hacia el interior**, formando una serie de tabiques incompletos que son las **crestas mitocondriales**. Acá se invierte la relación lípidos-proteínas (siendo más abundantes estas últimas).

Ambas membranas determinan un espacio llamado **cámara externa** mientras que los plegamientos de la membrana interna delimitan la **cámara interna** o **matriz mitocondrial** que es un compartimento amorfo, representado por una solución coloidal donde están presentes todas las enzimas comprometidas en el ciclo de Krebs y las de la β -oxidación de Knoop, entre otras (este sistema de la β -oxidación de Knoop produce sustratos respirables de alto valor energético, en forma de acetyl-Co-A, que entra en la Vía Final Común o Ciclo de Krebs).

Mientras tanto, en las crestas mitocondriales encontramos los sistemas transportadores de cargas reductoras (electrones o H^+). Estos sistemas transportadores son las **cadena respiratorias**. Estas cadenas respiratorias están formadas por proteínas de la membrana interna. Cada cadena respiratoria es un conjunto de proteínas conjugadas ordenadas según sus potenciales decrecientes de óxido-reducción (este ordenamiento significa que un eslabón de la cadena

puede **reducir** al eslabón siguiente; pero no puede ser reducido por éste; a su vez, este eslabón reduce al próximo, y, así, sucesivamente. Cuando un eslabón reduce al siguiente, se **oxida**).

Además, en las crestas mitocondriales encontramos una **asociación de proteínas** conocidas como **esferas de la membrana interna, partículas elementales** o **partículas F_1 de Racket**. Este conjunto de proteínas tiene actividad de **ATP asa**, pero no actúa descomponiendo el ATP, sino sintetizándolo y actúa íntimamente ligado al transporte de cargas reductoras que hace la cadena respiratoria (ver Respiración celular).

Este organoide tiene una doble estructura funcional: en la fase amorfa o matriz mitocondrial ocurre el proceso químico de la oxidación de los sustratos respirables; en tanto, en la estructura membranosa (crestas mitocondriales) ocurre el transporte de las cargas reductoras, las que en algunos pasos de este traslado permiten la liberación de una mayor cantidad de energía, que es convenientemente aprovechada por la acción de las esferas de la membrana interna o partículas F_1 de Racket para fabricar ATP.

La **mitocondria** presenta en la matriz mitocondrial un **trozo de ADN mitocondrial**, que se conoce como ADN extranuclear y tiene por función codificar la información necesaria para sintetizar parte de la estructura proteica de la mitocondria.

Para hacer posible esta síntesis, también encontramos numerosos **ribosomas** que son del tipo bacteriano

o sea **70-S**. Como parte de la actividad del ADN mitocondrial, también encontramos **ARN mitocondrial** (ARN_t y ARN_m). Por el hecho de sintetizar parte de su estructura proteica en forma independiente del control nuclear, la mitocondria se define como **organoide semiautónomo o parcialmente independiente del control nuclear**.

Respiración celular.

La respiración es la liberación gradual de la energía contenida, en forma de enlaces químicos, en ciertas sustancias llamadas **sustratos respirables**, que representan derivados o metabolitos de los alimentos. La naturaleza de estos alimentos puede ser: azúcares, lípidos o proteínas (amino-ácidos).

La respiración celular es una **serie escalonada de oxidaciones biológicas**. Necesariamente tiene que ser escalonada para que **la energía se libere de a poco y así, pueda ser eficientemente aprovechada**. De no ser así, la energía se liberaría en forma explosiva, desperdiándose completamente.

Hemos definido la respiración como una serie escalonada de **oxidaciones biológicas**. Pero **¿qué es una oxidación?** y **¿por qué biológica?**

Una oxidación es una pérdida de electrones o deselextronación por parte de un átomo o de una molécula. Generalmente, la oxidación se produce cuando un átomo o grupo de átomos pierde hidrógenos (**deshidrogenación**) o cuando se combina con el oxígeno. Hablamos de oxidaciones biológicas para referirnos a las que ocurren al ser vivo.

La **oxidación** es un fenómeno que no puede existir en forma aislada, sino que siempre va acoplado o acompañado por el fenómeno inverso que es la **reducción**; por eso se habla de **fenómenos de óxido-reducción** o de **procesos rédox**.

Siempre que un compuesto se oxida, simultáneamente, otro se reduce.

Esa pérdida de electrones o hidrogeniones que implica la oxidación de los alimentos, lleva la energía que estaba acomodada en forma de enlace químico. Resulta obvio que para extraer o liberar tal energía es necesario **ROMPER, DEMOLER o DEGRADAR** tales sustancias y esa tarea implica **una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente**.

La respiración, como proceso liberador de energía, puede ocurrir en ausencia o falta de oxígeno y se conoce como **respiración anaerobia** (es el caso de la glucólisis anaerobia o Vía de Embden-Meyerhoff) que tiene lugar en el endoplasma y **tiene un rendimiento energético muy pobre**. Cuando la respiración ocurre en presencia de oxígeno se llama **respiración aerobia** y la misma ocurre en la mitocondria. **El rendimiento energético es muy bueno; de los 38 ATP de energía que se producen cuando se respira una molécula de glucosa, 36 ATP son producidos en la mitocondria**. La respiración mitocondrial se conoce como Ciclo de Krebs o Vía Final Común.

Plástidos

Son organoides propios de las células vegetales, caracterizados por la

presencia de pigmentos, especializados en la síntesis y acumulación de sustancias de reserva. Entre los plástidos tenemos: **leucoplastos, cromoplastos y cloroplastos**. Solamente hablaremos de estos últimos.

Cloroplastos

Son orgánoides caracterizados por la presencia del pigmento clorofila. Tienen forma variable y también presentan doble membrana, donde la membrana interna penetra al interior por medio de prolongaciones laminares llamadas **lamelas**. Sobre estas lamelas se asientan las **granas** que son apilamientos o concentraciones de estructuras membranosas llamadas **tilacoides**. Cada tilacoide es un disco membranoso y en el **espesor de sus membranas se encuentran los sistemas pigmentarios**, representados principalmente por las **clorofilas y los carotenoides**.

El interior del cloroplasto limitado por la membrana interna se llama **estroma** y representa la matriz del cloroplasto y también se manifiesta como una solución coloidal amorfa y contiene todo el **sistema enzimático** comprometido en el proceso químico de la **fotosíntesis** (desarrollo de la etapa o fase oscura o segunda etapa del proceso).

Como componente de membrana encontramos **dos fotosistemas o sistemas pigmentarios**.

EL FOTOSISTEMA I SE ENCUENTRA EN EL INTERIOR DE LOS TILACOIDES; mientras que EL FOTOSISTEMA II SE ENCUENTRA SOBRE LA CARA EXTERNA DE DI-

CHA MEMBRANA. Ambos fotosistemas actúan en forma interrelacionada, comportándose el fotosistema II como un sistema subsidiador del fotosistema I, pues lo provee de electrones. Estos fotosistemas son los responsables del desarrollo de la primera fase del proceso, **la etapa clara o luminosa de la fotosíntesis**; es decir, el proceso **físico-químico** de la transducción energética (en el transcurso de este proceso se produce la captación de la energía luminosa o solar, su fijación y la transformación de esta energía luminosa en energía química).

Ciclo Celular

La célula, como todo ser vivo, cumple con un **ciclo biológico** en el transcurso de su vida, entendiéndose por ciclo biológico al circuito imaginario que atraviesa un organismo durante su existencia. El ciclo biológico de la célula se llama **ciclo celular**.

La célula en el transcurso de su desarrollo pasa por DOS ETAPAS morfológicamente y funcionalmente distintas, las que se repiten de generación en generación.

En el proceso de desarrollo normal toda célula pasa por una **etapa de interfase o fase de reposo** (donde cesan todos los movimientos implicados en la división celular) y otra **etapa o fase de división** (a través de la cual se lleva a cabo la reproducción celular). Estas dos etapas, si bien implican a toda la célula, son más evidentes en el núcleo celular; por ello se habla de **núcleo en estado de interfase o núcleo interfásico** y de **núcleo en estado de división o núcleo en división**, respectivamente.

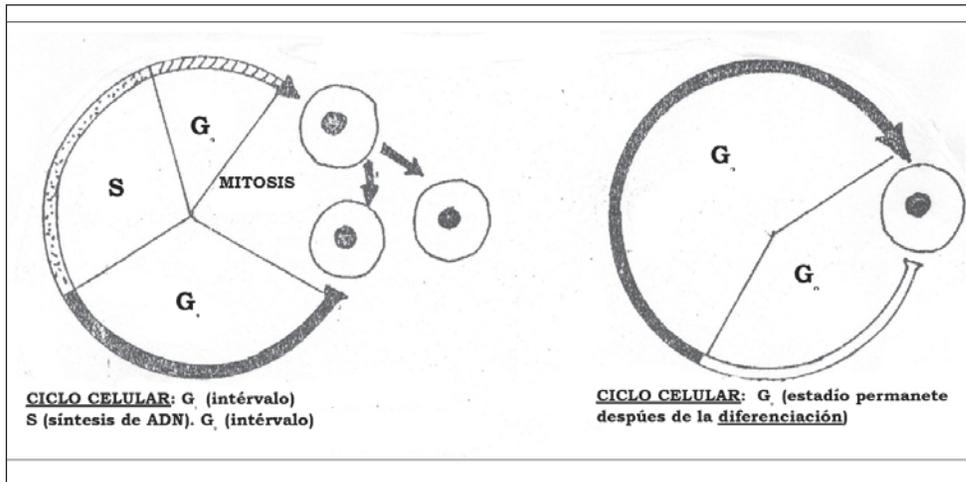


Fig. 4.12. Esquema del ciclo celular. Observe la franca dominancia de la interfase sobre la sub-fase de división.

En el núcleo interfásico se aprecia, morfológicamente, la región nuclear perfectamente limitada por la membrana o envoltura nuclear, que la separa del citoplasma y en su interior se aprecia la presencia del **nucléolo**, fácilmente reconocible por su mayor refringencia; además en el interior del núcleo se contiene todo el material hereditario que se encuentra totalmente **disperso** en el jugo nuclear o nucleoplasma. Este material hereditario se llama **cromatina**.

En el núcleo en división se produce la desorganización del nucléolo y, posteriormente, la desaparición de la envoltura nuclear, y el material hereditario, que estaba disperso en forma de cromatina, ahora se encuentra condensado, compactado en forma de pequeños cuerpos, con una morfología característica que son los **cromosomas**. Esta nueva forma de material hereditario tiene por función **facilitar la exacta distribución del material hereditario entre las futuras células hijas**, de ese modo, cada célula hija recibe la misma

calidad y cantidad de herencia (ver Anatomía del cromosoma y tipos de cromosomas).

¿Cómo ocurre la interfase? La interfase se extiende desde el **fin de la última división celular** hasta el **comienzo de la próxima división celular**. Esta etapa de la vida celular se cumple o atraviesa por tres subfases: una que la separa de la división celular precedente; otra que la separa de la próxima división celular y una subfase intermedia. Tales subfases, en forma sucesiva, se llaman: **G₁ - S y G₂**. La letra G es la inicial de la palabra inglesa "gap" que significa abertura o brecha, haciendo referencia a la separación que se produce entre una división y la siguiente. La letra S es la inicial de síntesis, tanto en Inglés como en Castellano. Durante toda la interfase ocurre síntesis de material celular e incluso durante la misma etapa de división; no obstante, el material específicamente hereditario se sintetiza en la subfase S de la interfase (el ADN se duplica o

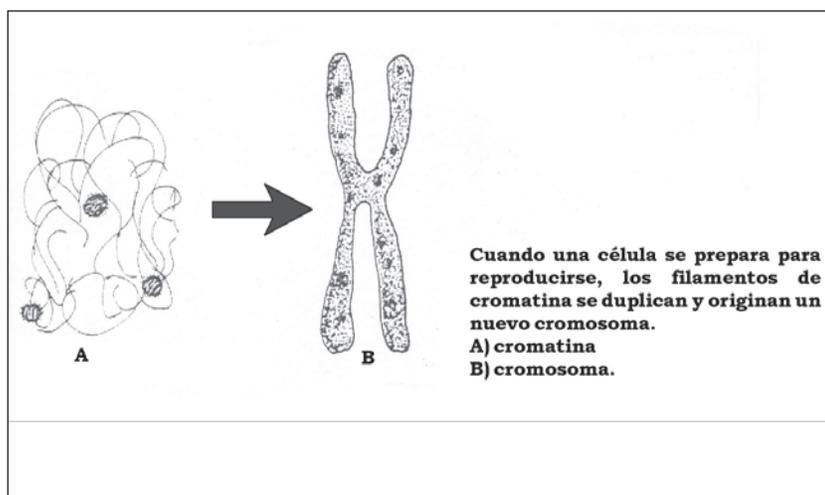


Fig.4.13. Ciclo de un cromosoma (cromatina) G_1 -S- G_2 y en M (metafase).

replica en el interior nuclear; mientras que las proteínas asociadas al ADN, **las histonas** se sintetizan en los ribosomas y luego ingresan al núcleo).

En la subfase G_1 se completa la dispersión total del material hereditario compactado en forma de cromosomas y **se inicia la lectura de la información recibida de la célula madre**, lo que permite iniciar el mecanismo de síntesis que permitirá la producción de las proteínas específicas que mediarán en las distintas actividades de la célula (entre ellas el trofismo celular). Esto implica, necesariamente, la síntesis de los distintos ARN, entre ellos el mensajero, su traslación al citoplasma para llegar a los ribosomas y así poder realizar la síntesis proteica. La etapa de división celular se tratará con el tema Reproducción celular.

Núcleo celular

Continuando con nuestro viaje por la célula, ahora visitamos la Sede del Gobierno Central Celular que es **el núcleo**. El mismo representa: **el centro de control de toda la actividad celular**,

el centro de la herencia y de la reproducción celular.

Núcleo interfásico

En este núcleo encontramos el **núcleoplasma, jugo nuclear o cariolinea** que es una estructura amorfa, representada por una compleja solución coloidal, rica en proteínas, en ácidos nucleicos, en nucleótidos (en especial al estado trifosfato, como precursores para la síntesis de ácidos nucleicos) y también sales inorgánicas. Este nucleoplasma es la plataforma donde se asientan las estructuras intranucleares.

Cromatina

Es el material hereditario totalmente disperso en el plasma nuclear. Químicamente está formado por ADN asociado a **histonas**, que son una clase de proteínas básicas, y a una pequeña porción de ARN. Recordemos que el ADN es una enorme molécula formada por una doble cadena de des-oxi-ribonucleótidos, en los que el componente más representativo es la base nitrogenada. Esta cromatina está organizada de tal forma que grupos

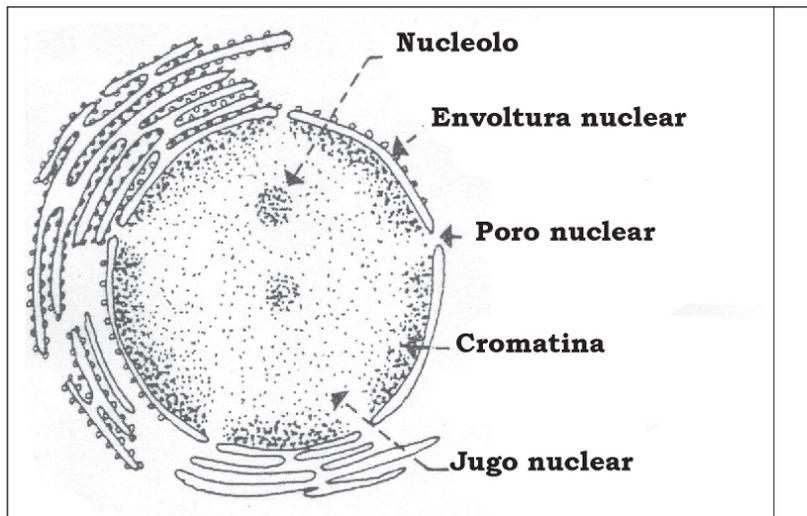


Fig.4.14. Núcleo Celular

de 160 a 200 o más pares de bases se asocian con un octámero (conjunto o grupo de ocho) proteínas. Estas proteínas son histonas y se disponen de a pares. Las histonas que participan son: **H2A, H2B, H3 y H4**. Estas asociaciones se llaman nucleosomas y están separados unos de otros por un quinto tipo de histona, la **H1**, que se asocia con el ADN y se interpone entre los nucleosomas. La doble cadena del ADN da dos vueltas alrededor del octámero de histonas, formando, de este modo, el nucleosoma.

Existen dos clases de cromatinas:

- **a)** la que se encuentra totalmente dispersa y constituye la verdadera cromatina, por eso llamada **euromatina** y como tal representa al material hereditario activo transcritivamente (contiene los genes activos para la síntesis de ARN).
- **b)** la que permanece compactada, no obstante encontrarse la célula en interfase, y se conoce como **heterocromatina**. A su vez tenemos dos variedades de heterocromatina.

Una de ellas corresponde a regiones constantes del cromosoma, como ser la región centromérica o la región de los télómeros o de las constricciones secundarias; por eso es llamada **heterocromatina constitutiva**. La otra variedad es la que encontramos en la mujer, y es debida a que uno de los dos cromosomas **X** permanece condensado, debido a un mecanismo compensatorio, por la diferencia que existe en el total de material cromosómico sexual, entre varón y mujer. Entonces, ese cromosoma permanece heterocromático; pero como unas veces, tal cromosoma es el materno y otras veces lo es el paterno, se habla de **heterocromatina facultativa**.

Nucléolo

Es una zona especializada del núcleo, caracterizada por la abundancia de ARN_r , pues casi todo el ARN_r se sintetiza en esta región del núcleo y esto es debido a que el nucléolo se organiza merced a una región de la cromatina o de los cromosomas caracterizada por la presencia de genes para transcribir esta clase de ARN. Esta región se llama

cromatina o ADN asociada al nucléolo u organizador nucleol.

Como consecuencia de la actividad de estos genes ribosómicos, se sintetizan los ARN_r, los cuales se procesan y se producen los ARN formadores de los ribosomas. Esta parte del nucléolo se llama **región fibrilar**. Estos ARN se asocian con las proteínas ribosomales (sintetizadas en el citoplasma que han llegado hasta aquí, a través de los poros de la envoltura nuclear) para formar las **sub-unidades ribosomales**. La parte del nucléolo donde se acumulan las proteínas y se produce el ensamblado para formar las mencionadas sub-unidades, se conoce como **región granula**

No existe membrana alguna que aisle o separe al nucléolo del resto del núcleo. El nucléolo es una estructura inconstante que se desorganiza hasta desaparecer, conforme la porción de ADN o cromatina asociada al nucléolo se retrae para compactarse y expresarse como cromosomas, durante la reproducción celular. Esto ocurre durante la profase. En la última parte del proceso de división celular, conforme se van desorganizando o dispersando los cromosomas, comienza a regenerarse el nucléolo.

Debemos agregar que hay células que tienen más de un nucléolo.

Núcleo en estado de división

En este estado del ciclo celular nos encontramos con un núcleo donde el material hereditario conocido como cromatina ha iniciado un **proceso de condensación o compactación por un**

mecanismo de espiralización y plegamiento, el cual se manifiesta en forma gradual y durante toda la profase y alcanza su máximo grado de condensación en la metafase. En este momento el material hereditario se llama **cromosoma** y alcanza su forma característica. Por eso se elige este momento para hacer los estudios nucleares pertinentes (recuentos de cromosomas, estudio de las características morfológicas de los mismos, etc.).

Para llegar al estado de división, la célula debió haber pasado por la etapa **S** de la interfase, durante la cual se ha producido la duplicación de todo el material hereditario; esto es fácil de visualizar al observar los cromosomas, pues ellos se presentan formados por **dos filamentos**, llamados **cromátidas**. Ambos filamentos se encuentran unidos a nivel de un estrechamiento que presenta el cromosoma, llamado **constricción primaria**. Algunos cromosomas, además de la constricción primaria, presentan una segunda constricción que se conoce como **constricción secundaria**, más allá de esta constricción, la porción de cromosoma que se extiende, está unida al resto por un filamento. La posición que ocupan las constricciones secundarias en los cromosomas que las poseen son constantes; esto las convierte en un elemento o factor diferencia o diagnóstico. La diferencia entre ambas constricciones es que a nivel de la constricción primaria los brazos del cromosoma presentan una divergencia (dobladura o angulación) muy marcada, lo cual no ocurre a nivel de la constricción secundaria.

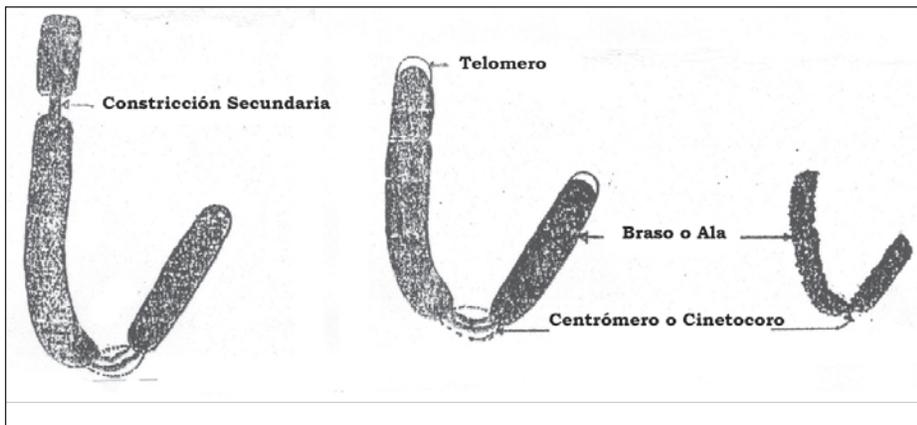


Fig.4.15. Esquema de los cromosomas con las diferentes partes que lo componen

A nivel de esta constricción primaria el cromosoma presenta una región altamente especializada llamada **centrómero o cinetocoro** que participa en el mecanismo de la movilidad o traslación del cromosoma, para llegar como una unidad de material hereditario al futuro núcleo hijo. Este centrómero es la región del cromosoma que se relaciona con las fibras del huso de división (fibras discontinuas o cromáticas) que son las que traccionan los cromosomas hijos, desde el ecuador del huso de división, para acercar dichos cromosomas a los respectivos polos.

Durante toda la profase y toda la metafase los cromosomas se presentan formados por las dos cromátidas. En la anafase se produce la división del centrómero, de tal suerte que cada medio centrómero arrastra una cromátida y **se convierte en cromosoma hijo**. De aquí en más, el cromosoma está formado por una sola cromátida; y este estado se extiende a la fase siguiente, o sea, a la telofase o fase final de la división.

Lo importante a rescatar es que la calidad de herencia que contienen las dos cromátidas de un mismo cromoso-

ma (llamadas **cromátidas hermanas**) es exactamente la misma y, de este modo, se asegura la exacta distribución de la herencia entre las dos células hijas. La herencia contenida por la cromátida está representada por una sola molécula de ADN, la cual es exactamente igual a la molécula de la cromátida hermana, consecuencia de la duplicación o replicación ocurrida en la etapa S, antes mencionada.

La porción de cromosoma comprendida entre el centrómero y los extremos se llama **brazos o alas del cromosoma** y ellos pueden ser iguales o no. La porción extrema de cada brazo se llama **telómero**.

Siendo así, tenemos dos clases de cromosomas: **los formados por dos filamentos** y **los formados por un solo filamento**, llamados respectivamente, **cromosomas dicéntricos** y **monocéntricos**.

A su vez, otro factor que determina distintos tipos de cromosomas es la posición del centrómero:

- a) cuando el centrómero se encuentra en

la parte media del cromosoma, de manera que ambos brazos resultan iguales, el cromosoma es **metacéntrico**.

-
- b) cuando el centrómero se halla ligeramente desplazado del centro, de modo que un brazo es más corto y otro más largo, el cromosoma es **submetacéntrico**.
-
- c) cuando el centrómero está desplazado hacia un extremo, el cromosoma
- presenta un brazo muy corto y un brazo muy largo y se llama **acrocentrico**.
-
- d) cuando el centrómero está totalmente desplazado hacia un extremo, de modo que el cromosoma presenta un solo brazo, pues el otro está ausente, se llama **telocéntrico**. Se considera que este tipo de cromosoma deriva de un cromosoma que ha perdido uno de sus brazos.

Mitosis

La mitosis tiene por función producir células con el mismo patrimonio cromosómico que la célula que se divide (célula madre); por ende:

Las células hijas tienen el mismo contenido genético que su progenitora. Cada mitosis produce o rinde dos células hijas y está al servicio del aumento de la población celular del organismo. Todo nuestro territorio celular está formado por células producidas por mitosis.

La mitosis ocurre a través de cuatro fases bien definidas: *profase*, *metafase*, *anafase*, *telofase*.

Profase. Se produce la **conden-**

sación de la cromatina (por mayor espiralización y plegamiento de las fibras de ADN). Este evento se produce a través de toda esta fase y alcanza su máxima expresión en la fase siguiente. El material hereditario se presenta morfológicamente como cuerpos con forma propia, llamados **cromosomas**. Mientras tanto, la parte de citoplasma que rodea al núcleo se aclara y hay una clara abundancia de proteínas fibrilares y otras sustancias que se las supone comprometidas en la formación del huso. Esta zona clara es elíptica y los polos de esta elipse corresponderán a los polos del huso, definidos por la posición de los centriolos que han migrado hasta dicha zona, para regir la formación del huso.

Por último, se produce la disolución del nucléolo y de la membrana o envoltura nuclear. La desaparición del nucleolema marca el fin de esta fase y el comienzo de la próxima.

Metafase. Libres de una membrana que los contenga, los cromosomas se sitúan con sus centrómeros dispuestos sobre un plano transversal al eje definido por la posición de los polos del huso de división (plano ecuatorial). Este es el mejor momento para hacer un recuento de cromosomas. Queda totalmente constituido el huso de división, formado por las fibras continuas o acromáticas y las discontinuas o cromáticas. Acá concluye esta fase y se inicia la siguiente.

Es muy importante tener presente que hasta este momento está constituido por dos filamentos o cromátidas unidas a nivel del centrómero.

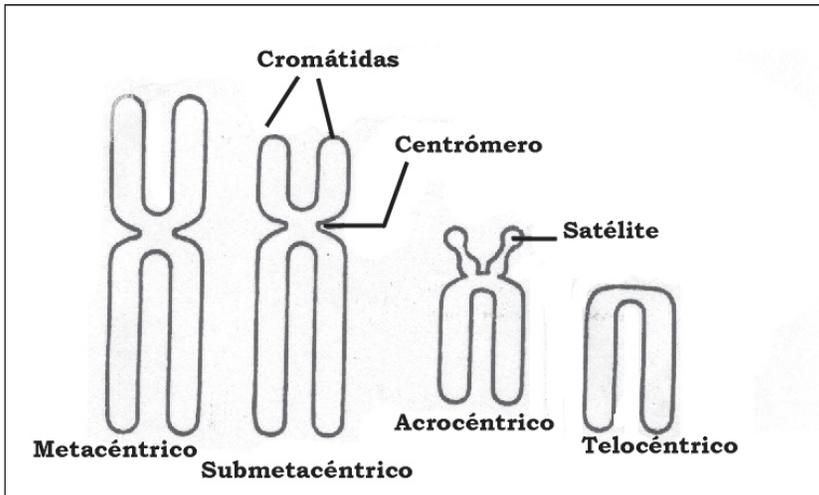


Fig.4.16. Representación esquemática de los diferentes cromosomas según la posición del centrómero

Anafase. Esta fase comprende la división de los centrómeros y la migración de los cromosomas hijos hacia los polos del huso, donde se constituirán los futuros núcleos hijos.

Se produce la división de los centrómeros (cada centrómero se divide según un plano paralelo al eje de extensión de las cromátidas) en dos centrómeros hijos o medio centrómeros. Cada medio centrómero arrastra una cromátida, constituyéndose el conjunto de medio centrómero y cromátida en un cromosoma hijo.

Al producirse la división de los centrómeros, se genera una fuerza de repulsión que inicia la separación de los mismos; mientras que por acortamiento de las fibras cromáticas o discontinuas se facilita la migración de los cromosomas hijos hacia los respectivos polos del huso.

El arribo de los cromosomas a los polos da por concluida esta fase e

inicia la siguiente.

Telofase. Comienza con la llegada de los cromosomas hijos a los polos, donde forman un grupo compacto, y comienzan a desespiralizarse. Se reconstituye la membrana nuclear (a partir de las porciones de RE más cercanas, con lo que se mantiene la continuidad estructural entre ambas estructuras membranosas).

Luego se reconstituyen los nucléolos o el nucléolo, dependiente de la zona, región u organizador nucleolar.

Aquí concluye la mitosis como evento nuclear, habiendo sido su función la de producir dos núcleos hijos con la misma constitución que el progenitor.

Producida la cariocinesis, tiene lugar la división del citoplasma o citocinesis. Este nuevo suceso logrará la formación de DOS CÉLULAS territorialmente independientes, al dividir

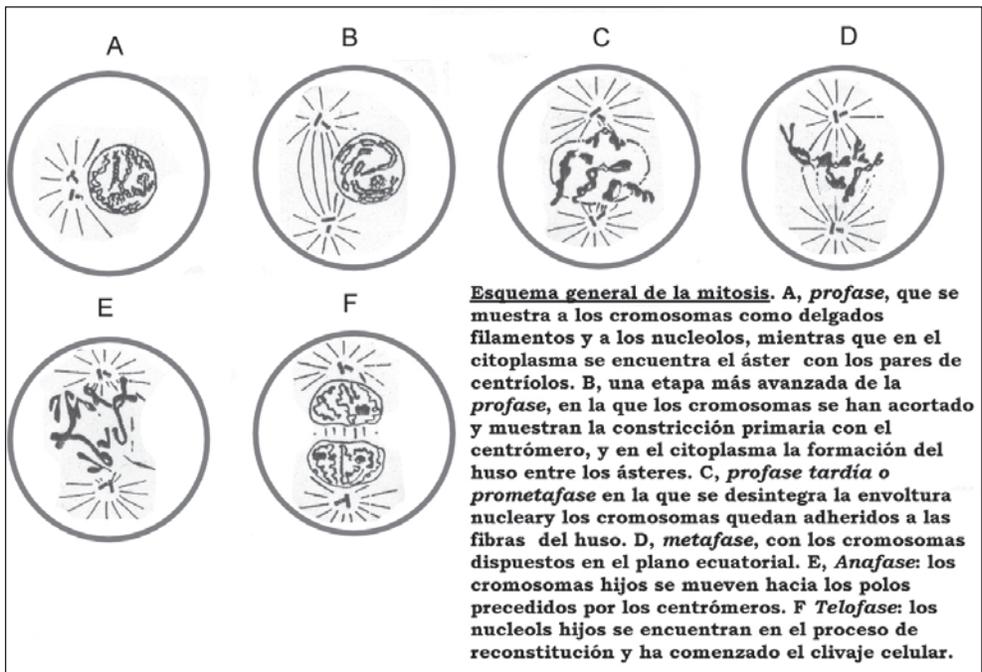


Fig. 4.17 Diferentes etapas de la Mitosis.

el citoplasma en dos territorios, cada uno correspondiente a una célula hija. En este proceso toman activa participación los filamentos, microfilamentos y microtúbulos (y entre éstos, particularmente los correspondientes a las fibras interzonales). Es conveniente que el alumno lea Aparato Mitótico en Nociones Generales sobre Citología.

Meiosis

La meiosis es un tipo muy particular de reproducción celular que tiene por función producir *células reproductoras*. En el mundo animal estas células sexuales o gametas se producen exclusivamente en las gónadas. Ya en los ovarios, ya en los testículos, las gametas se producen en el epitelio germinal. La función de la meiosis es conseguir que estas células contengan la mitad del patrimonio cromosómico

de las células somáticas, pues las gametas son células haploides.

La meiosis ocurre a través de dos divisiones sucesivas, llamadas *primera división meiótica o meiosis I* y *segunda división meiótica o meiosis II*, siendo esta última muy parecida a una mitosis, teniendo por ende, duplicar el número de células producidas en la primera parte. Mientras tanto, la Meiosis I es muy distinta y tiene a su cargo la reducción cromosómica.

La meiosis produce cuatro células haploides distintas de la célula madre.

Cada una de las divisiones que comprende la meiosis (meiosis I, meiosis II) atraviesa por las mismas fases consideradas en la mitosis (Profase, Metafase, Anafase, Telofase) y se

distinguen entre sí, agregándoles el calificativo I ó II según corresponda (por ej. Profase I, Anafase II).

Meiosis I ó Primera División Meiótica

Esta es la división verdaderamente reductiva, pues, las dos células contienen, cada una, solamente la mitad del número de cromosomas que la madre.

Como dije más arriba, comprende cuatro fases que son: *Profase I, Metafase I, Anafase I y Telofase II.*

Profase I. Es la fase de mayor duración, muy complicada y comprende varias subfases o fases menores cuyos nombres hacen referencia al aspecto que toman los cromosomas.

- a) Leptoteno. En cada subfase los cromosomas (leptonemas) se presentan como hilos muy suaves, sutiles, delicados. (Lepto: suave; Nema: hilo).
- b) Zigoteno. Los cromosomas homólogos se disponen uno al lado del otro, en un apareamiento tan exacto, que se corresponden cromómero a cromómero, en toda su extensión. Este apareamiento de los cromosomas homólogos inicia la formación del complejo sináptico o sinaptinémico (Zigo: unido, junto, yugo).
- c) Paquiteno. Los cromosomas apareados en la fase anterior, se abren o extienden exhibiendo dos cromátidas cada uno; de este modo, cada par de homólogos sinapsados en la subfase anterior, ahora se presenta formado por cuatro filamentos. El apareamiento se mantiene mediante la unión íntima entre una cromátida

de un cromosoma y otra cualquiera de su homólogo (la unión se establece entre cromátidas homólogas, no entre hermanas). Se produce un engrosamiento y acortamiento de los cromosomas. (Paqui: grueso corto).

Las cromátidas sinapsadas se entrecruzan unas con otras, como si se trenzaran. También se producen fracturas o rompimientos equivalentes en ambas cromátidas unidas; algunas de esas roturas se consolidan solas, pero otras sólo pueden reconstituirse después de un intercambio de segmentos entre las cromátidas comprometidas. Ese intercambio de segmentos entre cromátidas homólogas se conoce como CROSSING-OVER y, si bien es un evento a nivel molecular, se manifiesta morfológicamente, por medio de los *quiasmas* (entrecruzamientos de las cromátidas). Este mecanismo permite el *intercambio genético entre las cromátidas sinapsadas* y reviste un material hereditario.

- d) Diploteno. Los cromosomas apareados tienden a separarse y esta separación comienza en una zona cualquiera y se extiende en ambas direcciones, intentando alcanzar toda la amplitud del complejo sináptico, pero la separación queda detenida a nivel de los quiasmas.
- e) Diasinesis. Al acentuarse la separación de los homólogos se produce el desplazamiento de los quiasmas hacia los extremos, fenómeno conocido como *terminalización de los quiasmas*. Los cromosomas homólogos quedan unidos por sus extremos y como *par de cromosomas unidos* pasarán a la Metafase I, después de que se produzca la disolución de la membrana nuclear.

Metafase I. Los cromosomas se ordenan como cromosomas dobles sobre la zona ecuatorial, y se diferencia de la Metafase mitótica en que acá, los cromosomas que se ubican en el ecuador son pares homólogos unidos.

Anafase I. Acá se produce la separación de cromosomas homólogos o unidos, desplazándose íntegramente un cromosoma hacia un polo y el otro hacia el polo opuesto. No hay división de centrómero. De este modo se produce la reducción en el número de cromosomas.

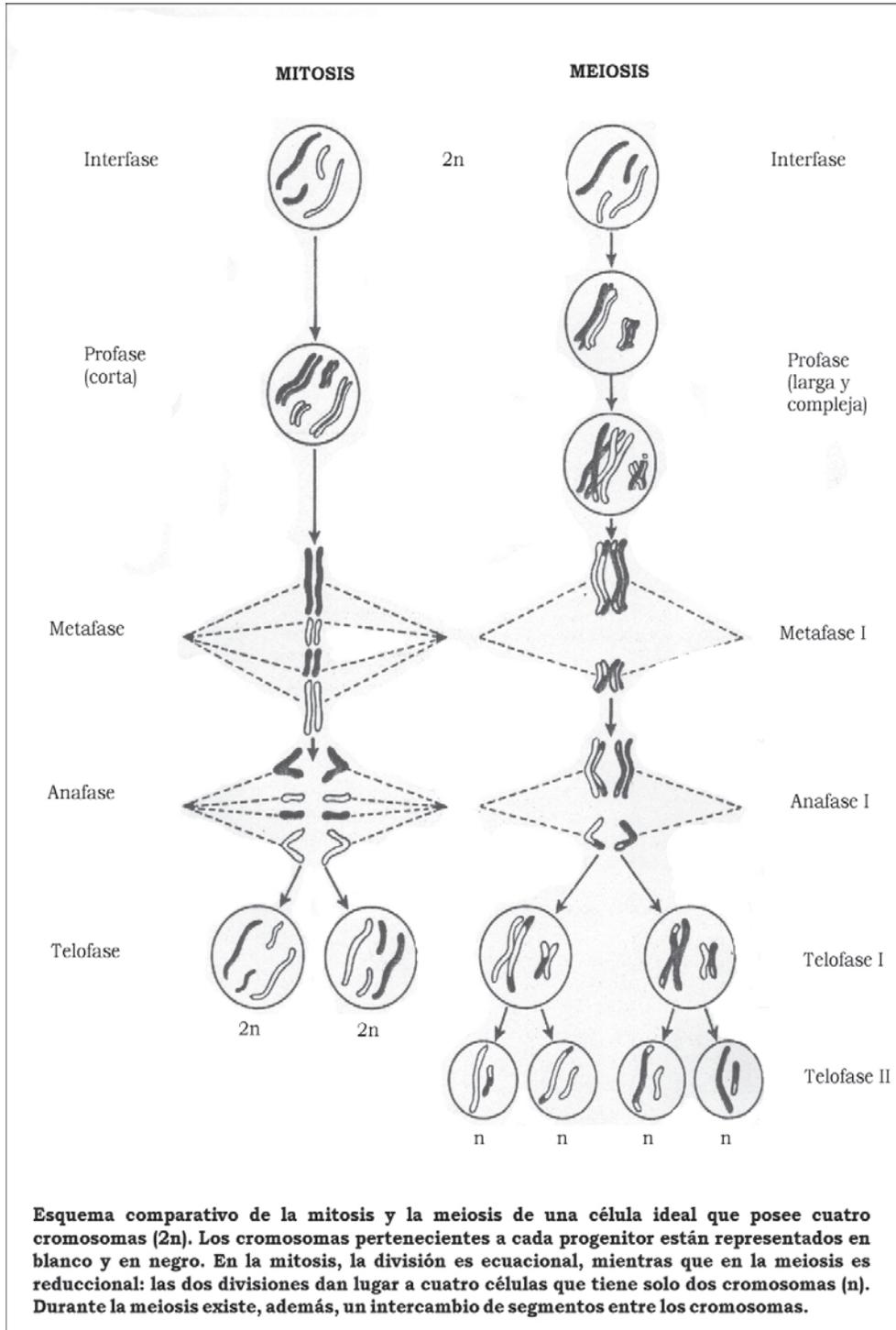
Telofase I. No se diferencia de la telofase mitótica.

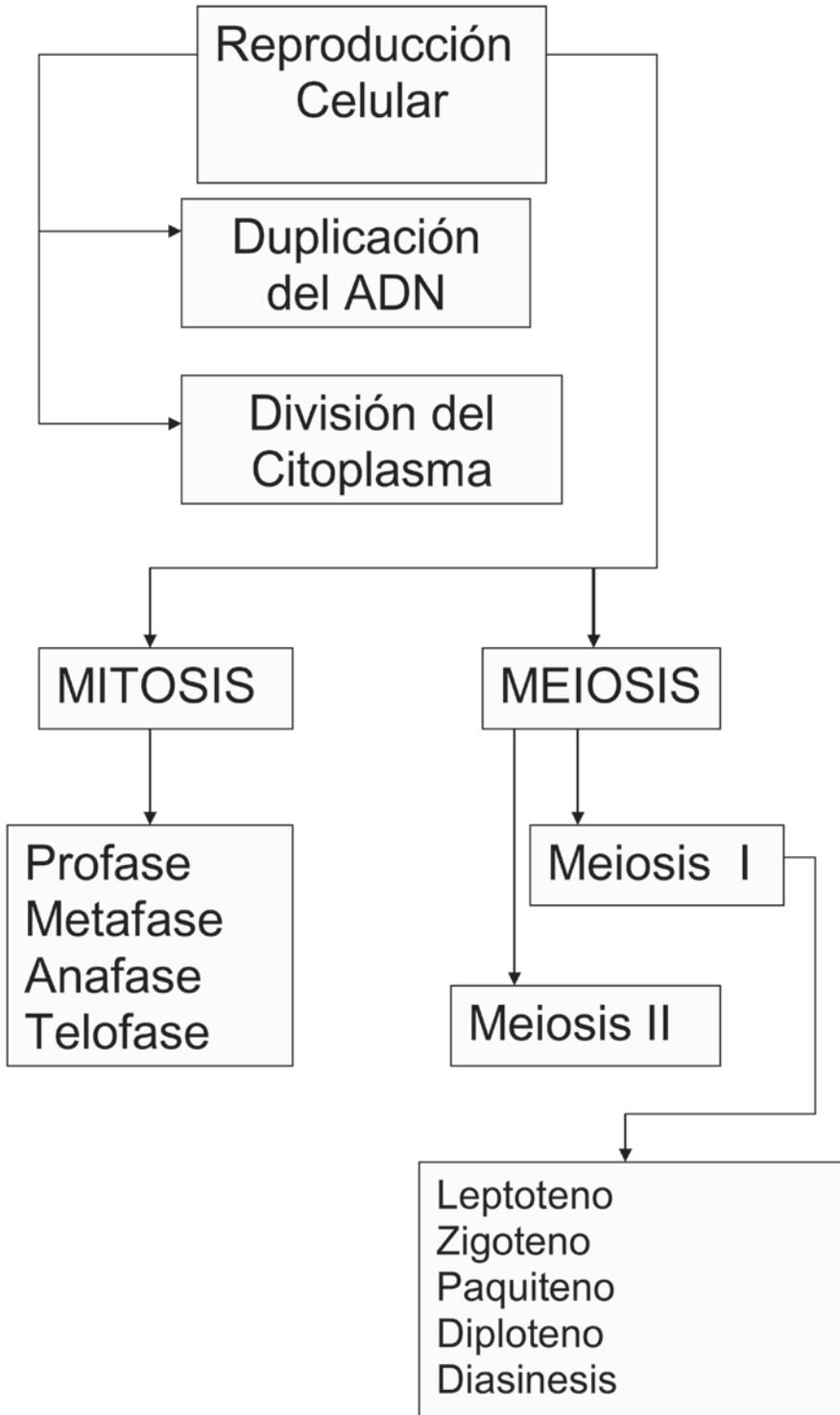
Antes de iniciarse la segunda meiosis se produce entre ambas un corto periodo de separación llamado intercinesis, no equivalente a la interfase.

Meiosis II o Segunda División Meiótica

En casi todos sus detalles es muy parecida a una mitosis.

Mitosis y Meiosis: esquemas comparativos





CAPÍTULO 6

- **Tejidos.**
- **Sistema osteoartromuscular.**
- **Nutrición: sistemas digestivo, respiratorio, circulatorio y excretor.**
- **Sistema nervioso.**

Autora: Biol. Raquel Murialdo

La Multicelularidad

La mayoría de los organismos vivos están formados por numerosas células que realizan sus funciones de manera coordinada. A estos organismos por estar constituidos por muchas células se los llama pluricelulares o multicelulares. De esta manera se los diferencian de otros organismos formados por una sola célula, por ejemplo las bacterias y los individuos del Reino Protista.

La condición multicelular aparece luego de la condición eucariota y más aún luego de la reproducción sexual. Si bien la vida comienza en el planeta hace 3600 millones de años no es hasta hace unos 700 millones donde surgen los primeros organismos multicelulares.

Esta característica de multicelularidad permite pensar en células que están en íntimo contacto y además que sus actividades se encuentran reguladas mediante mecanismos de control y coordinación.

La posibilidad de aumentar de tamaño se vería limitada si los organismos fueran unicelulares; esta limitación se da por la relación entre volumen y superficie, ya que a medida que el volumen aumenta, la relación superficie/volumen disminuye, por lo tanto disminuye la zona de contacto con el medio extracelular de manera de garantizar las reacciones metabólicas.

Tanto los organismos unicelulares como multicelulares tienen básicamente las mismas necesidades. Pero existe una diferencia importante, en los primeros una misma célula realiza

todas las actividades y en los últimos existe división de trabajo, de esta forma se pueden desarrollar varias funciones al mismo tiempo sin ningún tipo de interferencia.

Esto da como resultado una mayor eficiencia, y por lo tanto un mejor aprovechamiento de la energía. Pero además las estructuras más complejas requieren más energía para mantener su estructura. El ser más eficientes les ha permitido a estos organismos ocupar diferentes hábitats e independizarse, dentro de ciertos límites, de las condiciones que el ambiente les ofrece.

La existencia de un organismo multicelular depende en gran medida de la existencia y subsistencia de cada una de sus células. Para nutrirse necesitará de estructuras que introduzcan y distribuyan el oxígeno y el alimento, además necesitará recoger y eliminar los productos de desechos producidos en el metabolismo. Por otro lado deberá mantener su relación con el medio que lo rodea, para lo cual le hará falta estructuras que reciban información, la procesen y elaboren una respuesta adecuada.

Pero para que esta división de tareas no sea anárquica, y que se produzcan desequilibrios en el medio interno del organismo, todas estas funciones requieren una fina coordinación y regulación.

De células a tejidos

De lo dicho anteriormente se desprende que para cumplir las distintas funciones, existen grupos de células

especializadas; esta especialización no es caprichosa sino que esos tipos celulares con función específica constituyen estructuras llamadas TEJIDOS.

Ahora bien ¿qué significa la especialización? Esto es que una célula, además de cumplir con las funciones propias de su subsistencia, posee algunas funciones más desarrolladas con las que contribuye al funcionamiento del conjunto.

Los órganos y sistemas de nuestro cuerpo están organizados básicamente por cuatro tipos de tejidos, a saber: el *tejido epitelial*, el *tejido muscular*, el *tejido conjuntivo o conectivo* y el *tejido nervioso*. Los demás tejidos se consideran, por lo general, derivados de estos cuatro tipos fundamentales.

Los tejidos epitelial, muscular y conectivo pueden encontrarse conjuntamente formando parte de los órganos de todos los sistemas. Los restantes, forman parte casi exclusiva de determinado tipo de sistema.

El tejido epitelial: un tejido de revestimiento

Este tejido cumple la función de protección y de recubrir el organismo tanto exteriormente como interiormente. Las células que lo constituyen son células planas, cúbicas, ciliadas; se puede decir que es un tejido de tipo compacto.

Además de esta función primaria puede haber células epiteliales con mayor grado de especialización. La epidermis constituye la capa más externa de la piel; sus células tienen en su citoplasma una proteína, la queratina,

que la fabrica la propia célula y la hace muy resistente.

El epitelio que recubre cavidades y conductos que comunican con el exterior también posee especializaciones, por ejemplo, los cilios del epitelio respiratorio que con sus movimientos ayudan a arrastrar el polvo y los microorganismos hacia el exterior o las microvellosidades del epitelio intestinal, cuya superficie está destinada a la absorción, además aumentan enormemente la relación superficie / volumen.

El epitelio tipo glandular. Algunas células se ubican en diversas partes del organismo y se especializan en la secreción de sustancias y se denominan células glandulares, por ejemplo las que se encuentran en el epitelio respiratorio que secretan mucus o en el epitelio digestivo que secretan enzimas útiles para la digestión.

Pero además, las células glandulares se pueden agrupar constituyendo órganos: las glándulas. Algunas glándulas secretan hormonas que viajan por la sangre hacia distintas zonas del interior del organismo y por eso se llaman endócrinas, por ejemplo la tiroides.

Otras glándulas liberan secreciones al exterior, como las glándulas mamarias o las sudoríparas y en este caso se llaman glándulas exócrinas.

Puesto que las células glandulares sintetizan ellas mismas los productos de secreción, muchos de los cuales están constituidos por proteínas, estas células poseen un sistema de orgánulos membranosos muy desarrollado.

Otro tipo de epitelio es el reproductor; son las células que más activamente se dividen y son la fuente de las células germinativas. Es decir los óvulos y los espermatozoides.

El tejido muscular: para moverse mejor.

Este tejido está compuesto de células especializadas en producir movimiento mediante la contracción y la relajación. La contracción muscular se produce por un proceso complicado en el que moléculas de proteínas (actina y miosina) se deslizan unas sobre otras hacia el centro de la célula. Estas proteínas están arregladas con frecuencia en la mayoría de las células musculares, por lo cual éstas presentan el aspecto de estriado.

Los músculos pueden ser estriados o lisos. El músculo estriado es el que rodea los huesos y su movilización es voluntaria; es capaz de contracciones rápidas y de mantenerse en estado de contracción durante un tiempo prolongado, por ejemplo soportando la cabeza erguida. El músculo cardíaco es un tipo especial de músculo estriado donde sus células tienen un solo núcleo y sus extremos ramificados; es exclusivo del corazón y su principal característica es la de contraerse rítmica y automáticamente. Esto último significa que se puede contraer sin estímulo externo pero controlado por el sistema nervioso.

El tejido muscular liso forma parte de las paredes de la mayoría de los órganos internos. Las células no tienen el arreglo de las proteínas anteriormente explicado. Su contracción es más lenta y prolongada que la del

estriado, de este modo ayuda a mantener la forma de los órganos.

El tejido conectivo: es el que conecta.

En general se acepta que es el tejido que proporciona apoyo y cohesión al cuerpo. Bajo este nombre se agrupan una gran variedad de tejidos con diferentes funciones. Todos ellos tienen en común que sus células no están unidas sino que las separa un abundante material intercelular o matriz, constituida por fibras proteicas como el colágeno o de elastina y líquido extracelular. La consistencia puede variar según sea la proporción de células, fibras y líquido.

Distinguiremos cuatro tipos de tejido conjuntivo. El conectivo propiamente dicho, que interviene en el sostén y en el relleno de los órganos ubicado debajo de la epidermis donde forma la dermis, o entre las fibras musculares, etc.

El cartilaginoso se especializa en la función de sostén, sus células están surcadas por numerosas fibras e inmersas en una matriz muy abundante. Esta característica le otorga gran flexibilidad y elasticidad. Es el esqueleto del embrión y en el adulto persiste en la pared de las fosas nasales, tráquea, bronquios, en los extremos libres de las costillas y recubriendo la superficie de articulación de los huesos largos.

El tejido óseo cumple funciones de sostén y de protección. Esto es posible fundamentalmente porque su matriz ha sido endurecida por la presencia de sales minerales, especialmente de calcio. Sirve de punto de apoyo

para el movimiento y la locomoción. Presenta una alta probabilidad de regeneración.

El tejido sanguíneo: Este tipo particular de tejido conjuntivo posee una matriz líquida denominada plasma, compuesta el 80% por agua. El 20% restante está compuesto por proteínas, lípidos, sales, vitaminas, hidratos de carbono y otros componentes.

La fase sólida de la sangre la constituyen las células, las cuales son de distintos tipos y cumplen diferentes funciones: los eritrocitos o glóbulos rojos son los que transportan el oxígeno dentro de una proteína; la hemoglobina, no tienen núcleo y los organoides están reducidos o ausentes. Los leucocitos o glóbulos blancos son un grupo de células que actúan como defensa del organismo frente al ingreso de partículas extrañas. Las plaquetas, en realidad son porciones de citoplasma rodeado de membrana; su función se relaciona con la coagulación sanguínea. Todas las células se originan en la médula roja de los huesos y una vez formadas pasan al torrente sanguíneo.

El tejido nervioso: el que recibe estímulos y responde.

Está compuesto por diversos tipos celulares, pero la unidad estructural del mismo es la neurona. Esta célula explota al máximo las propiedades de irritabilidad y conductividad, que caracteriza todo el sistema nervioso.

La neurona transmite el impulso nervioso que recibe a través de las dendritas y del cuerpo celular, desde este último a lo largo del axón, el cual está recubierto por una sustancia incolora

y grasa llamada mielina, hasta los terminales axónicos. El conjunto de cuerpos celulares son la materia gris del cerebro, de la médula espinal y de los ganglios. Los axones de las neuronas cerebrales o medulares forman la sustancia o materia blanca.

Existen tres tipos básicos de neuronas:

- Las neuronas sensitivas que captan el estímulo que puede provenir del medio exterior (luz, sonido, temperatura, olores, acción mecánica) o del medio interno (ausencia de alimento en el estómago).
- Las neuronas motoras cuyos axones llegan a diferentes músculos u órganos y responderán al estímulo.
- Las neuronas asociativas reciben información de las sensitivas y la transmiten a las motoras.

De tejidos a sistemas de órganos

Ningún tejido actúa en forma aislada, distintos tejidos se agrupan y se organizan en otro nivel de mayor complejidad: los órganos. De una manera u otra todos ellos participan en conjunto en los diversos órganos que componen el organismo humano. Por ejemplo el estómago es un órgano formado por tejido epitelial, muscular y conectivo, que a su vez se encuentra inervado por el sistema nervioso. Todos estos tejidos se hallan altamente organizados y coordinados de manera de realizar de forma eficiente y sin errores las funciones que les son propias.

Por su parte, los órganos se agrupan y se organizan en sistemas de órganos; aquí los que trabajan coor-

Ubicación de algunos tejidos en el cuerpo humano

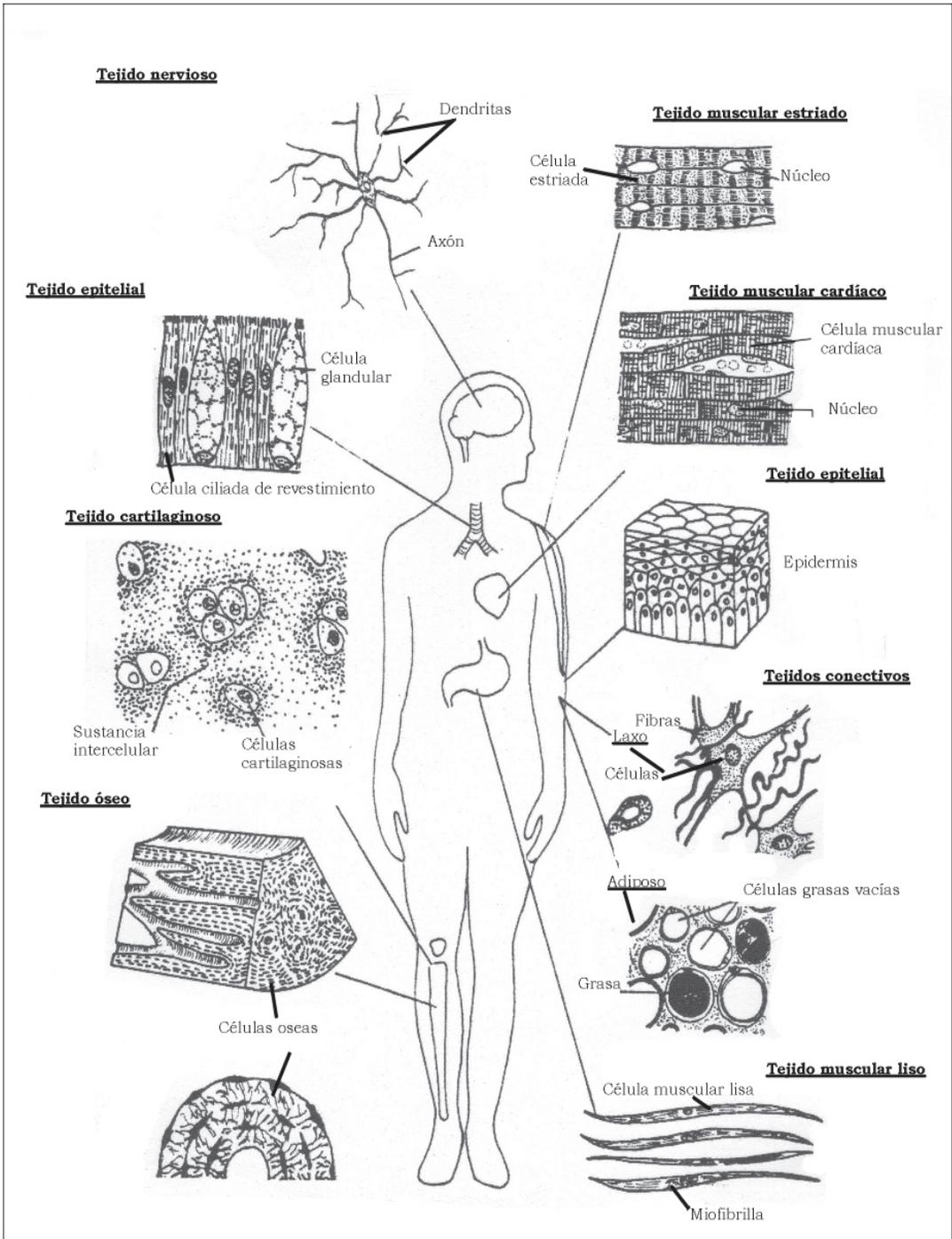


Fig. 5.1. Tejidos

dinadamente son los órganos entre sí y les permiten desempeñar funciones más complejas.

En el cuerpo humano se pueden agrupar en 10 sistemas de órganos: el tegumentario, el osteoartromuscular, el circulatorio, el digestivo, el respiratorio, el urinario, el endócrino, el reproductor, el nervioso y el inmunológico. A su vez se pueden considerar de manera holística los sistemas que están relacionados con la función de aprovechar la materia y la energía que ingresa al organismo y de esta manera incluir dentro de este macro sistema al respiratorio, digestivo, circulatorio y excretor. En este capítulo se analizarán todos los sistemas salvo reproductor y endócrino que se analizarán en capítulos especiales.

Sistema Tegumentario

En él se puede observar la epidermis externa. Las células que lo componen son anucleadas y el citoplasma con queratina lo que las hace más resistentes. En algunos órganos están acompañadas por cilios (vías respiratorias) o por microvellosidades (intestino). Por debajo se apoya la dermis con vasos sanguíneos, nervios y pigmentos; la dermis se apoya a su vez con el tejido adiposo subcutáneo. En el hombre la epidermis tiene un espesor de 0,07mm y la dermis entre 2,5 y 5,0. En casi todos los casos está asociada a estructuras que reciben estímulos, ej.: el sistema responsable del sentido del tacto. Algunas células epiteliales se especializan en la secreción y se denominan células glandulares, como las que se encuentran en la tráquea o intestino, otras glándulas liberan su

secreción fuera del organismo como las sebáceas o sudoríparas.

Las arterias y venas poseen un tejido epitelial especial: el endotelio, que recibe ese nombre por no encontrarse en contacto con el exterior.

Sistema Osteo- Artro- Muscular

Es el sistema básico de sostén, protección y movilidad. Los huesos, estructuras rígidas, son los que sirven de punto de apoyo de los músculos, los cuales constituyen las estructuras flexibles del sistema, en tanto las articulaciones son el punto de relación de dos o más huesos permitiendo desde una nula o casi nula movilidad hasta una enorme variedad de movimientos.

Los huesos son de consistencia dura porque químicamente están formados por moléculas inorgánicas de fosfato de calcio y carbonato de calcio. La vitamina D favorece la absorción de calcio en las paredes intestinales. Por otra parte el metabolismo del calcio está regulado por la hormona paratifoidea.

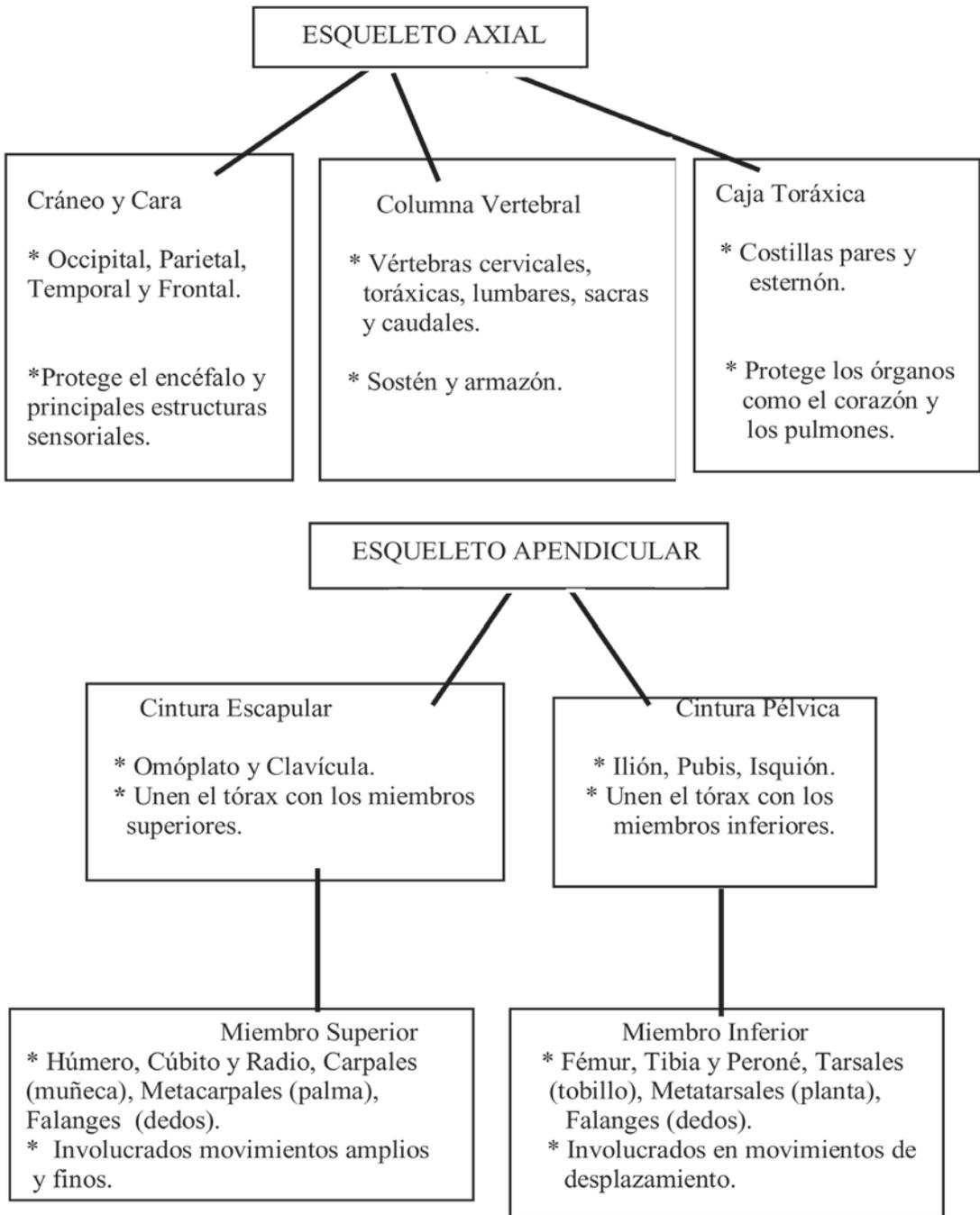
Los músculos son órganos rojizos y muy contráctiles, que se agrupan alrededor de los huesos, insertándose en ellos directamente o bien por unos cordones fibrosos llamados tendones.

Los músculos son los responsables del movimiento. El tejido muscular posee células que se han especializado en:

- Contraerse.
- Responder a estímulos.
- Conductividad del estímulo.

El tipo de músculo involucrado en este sistema es el estriado o esquelético, con las características ya analizadas de ese tipo de fibra muscular.

Los principales huesos los podemos resumir en el siguiente cuadro.



Por sus dimensiones a los músculos se los puede clasificar en:

- Largos: extremidades y cuello.
- Anchos: tórax, abdomen y cráneo.
- Cortos: los que rodean a la columna vertebral.

Estos músculos tienen algunas propiedades que los caracterizan, como la excitabilidad, (un músculo reacciona frente a un estímulo), contractilidad, (la respuesta que genera es acortarse y/o endurecerse) y la elasticidad (luego de la contracción el músculo vuelve a su longitud primitiva u original).

La porción articular de este sistema, puede decirse que representa el esqueleto en acción. Existen diferentes articulaciones según el grado de movilidad:

- Fijas: las que ocurren entre los huesos del cráneo.
- Semimóviles: por ejemplo las que existen entre las vértebras, poseen disco que separa un hueso del otro.
- Móviles: son las que permiten movimientos rápidos y de gran amplitud, por ejemplo las de las extremidades. En estas últimas es de destacar que además del movimiento, soportan peso y por lo tanto están provistas de elementos que amortiguan, como el cartílago hialino intraarticular y el líquido sinovial, además de la cápsula que mantiene en su lugar la articulación.

Se aprovecha la Materia y la Energía: La Nutrición

Los alimentos luego de ser transformados y el oxígeno luego de ser incorporado, permiten obtener energía; para que la obtención de energía sea efectiva, es necesario el trabajo conjun-

to y coordinado de varios sistemas de órganos de la siguiente manera:

- **Sistema digestivo:** transforma los alimentos en moléculas sencillas.
- **Sistema respiratorio:** permite el ingreso del oxígeno y la eliminación del dióxido de carbono.
- **Sistema excretor:** elimina las sustancias de desechos y que podrían ser tóxicas al organismo.
- **Sistema circulatorio:** transporta todas las sustancias a través del organismo, garantiza la llegada de nutrientes como la expulsión de los desechos de todas partes del organismo.

Diferencia entre Nutrición y Alimentación

Nutrición significa: la acción que permite aumentar las sustancias del cuerpo animal o vegetal, por medio de los alimentos, reparando las partes que se van perdiendo.

La nutrición incluye:

- la incorporación de los alimentos,
- la incorporación de oxígeno,
- la transformación en moléculas sencillas,
- la distribución de los nutrientes en todo el cuerpo,
- la eliminación de los desechos: orina y dióxido de carbono

Alimento no es lo mismo que nutriente; los alimentos son todas las sustancias que consumimos de origen vegetal, animal, o inorgánicos.

Ejemplos de alimentos son: frutas, verduras, carne de pollo, carne de vaca, leche, queso, pan, fiambre, agua, etc.

En tanto los **nutrientes** son las

sustancias químicas que provienen de los alimentos y que se obtienen a partir de la degradación de los mismos por acción de las enzimas digestivas.

Ejemplos de nutrientes son: hidratos de carbono o azúcares, lípidos o grasas, vitaminas, proteínas, minerales, etc.

En general se puede decir que la distribución recomendada de nutrientes por día es: 50% de hidratos de carbono, 30% de grasas y 12% de proteínas. En cuanto al valor calórico, las grasas poseen el doble de calorías que los hidratos de carbono y las proteínas.

Sistema Digestivo

El sistema digestivo es el encargado de incorporar la materia orgánica al organismo. Este sistema está formado por una serie de órganos que trabajan coordinadamente, a manera de tubo con excrecias, porciones dilatadas y glándulas asociadas que complican su estructura básica, pero que en el plan general, continúa siendo un tubo en el cual se "procesan" los alimentos mientras avanzan de la boca al ano. En el tubo digestivo se pueden considerar las siguientes porciones:

- Boca: centro de la masticación y deglución del alimento.
- Glándulas salivales: lubricación y acción enzimática sobre los alimentos.
- Esófago: conduce el alimento hasta el estómago.
- Estómago: almacenamiento y digestión enzimática.
- Intestino delgado: absorción de los nutrientes.
- Hígado: se realiza el metabolismo de las moléculas orgánicas.

- Páncreas: secreción de enzimas digestivas y hormonas.
- Intestino grueso: absorción de agua y ciertas vitaminas.
- Recto: eliminación de materia fecal.

La **INGESTIÓN** es la introducción de los alimentos en el tubo digestivo y su procesamiento hasta que pueda comenzar la digestión. La primera etapa es la Masticación, para desmenuzarlos mediante el trabajo de mandíbulas y dientes, músculos masticatorios y mejillas. La segunda etapa es la Deglución, que es el pasaje de los alimentos desde la boca hasta la unión del esófago y el estómago.

La verdadera **DIGESTIÓN** es la transformación de sustancias complejas, insolubles en agua y no difusibles en simples, solubles en agua, difusibles y capaces de ser absorbidas y asimiladas por cualquier célula del organismo. La digestión, en realidad, es un **proceso químico**.

Las principales fuentes energéticas en orden de importancia son los hidratos de carbono, lípidos y proteínas. Luego siguen los minerales y vitaminas, que son compuestos esenciales pero poco energéticos.

La **ABSORCIÓN** es la penetración de las sustancias alimenticias que provienen del exterior a las células que tapizan el tubo digestivo y la transferencia de las mismas al medio interno. No debe confundirse con la digestión, que es previa a la absorción.

Motilidad Gastrointestinal

Debido a la presencia del sincitio funcional de las fibras musculares lisas,

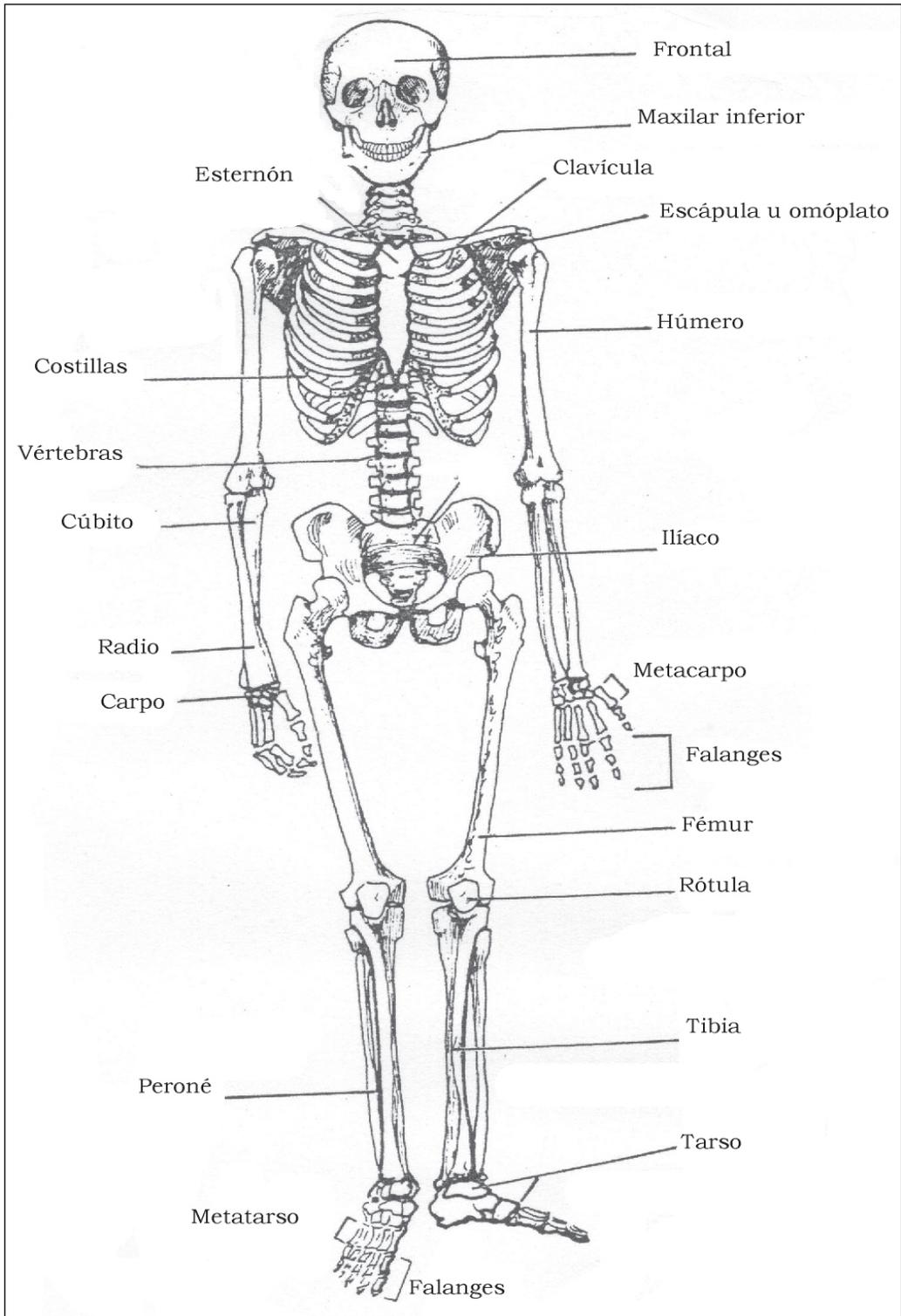


Fig.5.2. Esquema del sistema óseo, en vista frontal.

cada onda de excitación se expande hacia regiones vecinas en el tubo. Existen 2 tipos de contracciones:

Contracciones tónicas: son continuas, pueden durar minutos u horas. Aumentan o disminuyen su intensidad pero no se suspenden. El grado de contracción provoca diferentes presiones en el segmento contraído. Por ejemplo en los esfínteres la presión ejercida es muy alta y hacen resistencia al paso del contenido del tubo, como el esfínter esofágico inferior o el anal.

Contracciones rítmicas: son las principales responsables de la propulsión (avance) del contenido del tubo y también producen mezcla. Las de mayor frecuencia se dan cada 2 minutos y las de menor frecuencia cada 20 minutos.

El control de los movimientos de los segmentos del tubo se da por el sistema endócrino y por el nervioso. Los plexos coordinan los movimientos. Las terminales colinérgicas, cuando son estimuladas, aumentan el tono de la pared, la frecuencia y la intensidad de las contracciones rítmicas.

El control nervioso se da por el Sistema Autónomo. El Parasimpático mediante nervios craneales y fundamentalmente el nervio vago (X par) en general aumenta la actividad gastrointestinal. Suprimiendo su control falta el tono muscular y se ausenta el peristaltismo. El Simpático, fundamentalmente por nervios espinales, inhibe la actividad, excepto en los esfínteres íleo-cecal y anal.

Los movimientos son de MEZCLA, mediante los cuales se amasan los alimentos y se los pone en contacto con los fermentos; PROPULSORES,

que empujan los alimentos hacia adelante a una velocidad adecuada y los PERISTÁLTICOS, que son muy importantes. Se dan cuando existen sincitios de fibras musculares. Un estímulo en un punto provoca la formación de un **anillo contráctil** que se desplaza hacia adelante y atrás del punto de estimulación. El estímulo más poderoso para provocar el peristaltismo es la distensión de la pared del tubo, que ocurre justamente cuando llegan alimentos a un segmento. El efecto del peristaltismo es el empuje de los alimentos hacia adelante impidiendo a la vez el retroceso.

Motilidad Estomacal

El estómago no es un órgano vital, pero sus funciones son muy importantes para una correcta asimilación. Sus funciones son tres:

- 1) Almacenamiento
- 2) Mezcla
- 3) Vaciado

Almacena los alimentos ingeridos para liberarlos al intestino en forma paulatina, donde los nutrientes serán absorbidos.

Mezcla los alimentos previamente triturados con los primeros fermentos o enzimas digestivas que comienzan la digestión verdadera o química. El resultado de la mezcla con las enzimas es la formación del "QUIMO", una masa semi-fluida de consistencia uniforme. Los "jugos digestivos" secretados por el estómago se mezclan con los alimentos por movimientos mezcladores y peristálticos que se producen por estímulos de distensión e irritación de la mucosa estomacal.

El vaciado es muy controlado, pues debe ser compatible con una correcta digestión inicial estomacal y una digestión y absorción completas a nivel intestinal.

El control hormonal se realiza a través de la **enterogastrona**, secretada por la pared intestinal (duodeno) y que inhibe la motilidad gástrica.

Motilidad Intestinal

El intestino tiene tres tipos de movimientos: 1) de segmentación rítmica, 2) peristálticos y 3) pendulares.

Los de segmentación rítmica son variados en lugar, frecuencia y duración. Son los principales y no son propulsores. Los peristálticos son los traslativos o propulsores y se superponen en un mismo segmento con los anteriores. Los pendulares se dan en diferentes direcciones, a menudo en dirección diagonal y con diferente amplitud.

Digestión

El proceso digestivo se da por hidrólisis, con la colaboración de enzimas específicas.

Este proceso de hidrólisis no es otra cosa que la descomposición de moléculas denominadas polímeros en sus monómeros que la constituyen. Por ejemplo por acción de la amilasa salival e intestinal el almidón o glucógeno se desdobra en moléculas de maltosa y de disacáridos. O por ejemplo el colesterol por acción de las lipasas pancreáticas y la bilis se desdobra en ácido graso y glicerol. Por su parte las proteínas por acción de las pepsinas gástricas, tripsina pancreática, entre otras, se des-

doblan hasta obtener los aminoácidos esenciales.

Absorción

La absorción es el pasaje de los productos finales de la digestión, es decir, aminoácidos, ácidos grasos, colesterol y monosacáridos, por las células del epitelio digestivo, con el objeto de pasar al medio interno y ser utilizables por todas las células de la economía. La absorción aumenta con el aumento de la superficie. En el estómago sólo son absorbidos algunos fármacos y el alcohol. En el intestino se absorben todos los nutrientes restantes y en la porción final (colon) se absorben la mayor parte de los electrolitos y el agua.

Los nutrientes absorbidos en el intestino son transportados por vía sanguínea, que irriga el resto de los tejidos, difundándose hacia las células e integrándose a los diversos procesos metabólicos que ellas poseen.

La absorción se da en las células de tres formas diferentes: 1) pinocitosis 2) transporte activo y 3) difusión. Por pinocitosis se absorben los oligopéptidos y microgotas de lípidos; por transporte activo se bombean el Na^+ , Cl^- , Ca^{++} , etc.; por difusión se absorbe el agua y varios iones.

Función Secretoria del Tubo Digestivo

A lo largo del tubo existen **glándulas mucosas** y **células caliciformes** que secretan moco. El moco es lubricante, protector contra la abrasión y los efectos de los jugos digestivos sobre la mucosa del tubo mismo, da consistencia al quimo y la masa de alimentos que son

propulsados, favorece la adherencia de la masa y mantiene un PH adecuado.

También existen células **secretoras de enzimas** desde la boca hasta el íleon.

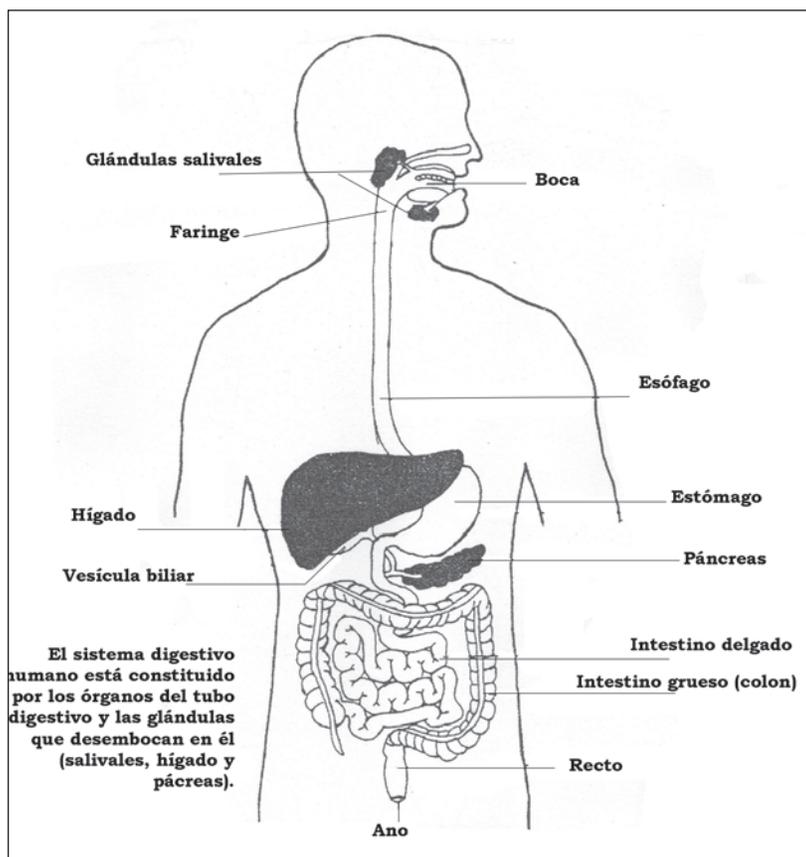
En el estómago existen células parietales secretoras de **ácido clorhídrico**, que baja el pH para que operen adecuadamente las enzimas gástricas. Por otra parte las células principales secretan **pepsinógeno** que luego se transforma en pepsina, encargada del

desdoblamiento de proteínas.

Las glándulas salivales secretan la amilasa salival que desdobla almidones y glúcidos complejos.

Páncreas

Tiene una función exócrina y una función endócrina. Como glándula endócrina regula el metabolismo de glúcidos mediante dos hormonas: la insulina y el glucagón. Dentro del funcionamiento del sistema digestivo nos interesa la función exócrina, mediante



Esquema de los órganos que componen el Sistema Digestivo. El proceso de la digestión involucra 4 etapas fundamentales: 1) Ingestión 2) Digestión 3) Absorción 4) Eliminación de Residuos

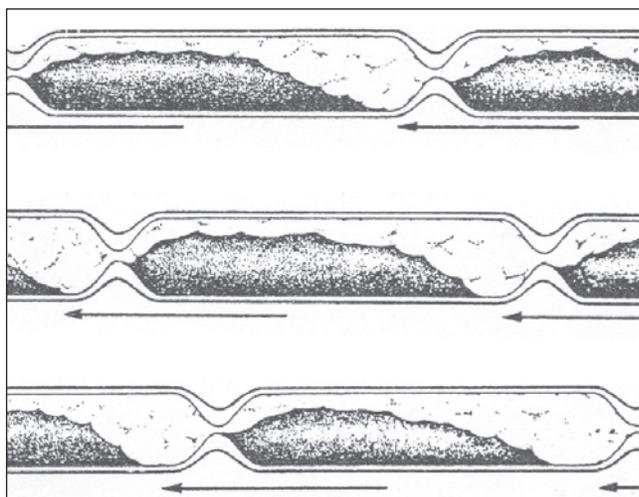


Fig.5.4. Esquema de la motilidad intestinal y sus movimientos peristálticos.

la cual libera jugos pancreáticos al duodeno, porción inicial del intestino. El jugo pancreático es alcalino y posee enzimas hidrolíticas potentes:

- Tripsinógeno, que se transforma en el duodeno en tripsina y quimotripsinógeno que se transforma en quimotripsina. Ambas junto a la carboxipeptidasa desdoblan proteínas actuando en diferentes sitios de sus moléculas.
- Amilasa pancreática, que desdobla glúcidos no reducidos por la amilasa salival.
- Lipasa, que desdobla lípidos. Su acción aumenta con la presencia de sales biliares.

La secreción pancreática se regula hormonalmente mediante la **secretina**, hormona que es liberada en la mucosa del duodeno ante la llegada del quimo ácido. Una vez activada pasa a la sangre y llega al páncreas aumentando la liberación de jugos digestivos.

Hígado y vías biliares

Las células hepáticas secretan la "BILIS". Por los conductillos biliares se reúne y por el colédoco es liberada al duodeno. La bilis es viscosa, amarilla-parda, amarga, de pH 7,8-8,6. Contiene los ácidos o sales biliares, los pigmentos biliares, de los cuales el más importante es la bilirrubina, colesterol, moco, fosfatasa alcalina y iones.

Las sales biliares liberadas sobre la pasta en digestión en el duodeno favorecen la acción de las lipasas, emulsionando las grasas y favorecen la absorción de vitaminas liposolubles, como la K, E y D.

Metabolismo Hepático

- Metabolismo de Glúcido: almacena glucosa en forma de glucógeno y lo desdobla a glúcidos simples como glucosa.
- Metabolismo de Lípido: convierte las proteínas y glúcidos en grasas, fabrica lípidos de membrana, prepara los ácidos grasos para su oxidación e

interconvierte a casi todos los lípidos entre sí.

- **Metabolismo Proteico:** desamina aminoácidos, saca nitrógeno de los líquidos corporales mediante la formación de urea, fabrica las proteínas del plasma e interconvierte aminoácidos en otros compuestos.
- **Metabolismo Vitamínico:** almacena vitaminas A, D y B12.
- **Metabolismo Mineral:** almacena hierro bajo la forma de ferritina.

Sistema Respiratorio

El hombre es un ser vivo de respiración aerobia, es decir que para aprovechar la energía requiere un continuo aporte de oxígeno para sus células. Este oxígeno intervendrá en el paso final de la cadena respiratoria que ocurre en la membrana mitocondrial. Por otra parte el dióxido de carbono que se elimina es el producido durante el metabolismo celular (en la glicólisis y el ciclo de Krebs).

El oxígeno proviene del aire e ingresa al organismo a través de las vías respiratorias superiores, continúa por las vías inferiores y llega a los pulmones. Allí con una alta concentración de oxígeno se encuentra con sangre cargada de dióxido de carbono, que proviene del metabolismo de todas las células, donde por diferencia de concentración el oxígeno se difunde hacia los capilares y el dióxido de carbono se difundirá hacia la cavidad pulmonar.

El metabolismo aeróbico celular se garantiza en un proceso similar que

ocurre a nivel de todas las células del cuerpo, es decir difundiendo el oxígeno al interior y dióxido de carbono al exterior de ellas

Anatomía Funcional del Sistema Respiratorio

Consiste básicamente en un sistema de tubos con aire y dos pulmones. El sistema de tubos comienza en las **ventanas de la nariz** que comunican con la **cavidad nasal**. La cavidad nasal está revestida por un epitelio secretor de moco, el aire que ingresa a la cavidad lo hace con turbulencias y choca con la pared, de manera que las partículas quedan adheridas al moco de la mucosa. También se adhieren a los vellos que tapizan la entrada de la cavidad de manera que es filtrado de las mayores impurezas. El aire además de ser filtrado, es humidificado y calentado. En la cavidad nasal también se halla el **epitelio olfatorio**, con las células sensoriales olfativas (sistema nervioso). Por las cotanas internas el aire ingresa a la **faringe**, que es común al aparato digestivo, de manera que al deglutir la entrada al próximo tramo (la laringe) se oclitera con un repliegue, la **epiglotis**. Mientras no deglutimos, la epiglotis se encuentra levantada y permite el paso del aire. Estos movimientos son controlados por el sistema nervioso.

La **laringe** es un conducto sólo del sistema respiratorio y es muy corta. Allí residen repliegues pares de la pared laríngea que involucran al epitelio y musculatura estriada voluntaria, las cuerdas vocales. Los movimientos de las cuerdas vocales las tensan en mayor o menor grado y cierran más o menos la luz laríngea, de tal manera que al

pasar el aire originan sonidos más o menos agudos, y más o menos potentes. La laringe se mantiene sin colapsar debido a la presencia de cartílagos, que también son un importante apoyo para el trabajo de las cuerdas vocales.

La **tráquea** es un conducto revestido por epitelio secretor de moco y ciliado. El moco adhiere las partículas en suspensión del aire y los cilios barren este moco para ser eliminado o tragado. Su luz se mantiene gracias a la presencia de anillos de cartílago, con forma de herradura, que al unir sus extremos permiten algo de plasticidad pero evitan la obliteración de la luz. A nivel de la 3a. vértebra dorsal la tráquea se divide en dos conductos de menor calibre pero constitución similar: los bronquios.

El **árbol bronquial** está formado por las sucesivas ramificaciones de los bronquios, que al disminuir su calibre pasan a constituir bronquiolos, bronquiollillos, etc. Cuando los (ahora millones) de conductos tienen un calibre microscópico e ínfimo (de sólo unas pocas células) se transforman en conductos alveolares, cuyas paredes son los **sacos aéreos**. Cada saco aéreo es un pequeño grupo de **alvéolos pulmonares**. Cada alvéolo es una estructura en forma de copa formada por neumocitos (células del pulmón) en contacto con un tejido conectivo muy delgado que lleva finísimos capilares sanguíneos. El aparato circulatorio trae mediante la arteria pulmonar sangre carboxigenada (con alto tenor de CO₂) y esta arteria se ramifica innumerable cantidad de veces como los bronquios, de manera que el sistema circulatorio acompaña en sus ramificaciones al respiratorio.

La pared alveolar que posee **neumocitos** en contacto con el aire que ingresó por los tubos (tráquea, bronquios, bronquiolos, etc.), un delicado **conectivo** y las **células endoteliales** de los capilares sanguíneos, constituyen la única barrera que deben atravesar los gases para pasar de la sangre al aire y viceversa. Por ello se la denomina **membrana respiratoria**.

La membrana respiratoria: 1) difunde gases debido a su escaso espesor. 2) es húmeda, pues los gases para difundir lo hacen más rápidamente disolviéndose en el agua. 3) tiene una gran superficie, de aprox. 93 m² o ± 50 veces la superficie de la piel, ya que a mayor superficie el intercambio es mayor.

El conjunto de todos los sacos aéreos con sus alvéolos llenos de aire es lo que denominamos **pulmones**, y son los órganos donde radica justamente el intercambio gaseoso.

Pleuras

Las pleuras son delgadas y elásticas láminas de epitelio con un delgado conectivo que recubren a los pulmones y a la cavidad torácica donde se alojan. La interna, es la que recubre al pulmón y se denomina **pleura visceral**. La externa recubre a la cavidad que roza a los pulmones cuando estos se dilatan y es la **pleura parietal**. La cavidad que aloja a los pulmones, entonces, se encuentra entre ambas pleuras y se denomina **cavidad pleural**, y tiene presión interna. Esto se debe a que la cavidad torácica es cerrada al exterior.

Diafragma

Es un músculo estriado, grande, en forma de cúpula, que cierra por debajo la cavidad torácica y la separa de la abdominal.

Respiración Verdadera

Es el intercambio de gases que ocurre entre la atmósfera y las células (cada una de ellas) de un organismo. Ocurre con transporte de O₂ de la atmósfera a las células y de CO₂ de las células a la atmósfera. Esta respiración es directa y por ahora la dejaremos a un lado para estudiar la indirecta externa.

Respiración Indirecta

Unidad funcional: el alvéolo pulmonar.

Etapas: 1) Ventilación pulmonar: entrada y salida de aire desde la atmósfera hasta el saco aéreo.

2) Hematosis o intercambio de gases: difusión de O₂ y CO₂ desde el aire a la sangre.

3) Transporte de gases: realizado por la sangre y líquidos corporales. Se transportan los gases desde las células a la sangre y de la sangre a las células.

4) Regulación o control: se realiza por el sistema nervioso, que activa u omite activar ciertos músculos, respondiendo a estímulos que provienen de los receptores.

La ventilación y la hematosis requieren un bombeo constante de aire por el tórax, el abdomen y el pulmón.

Mecánica Respiratoria

Pulmones: se dilatan y se contraen por:

1) el diafragma, principalmente. El movimiento es en sentido longitudinal, es decir, se alarga o acorta la cavidad torácica y los pulmones.

2) las costillas. Se elevan o deprimen y amplían la capacidad de la caja en sentido anteroposterior.

Inspiración

La inspiración es un proceso ACTIVO, que requiere energía para contraer juegos musculares que amplían la capacidad de la caja torácica y, por lo tanto, permite la entrada de un volumen extra de aire atmosférico. En este proceso es fundamental la contracción del diafragma en forma de cúpula, que al contraerse se aplana y tira de las pleuras hacia abajo, disminuyendo la presión intratorácica. También intervienen: los intercostales externos, pectorales mayor y menor, trapecio y serratos anteriores esternocleidomastoideos, escalenos, etc.

Espiración

La espiración se diferencia de la inspiración porque es un proceso fundamentalmente PASIVO. Se basa en la relajación de los músculos que intervienen en la inspiración, aunque algunos juegos musculares se contraen para ayudar a la expulsión del aire.

Mientras se espira el diafragma se relaja y al adoptar la forma de cúpula empuja los pulmones hacia arriba. La caja se deprime (antero-posterior) por los músculos abdominales, principalmente rectos, oblicuos y transversos intercostales internos serratos postero-inferiores.

Las fibras elásticas del conectivo del pulmón, tórax y abdomen y el tono de los músculos abdominales ayudan

al empuje hacia arriba.

En una espiración forzada, se realiza un empuje adicional sobre el diafragma con las vísceras abdominales.

Presiones Respiratorias

La presión atmosférica es de 760 mmHg. La presión **intraalveolar** durante la inspiración es de -757 mmHg, y en un esfuerzo inspiratorio es de -680 mmHg. Durante la espiración la presión intraalveolar alcanza los 763 mmHg, y en un esfuerzo espiratorio llega a 860 mmHg.

En el **líquido intrapleural**, que actúa como una bomba aspirante que absorbe líquidos y gases la presión fluctúa entre -10 y -15 mmHg. Esta presión siempre negativa es la que mantiene a los pulmones siempre pegados a la pared torácica y por ello se dilatan cuando se amplía la capacidad de la caja. De no ser así, los pulmones tenderían al colapso, por:

- * ser elásticos, pues contienen abundantes fibras elásticas
- * la existencia de una gran tensión superficial, ya que los alvéolos son muy pequeños y húmedos.

La presión en el **espacio intrapleural** es de -4 mmHg. El pulmón, puede dilatarse por esta presión negativa, pero una vez distendido puede continuar sin dilatación en una inspiración forzada pues la presión en el líquido intrapleural es aún menor (-15).

La sustancia surfactante

Los alvéolos tienden al colapso, pero en la superficie interna existe una sustancia producida por un tipo

particular de neumocitos (n. granulares) que se denomina sustancia **surfactante** que evita el colapso. Está compuesto por un fosfolípido (dipalmitil-lecitina) y un proteoglucano. Químicamente es un tensioactivo que baja la tensión superficial como lo haría un detergente, de manera que los alvéolos se pueden mantener inflados como pequeñas burbujas. Al nacer, el surfactante es de suma importancia para abrir por primera vez las cavidades alveolares.

Volúmenes Pulmonares

1) Vol. de Ventilación Pulmonar (VVP). Es igual al aire inspirado o espirado en cada respiración normal = 0,5 litros.

2) Vol. de Reserva Inspiratorio (VRI). Es el volumen de aire extra que **puede ser** inspirado por sobre el VVP. Es igual a 3,3 litros.

3) Vol. de Reserva Espiratorio (VRE). Es el volumen de aire que **puede ser** eliminado en una espiración forzada, luego de una espiración normal, y es igual a 1,0 litro.

4) Vol. Residual (VR). Es el volumen de aire remanente en los pulmones luego de una espiración forzada. Es igual a 1,2 litros y es importante para no vaciar totalmente al pulmón (colapso) y para que la presión de O₂ no caiga demasiado y la de CO₂ no aumente demasiado entre respiraciones sucesivas.

Capacidades Pulmonares

1) Capacidad Inspiratoria (CI)

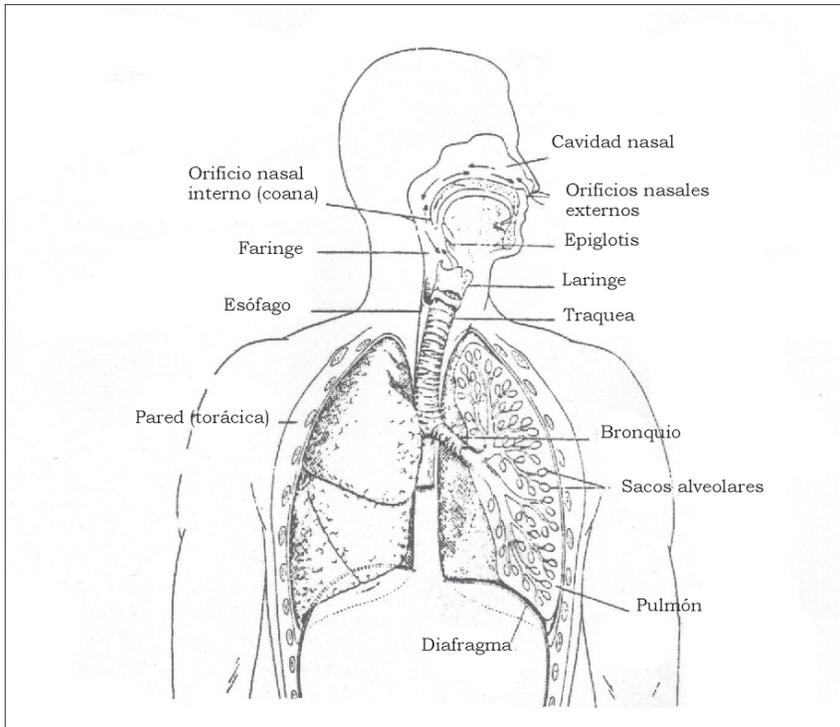


Fig.5.5. Esquema del sistema respiratorio y sus componentes.

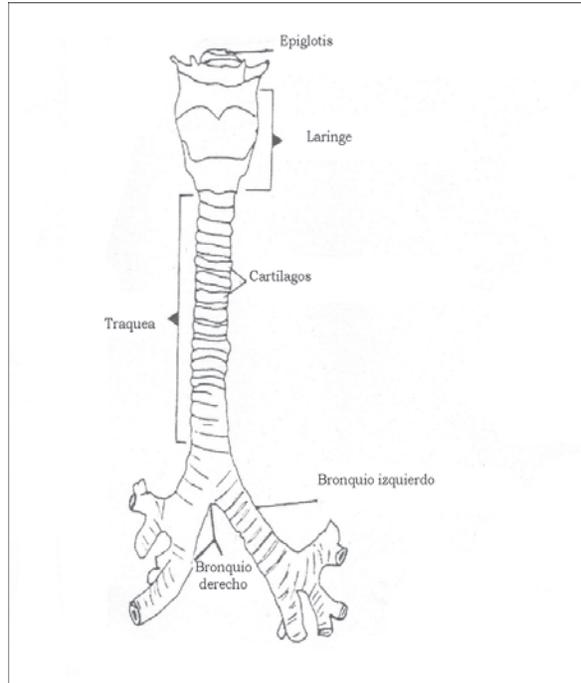


Fig.5.6. Laringe, su continuación con la tráquea y posterior bifurcación en los bronquios.

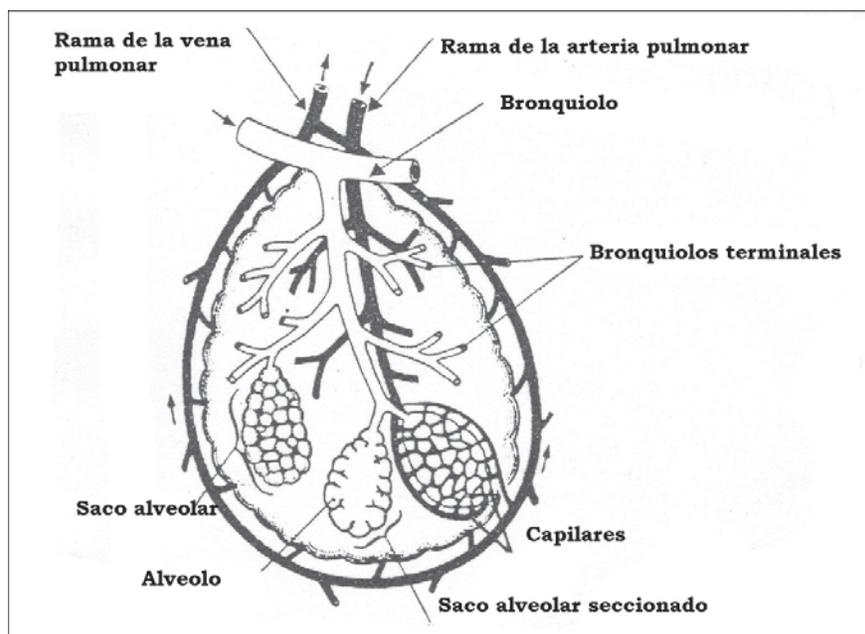


Fig.5. 7. Lobulillo pulmonar

= VVP + VRI = 3,8 litros.

2) Capacidad Residual (CR) = VR + VRI = 2,2 litros.

3) Capacidad Vital (CV) = VVP + VRI + VRE = 4,8 litros.

4) Capacidad Pulmonar Total = se obtiene sumando todos los volúmenes, y fisiológicamente se obtiene con el esfuerzo inspiratorio máximo = 6,0 litros.

Las capacidades y volúmenes pulmonares varían de individuo a individuo. Las mujeres tienen valores 20-25% más bajos que los varones. En general son valores menores cuando la persona reposa y mayores cuando se encuentra de pie. La capacidad vital es mayor en los atletas (30% más) y se ve afectada por la adaptabilidad o distensibilidad torácica. También se ve afectada (disminuida) por la congestión pulmonar como ocurre en la bronquitis crónica o la insuficiencia cardíaca izquierda.

Espacio Muerto

Es el espacio donde el aire circula por el árbol respiratorio pero sin intervenir en la hematosis o intercambio gaseoso.

Regulación de la Respiración

La regulación está a cargo del sistema autónomo con sus dos divisiones.

SIMPÁTICO: provoca broncodilatación, disminuyendo la resistencia al paso del aire actuando sobre la musculatura lisa de los bronquiolos. También disminuye las secreciones bronquiales.

PARASIMPÁTICO: provoca broncoconstricción, aumentando la resistencia al paso del aire y aumentando las secreciones bronquiales. También provoca la liberación de Histamina por parte de los mastocitos, provocando broncoconstricción.

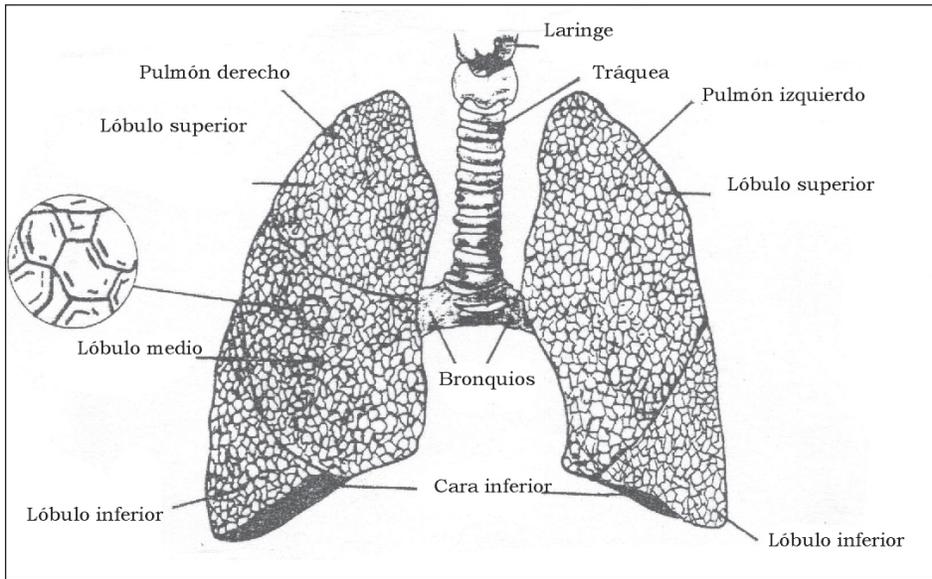


Fig.5.8. Representación esquemática de los pulmones.

Pulmones

Los pulmones actúan como:

- 1) reservorio de sangre de 3er orden, pues poseen innumerables vasos sanguíneos que contienen en total un gran volumen de sangre.
- 2) filtros de la sangre misma, pues los neumocitos fagocíticos atrapan sustancias extrañas en circulación.
- 3) absorción, a nivel alveolar. Actúan

como bombas aspirantes, que absorben todo. Si se inyecta agua en la tráquea desaparece aspirada en los alvéolos en minutos.

- 4) reguladores de la presión arterial. Pueden pasar la Angiotensina I a Angiotensina II.

Hematosis

Es el intercambio de gases entre el aire alveolar y la sangre capilar de-

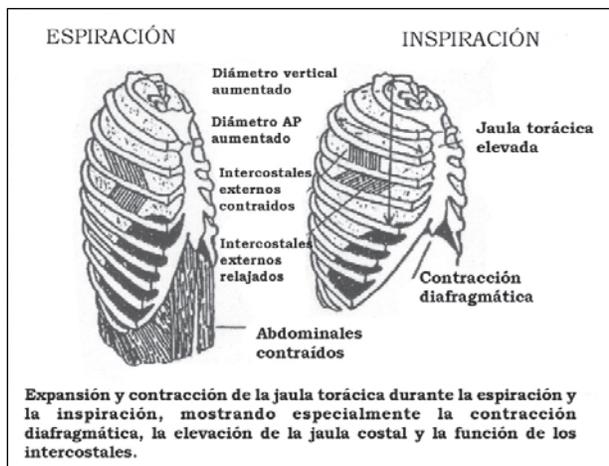


Fig.5.9. Mecanismos respiratorios de inspiración y espiración.

bido a la existencia de gradientes de presión de los gases a ambos lados de la membrana respiratoria.

En el aire alveolar la presión de los gases es:

O₂ ----- 100 mmHg
 CO₂ ----- 40 mmHg

En la sangre capilar, a nivel de los pulmones:

O₂ ----- 40 mmHg
 CO₂ ----- 45 mmHg

Por este juego de presiones el O₂ del aire tiende a pasar a la sangre, y el CO₂ a salir de la sangre al aire alveolar.

Cuando la sangre oxigenada (arterial) llega a los tejidos tiene presiones iguales a las del aire atmosférico,

O₂ ----- 100 mmHg
 CO₂ ----- 40 mmHg

pero se encuentra con la presión de los gases en el intersticio de estos tejidos donde las células están respirando (consumiendo O₂ y liberando CO₂) que es igual a la de la sangre carboxigenada que llega al pulmón.

O₂ ----- 40 mmHg
 CO₂ ----- 45 mmHg.

Transporte de Gases Respiratorios

El O₂ se transporta como oxi-hemoglobina en sangre. La **sangre arterial** contiene un 95% de oxi-hemoglobina y solamente un 5% de hemoglobina (sin oxígeno en transporte). La **sangre venosa** contiene un 65% solamente. El O₂ se lleva en disolución también, pero en un % muy bajo.

El Co₂ se transporta un 5% en disolución, un 20%-30% como

carbamino-proteína, es decir, como proteínas que lo llevan unido. Las proteínas carbaminadas son la misma hemoglobina y las proteínas plasmáticas en general.

Un 75% se transporta como CO₃H₂ y CO₃H⁼, de esta manera es uno de los principales responsables del mantenimiento del equilibrio ácido-base de la sangre.

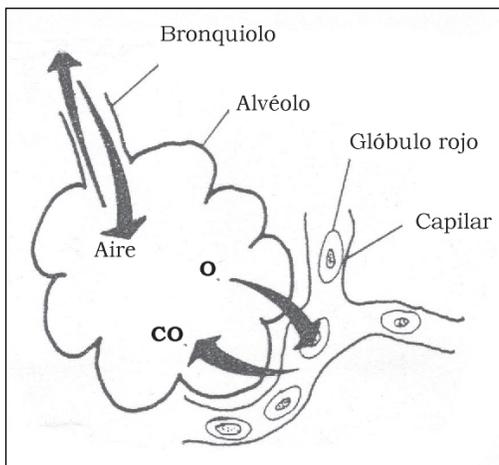


Fig.5.10. Proceso de hematosis

Sistema Circulatorio

En el ser humano, como en todo organismo multicelular, todas las células del cuerpo se deben abastecer de oxígeno y de los demás nutrientes de modo que todas puedan desempeñar sus funciones. El oxígeno ingresa únicamente por las vías respiratorias; los nutrientes, absorbidos por el intestino delgado y los desechos celulares llegan a los riñones para realizar el proceso de filtración. Como se puede apreciar, los nutrientes y el oxígeno deben «recorrer» grandes distancias para llegar a los diferentes tejidos; ese transporte

se debe realizar a cierta velocidad de modo que se puedan abastecer de manera continua las necesidades de las células. Igual ocurre con las sustancias de desechos.

Esta situación hace indispensable que exista un sistema de transporte, que distribuya lo que ingresa y recoja los desechos por todas las células de todos los tejidos del organismo. Este sistema de transporte es el sistema circulatorio formado por un conjunto de vasos (arterias venas y capilares) el corazón y dentro de los cuales se mueve o circula un líquido denominado sangre.

El corazón. Generalidades

El corazón es una bomba pulsátil de cuatro cavidades, dos aurículas y dos ventrículos. La función de las aurículas es la de permitir la entrada de sangre a los ventrículos impulsándola débilmente hacia éstos. Los ventrículos son los que impulsan la sangre a los pulmones y todo el sistema circulatorio periférico.

Por lo tanto podemos decir que el corazón tiene como función mantener la circulación de la sangre de forma que siempre haya una adecuada cantidad de ella y suficiente presión de contacto con los tejidos.

La eficiencia del corazón como bomba, depende de que los procesos de excitación y contracción procedan ordenada y coordinadamente desde las aurículas a los ventrículos.

Estructura del corazón

El corazón tiene características estructurales importantes, que es ne-

cesario recordar para comprender muchos aspectos de su funcionamiento.

El corazón está formado por tres tipos principales de músculo: auricular, ventricular y fibras especializadas de excitación y conducción.

La musculatura auricular es delgada, translúcida y compuesta por dos capas orientadas en ángulo recto una respecto a la otra.

Los músculos ventriculares son más gruesos y opacos y están formados por cuatro tipo de fibras: sinoespinal, bulboespinal, superficiales y profundos.

Sus paredes además de la estriación longitudinal, tienen una estriación transversal y difieren de cualquier otra fibra desde el punto de vista funcional.

Las fibras son cilíndricas con un núcleo central, con ramificaciones que se anastomosan con prolongaciones similares de otras fibras contiguas; es decir una especie de sincitio desde el punto de vista funcional. Las membranas celulares que separan unas de otras las células cardíacas, reciben el nombre de discos intercalares.

Además de las fibras musculares contráctiles el corazón presenta un sistema especial de excitación y conducción constituido por nódulos y fibras particulares con propiedades especiales.

Sólo se contraen débilmente ya que contienen muy pocas fibras contráctiles, por el contrario brindan un

sistema excitatorio y de transmisión perfecto para la rápida conducción de los impulsos.

Además de las cuatro cavidades el corazón posee válvulas. Dos de ellas las aurículoventriculares que comunican la aurícula derecha con el ventrículo derecho y la izquierda que comunica la aurícula izquierda con el ventrículo izquierdo. Las otras dos válvulas, llamadas semilunares comunican el interior de los ventrículos con las arterias aorta y pulmonar

Propiedades de las fibras cardíacas

a) **Automatismo:** no necesita de un estímulo externo para contraerse.

b) **Conductibilidad:** el proceso de activación o estímulo es capaz de propagarse a toda la musculatura cardíaca.

c) **Excitabilidad:** significa que la fibra muscular es capaz de responder a influencias externas de variado tipo, con la provocación de su contracción. Los agentes externos pueden ser: mecánicos, eléctricos, térmicos, químicos, etc.

d) **Contractilidad:** es la capacidad del corazón de responder, contrayéndose, a los estímulos intrínsecos y extrínsecos.

e) **Tono cardíaco:** equivale a la eficiencia mecánica del músculo cardíaco. Un corazón con buen tono es el que distendiéndose más admite mayor volumen.

Síntesis del ciclo cardíaco

1°. Diástole; se cierran las válvulas semilunares. El corazón está relaja-

do. Las aurículas succionan sangre de las venas, la cual llega a las aurículas y pasa a los ventrículos.

2°. **Sístole auricular;** las válvulas semilunares cerradas y se abren las aurículoventriculares. Las aurículas se contraen ejerciendo presión sobre la sangre que pasa completamente a los ventrículos y se interrumpe la entrada de sangre a las aurículas.

3°. **Sístole ventricular;** se cierran las válvulas aurículoventriculares y las semilunares permanecen cerradas. Comienza la contracción de los ventrículos.

4°. **Sístole ventricular;** donde las válvulas semilunares se abren y las aurículoventriculares permanecen cerradas, en esta etapa se contraen al máximo los ventrículos, impulsando la sangre hacia las arterias.

Excitación rítmica y regulación de la actividad mecánica del corazón

El corazón puede adaptarse a las amplias variaciones de retorno venoso gracias a tres mecanismos principales de autorregulación.

- **Autorregulación heterométrica:** Consiste en un aumento en la fuerza de contracción ventricular, con aumento automático del volumen sistólico, producido por la distensión del músculo cardíaco debido a una, mayor afluencia de sangre.
- **Autorregulación Hemométrica:** se relaciona con la elevación en la fuerza de contracción cardíaca sin aumento de longitud de la fibra, debido al incremento del metabolismo cardíaco consecutivo a la sobrecarga de trabajo.
- **Autorregulación intrínseca** de la

frecuencia cardíaca: el aumento en la distensión de la aurícula derecha incrementa la frecuencia cardíaca hasta un 10 ó 15%. Este fenómeno se debería al estiramiento irritativo de las fibras automáticas del nódulo sinusal.

- Regulación extrínseca: El sistema nervioso desempeña un importante papel en el funcionamiento cardíaco actuando como factor de coordinación o integración funcional. Gracias a él, el funcionamiento cardíaco se pone a tono con las necesidades del organismo, de acuerdo con las circunstancias. La inervación del corazón está a cargo del sistema nervioso autónomo.

Funcionalmente puede considerarse como un sistema cardiomodador o inhibidor, un sistema cardioacelerador y un sistema sensitivo.

El sistema nervioso influye en la función cardíaca de los diferentes elementos:

- a) Frecuencia cardíaca: El sistema ner-

vioso simpático (cardioacelerador) y el sistema nervioso parasimpático (cardiomodador), a través de la fibra simpática que termina en el nódulo auricular ventricular.

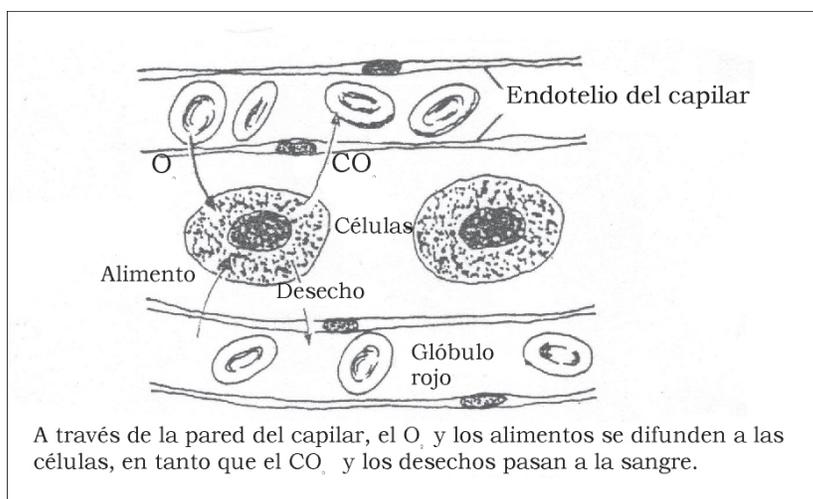
- b) Velocidad de conducción del estímulo.
- c) Contractilidad de la fibra cardíaca.
- d) Flujo coronario.

El sistema nervioso implicado en la regulación de la actividad cardíaca está compuesto por dos mecanismos: el nervioso central y el periférico. El primero tiene por función integrar lo que ocurre desde la médula hasta el encéfalo y el segundo regula la actividad involuntaria del órgano.

Sistema cardiomodador

El nervio vago es un nervio inhibidor de la actividad cardíaca. Pertenecce al sistema autónomo, y dentro de él, a la división parasimpática de los nervios craneales.

Las fibras del vago derecho se distribuyen en su mayoría en el nódulo sinoauricular y menos en el



A través de la pared del capilar, el O₂ y los alimentos se difunden a las células, en tanto que el CO₂ y los desechos pasan a la sangre.

Fig.5.11. Hematosis

nódulo aurículoventricular. Mientras que las fibras del vago izquierdo es a la inversa.

Los efectos producidos por el vago derecho son: disminución de la frecuencia cardíaca y si es muy intenso, el paro cardíaco total.

Los efectos producidos por el vago izquierdo: produce bloqueo aurículoventricular, menor conductibilidad y contractilidad.

El vago utiliza como intermediario químico la acetilcolina.

El sistema cardioacelerador

Estos nervios pertenecen a la división toracolumbar del sistema simpático.

La excitación directa produce aceleración de la frecuencia cardíaca (taquicardia); esto se produce a expensas del acortamiento de la diástole y por ende de la sístole.

La influencia aceleradora se denomina acción cronotrópica y el intermediario químico es la noradrenalina.

El sistema sensitivo

Esta sensibilidad particular se pone de manifiesto en alguna forma solamente en condiciones determinadas.

La alteración difusa o localizada de la irrigación cardíaca, se manifiesta asumiendo particular importancia, como dolor.

El individuo experimenta un

dolor intenso, opresivo, constrictivo en la región precordial medioesternal con irradiación al brazo izquierdo, en el cubital, hasta los dedos anular y meñique, acompañado de angustia, sensación inminente de muerte, sudor, etc.

Sangre. El componente líquido del sistema circulatorio

La sangre es una suspensión de células en un medio líquido denominado plasma, que circula por el interior de los vasos sanguíneos y cuyas funciones son imprescindibles para la vida del organismo.

Las propiedades funcionales son:

1. Transporte de gases. Es una función que cumple gracias a los glóbulos rojos, que contienen Hemoglobina (Hb). Entre otros gases el transporte de O₂ y CO₂ es muy importante. El O₂ es tomado por la sangre a su paso por los pulmones, es liberado en los tejidos de todo el cuerpo. El CO₂, producto final de las combustiones celulares (respiración celular) es tomado en todos los tejidos y es liberado en los pulmones, en un proceso continuo.

2. Transporte de nutrientes. Los alimentos digeridos proporcionan nutrientes que se absorben a nivel de intestino y pasan a la sangre. Ésta los transporta hacia toda la economía donde las células los emplean instantáneamente o los reservan.

3. Transporte de catabolitos. Todos los residuos que quedan como producto final de las reacciones celulares son transportados por la sangre hacia los órganos, conductos y tejidos que

pueden eliminarlos o modificarlos para su excreción; entre ellos, los riñones, vejiga, piel, pulmones.

4. Transporte de elementos de defensa. La sangre lleva elementos de defensa, como glóbulos blancos, anticuerpos, células plasmáticas, macrófagos, etc., que actúan contra agentes nocivos o extraños al organismo.

5. Transporte de hormonas, enzimas y otras sustancias. Estas sustancias son llevadas a toda la economía, en lo que se conoce como *mecanismo de comunicación humoral*.

6. Regulación térmica. Interviene en la regulación de la temperatura de 4 maneras: Por el alto contenido en agua, mantiene la temperatura adquirida durante lapsos prolongados, es decir, el alto calor específico del agua le provee esa propiedad. , Distribuye el calor por el organismo, debido a su circulación rápida, homogeneizando la temperatura aun en puntos distantes del cuerpo. *f* Ayuda a bajar la temperatura por irradiación, pues lleva el calor hacia las superficies que lo transmiten hacia el medio externo., Entrega agua para la evaporación a nivel de las superficies, lo que ayuda a la disminución de la temperatura corporal.

7. Regulación del equilibrio ácido-base. En la sangre existen sistemas "buffer" o, reguladores o tampones, que contribuyen a regular o amortiguar desequilibrios entre ácidos y bases en el organismo.

8. Regulación del equilibrio hídrico del organismo. El agua absorbida o producida por el organismo es constantemente vehiculizada entre los compartimientos líquidos, y la sangre, puede retener más o menos agua, y ayudar a eliminar los excesos en los órganos de excreción.

9. Regulación del equilibrio iónico. Mantiene el equilibrio entre ① cationes y aniones ② cationes monovalentes y bivalentes ③ entre electrolitos y proteínas.

Existen algunos valores importantes relacionados con este tejido:

Número de glóbulos rojos o eritrocitos: entre 4.800.000 a 5.400.000 por mm³

Número de Plaquetas: 200.000 y 300.000 por mm³

Hemodinamia

Los vasos sanguíneos forman un sistema cerrado de conductos que llevan la sangre del corazón a los tejidos y de éstos al corazón. Algo de líquido intersticial entra a los linfáticos y a través de estos vasos pasa al sistema vascular.

La sangre fluye por los vasos debido principalmente a la propulsión impartida por el bombeo cardíaco aunque en el caso de la circulación general, la retracción diastólica de las paredes arteriales, la compresión de las venas por los músculos esqueléticos durante el ejercicio y la presión negativa en el tórax durante la inspiración, también impulsan la sangre hacia delante.

La resistencia al flujo depende de la viscosidad de la sangre del diámetro de los vasos, en especial de las arteriolas.

El flujo es regulado por mecanismos químicos locales y nervios generales que dilatan y contraen los vasos.

Presión arterial

Se entiende por presión arterial sanguínea al empuje que ejerce la sangre sobre la pared de la arteria, la cual a su vez modifica su tensión de acuerdo con dicha presión, por lo que resulta equivalente a expresarla como tensión arterial.

La presión arterial se mide en mmHg. La presión arterial se traduce en el manómetro por la fuerza necesaria para elevar la columna de mercurio. Se denomina presión arterial sistémica a la correspondiente a la circulación mayor y presión arterial pulmonar a la del circuito menor.

Presión sistólica máxima

Se denomina así a la presión que se obtiene en la última parte de la sístole, y que, fundamentalmente, es determinada por el volumen sistólico ventricular izquierdo, por la velocidad

de expulsión y por la distensibilidad de las paredes aórticas.

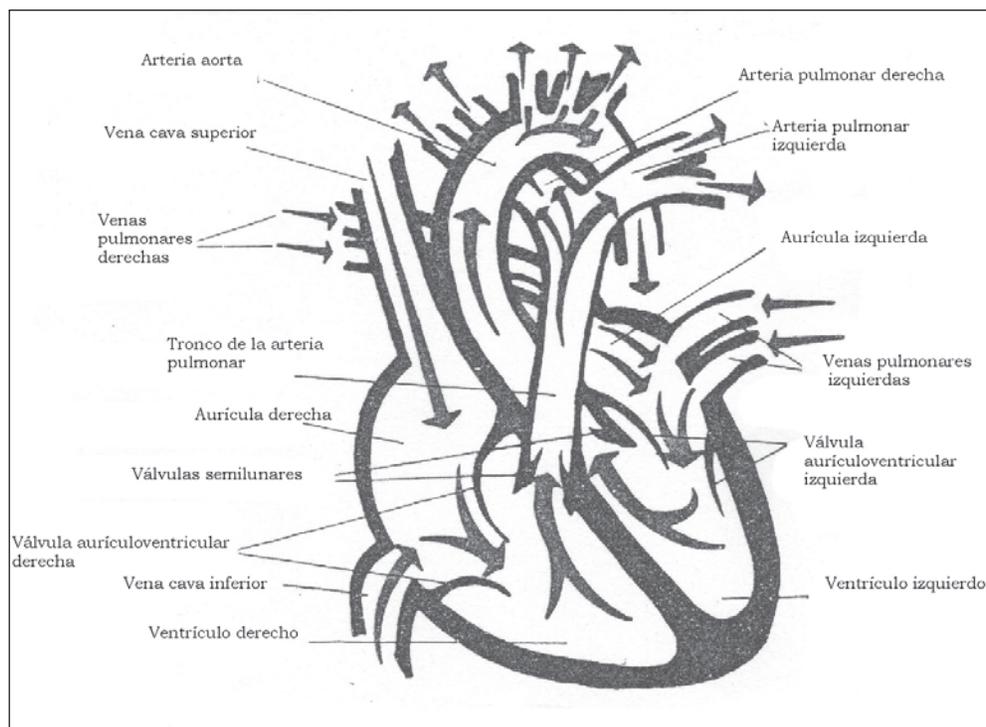
Su valor normal para un hombre joven y sano es de 120 mmHg, o como se conoce en forma corriente, de 12.

Presión arterial diastólica mínima

Se determina por la presión alcanzada durante la sístole, por la velocidad de flujo a través de la resistencia periférica y por la duración de la diástole. Se establece principalmente por relación periférica total y por la frecuencia cardíaca. En el adulto joven es de 80 mmHg o lo que es lo mismo 8.

Presión arterial diferencial

Es la diferencia entre la presión arterial sistólica y presión arterial diastólica.



Variaciones fisiológicas de la presión arterial

- Con la edad: * niños al año de edad, 96 mmHg de presión sistólica y 66 mm Hg de presión diastólica.
- niños de 6 años: 115 mmHg de p. sistólica y 55 de presión diastólica.
- 30 años de edad: 130 de presión sistólica y 80 mmHg de presión diastólica.
- Al cambiar la posición de cúbito-horizontal a posición de pie se reduce la presión sistólica y aumenta la presión diastólica.
- Durante el sueño disminuye hasta 20 mmHg. El ejercicio físico aumenta la presión, al igual que las personas obesas y procesos emocionales.

Arterias y arteriolas

Las paredes contienen una cantidad relativamente grande de tejido elástico. Ellas son distendidas durante la sístole y se retraen sobre la sangre durante la diástole.

Las paredes de las arteriolas contienen menos tejido elástico pero mucho más músculo liso. El músculo está innervado por fibras noradrenérgicas constrictoras y en algunos casos colinérgicas que dilatan a los vasos. Las arteriolas son el sitio principal que opone resistencia al flujo sanguíneo y pequeños cambios en su calibre causan grandes variaciones en la resistencia periférica total.

Capilares

Las arteriolas se dividen en vasos más pequeños de paredes musculares, algunas veces llamadas meta-arteriolas y éstas, a su vez, desembocan en capilares.

La luz de los capilares está rodeada en el lado proximal por diminutos

esfínteres pre-capilares de músculo liso; parece que estos esfínteres no son innervados. Cuando están dilatados, el diámetro de los capilares es justo para que pasen eritrocitos en una sola fila.

La estructura de las paredes vasculares varía de un órgano a otro. En muchos lechos vasculares, incluyendo el músculo esquelético, cardíaco y liso, las uniones entre las células endoteliales permiten el paso de moléculas hasta 10 nm; las proteínas y el plasma son captados por pinocitosis y descargados por exocitosis.

En la mayor parte de glándulas endócrinas, vellosidades intestinales y glomérulos renales, el citoplasma de las células endoteliales está atenuado formando soluciones de continuidad: fenestraciones o poros de 20 a 100 nm de diámetro. Éstos permiten el paso de grandes moléculas y hacen porosos los capilares

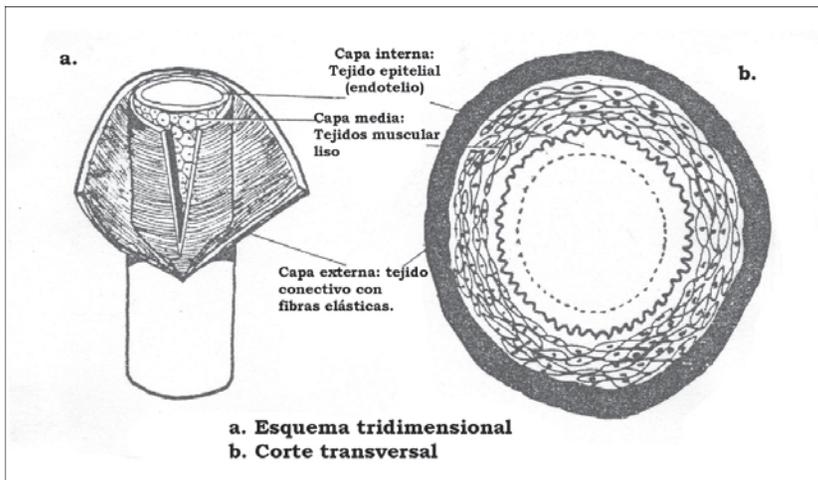
Vénulas y venas

Son ligeramente más gruesas que los capilares, las paredes son delgadas y se distienden fácilmente. Ellas tienen músculo liso relativamente escaso. Se produce venoconstricción por el estímulo de nervios noradrenérgicos y la íntima de las venas de miembros está plegada para formar válvulas que impiden el flujo retrógrado.

No existen válvulas en: venas muy pequeñas, venas del encéfalo y vísceras.

Pulso arterial

La sangre impulsada hacia la aorta mueve la sangre en los vasos hacia adelante y también establece una onda de presión que viaja por las arterias. La



5.13. Estructura interna de una arteria.

onda de presión expande las paredes arteriales al viajar y la expansión es palpable. Esto se denomina pulso.

El pulso es débil en el choque. El pulso es fuerte y el volumen del latido es grande después del ejercicio, o después de la administración de histamina.

Circulación capilar

Sólo el 5% de la sangre circulante se halla en los capilares pero es el más importante, porque es a través de las paredes de ellos que entra el O₂ y los nutrientes al líquido intersticial, y el CO₂ y los productos de desecho pasan a la sangre. El intercambio a través de las paredes capilares es esencial para la supervivencia de los tejidos.

Circulación venosa

La sangre fluye por las venas, principalmente debido a la acción bombeante del corazón, aunque también el flujo venoso es ayudado por el latido cardíaco, el incremento en la presión intratorácica negativa durante cada inspiración y las contracciones de los músculos esqueléticos que comprimen

las venas (bomba muscular).

Sistema Excretor

Es el principal responsable del mantenimiento y composición de los líquidos del organismo, especialmente el extracelular. Cumple con esta función a través de la formación de la orina, a través de la cual elimina productos resultantes del metabolismo celular que resultan tóxicos para la célula. Con ello colabora en conservar la homeostasis del organismo. El órgano más importante en la constancia del medio interno es el riñón.

Las funciones se pueden sintetizar de la siguiente forma:

- 1) **Excretora:** desechos nitrogenados del metabolismo, fármacos u otras sustancias ajenas al organismo.
- 2) **Regula:** volemia, equilibrio hídrico, equilibrio osmótico, balance iónico del plasma, equilibrio ácido base, presión arterial.
- 3) **Endócrinas:** eritropoyetina y renina.

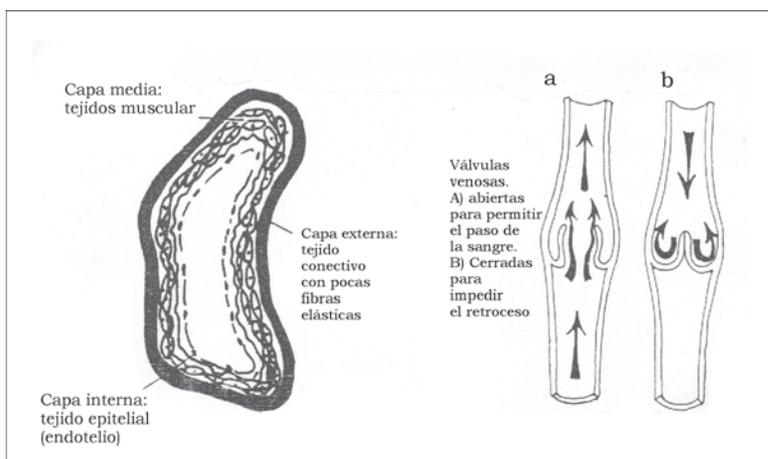


Fig.5.14. Estructura interna de una vena.

Estructura General

Conforman el sistema excretor de los **riñones**, lugar donde se produce la **ORINA**. A medida que ésta se va formando pasa a través del tubo colector a la pelvis renal. De allí mediante movimientos peristálticos de las

paredes musculares de los **uréteres** es transportada a la **vejiga** donde se almacena. Las paredes elásticas de la misma permiten ir estirándose a medida que se va llenando; tiene una capacidad de 800 ml. La salida de la orina es periódica a través de **la uretra**, la cual es un conducto largo en el hombre y que recorre el pene.

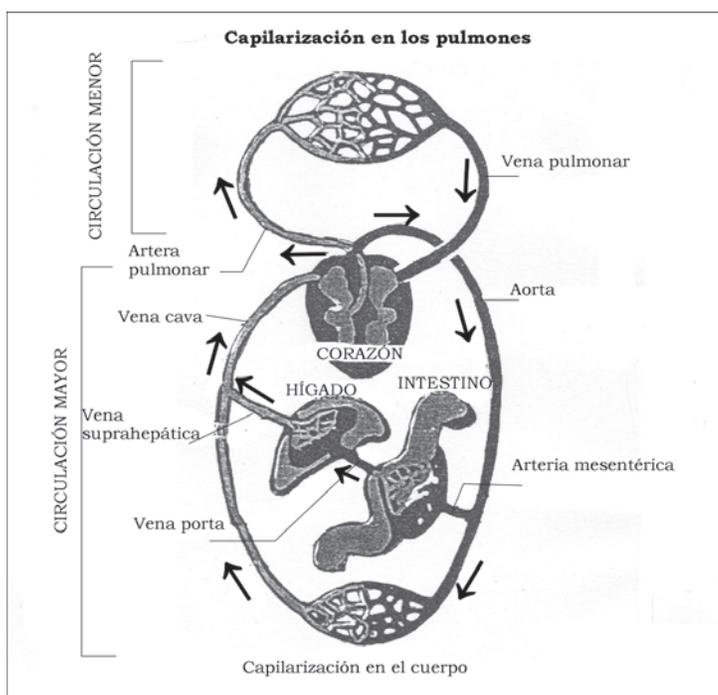


Fig.5.15 Esquema de la circulación general.

En la mujer es exclusivamente excretora y se abre al exterior mediante el orificio situado delante del orificio vaginal.

Cuando la orina llena la vejiga, la distensión de sus paredes musculares estimula ciertas terminaciones nerviosas que envían impulsos al cerebro, como resultado llegan impulsos desde el cerebro a la vejiga para provocar la micción.

El control de la vejiga depende de la capacidad aprendida de facilitar o inhibir la acción refleja de provocar la micción.

Se puede decir que la micción es producto de la combinación de la actividad nerviosa voluntaria e involuntaria. Involuntaria, la contracción de musculatura y relajación de esfínter interno. Voluntaria, la relajación de esfínter externo, lo cual permite la salida de la orina al exterior.

La **neurona** es la unidad funcional del riñón, los cuales regulan la composición de la sangre y excreta los desechos de esta. Una nefrona consta de un corpúsculo renal y un túbulo renal.

El corpúsculo tiene la **cápsula de Bowman** y un ovillo esférico de capilares sanguíneos, la pared interna de la cápsula tiene **células epiteliales o podocitos** que presentan protuberancias largas que recubren la superficie de los capilares. Los espacios que existen entre estas prolongaciones se llaman **poros en hendidura**.

El túbulo renal consta de 3 regiones, el túbulo contorneado **proximal**, **hasa de Henle** y el **túbulo contorneado**

distal. Cada túbulo distal envía su contenido a un conducto colector.

La Orina: características físicas y químicas

La orina es un líquido formado por aproximadamente un 90% de agua, sales minerales y moléculas orgánicas.

Volumen

Un adulto normal elimina en 24 hs. un promedio de 1400 ml., los niños varían entre un promedio de 450 ml. Los de 1 año hasta 1100-1200 ml.

Color

Es amarillo, de tonalidad variable entre ambariano y amarillo oro. El color se debe a la presencia de pigmentos, urocromo, urocritina y hemetoporfirina. A mayor volumen eliminado el color es más claro.

Olor

Es característico y puede variar en diversas circunstancias, según haya permanecido largo tiempo estacionada, con infecciones urinarias, ingestión de espárragos o aceites esenciales.

Aspecto

En general, la orina de micción reciente es límpida y transparente; al poco tiempo de estar estacionada aparecen enturbiamientos que originan un sedimento más o menos abundante, provocado por mucus, células epiteliales, leucocitos, etc.

En orinas alcalinas hay un sedimento blanco-PO4. En orinas ácidas pueden ser amarillo o rosado-uroeritina. La orina purulenta y con sedimento gelatinoso y blanco es por acción

bacteriana. La presencia de glóbulos y grasa produce las orinas quilúricas que ofrecen un aspecto lechoso y se observa en algunas parasitosis.

Densidad

De 1015 a 1025.

Puede aumentar por: 1) ingesta reducida de líquidos. 2) hipercatabolismo proteica. 3) diabetes mellitus. 4) nefritis parenquimatosa.

Puede disminuir por:

- 1) ingesta abundante de agua.
- 2) diuresis.
- 3) diabetes insípida.
- 4) nefritis crónica.

PH

La orina elimina ácidos en una acidosis y elimina bases en una alcalosis. Esto se puede observar con el PH. La orina de 24 hs. tiene un PH ENTRE 5 y 7,5.

Valores normales de iones y moléculas orgánicas

FÓSFORO 1g / 24 hs
MAGNESIO 150 a 200 mg / 24 hs
SODIO Y POTASIO 60 a 80 m eq / lts
CALCIO 150 a 200 mg / 24 hs
UREA 25 a 35 grs. / 24 hs
ÁC. ÚRICO 600 a 900 mg / 24 hs
CREATININA 1-2 gs / 24 hs
PROTEÍNAS 40 a 80 mg / 24hs
GLUCOSA 10 y 150 mg / 24 hs
PIGMENTOS BILIARES (no se detectan en casos normales, sí en Hepatitis e ictericias obstructivas)
CUERPOS CETÓNICOS (ácido acético, beta hidroxibutírico, y la acetona) 25 a 35 mg / 24hs expresados como acetona.

Formación de la orina

La orina se forma por la combinación de tres procesos, **filtración, resorción y secreción celular.**

La **filtración** se realiza en el punto de contacto entre los capilares glomerulares y la pared de la cápsula de Bowman - fig 3. La sangre es enviada hacia los riñones por las arterias renales, cuyas ramificaciones dan origen a las arteriolas aferentes. En el riñón una arteriola aferente lleva la sangre hacia los capilares glomerulares. Luego una arteriola eferente hace abandonar la sangre. La contricción de la arteriola eferente genera una alta presión hidrostática en el interior del glomérulo, lo que fuerza la salida de líquido desde los capilares hacia el túbulo urinario, lo cual ocurre por los poros en hendidura; ese líquido se llama **filtrado glomerular**. La inervación arteriolar está dada por el simpático: VFG disminuye.

La cantidad de líquido que entra a la cápsula de Bowman depende de la presión eficaz de filtración, combinación de fuerzas mecánicas y osmóticas.

La fuerza promotora de la filtración es la presión hidrostática de la sangre dentro del glomérulo.

La fuerza de resistencia es el resultado de la resistencia de la pared capilar y la pared de la cápsula de Bowman, la presión hidrostática del líquido de la luz de la cápsula de Bowman y por último la diferencia de la presión osmótica entre la sangre y el filtrado.

La filtración no determina la

composición de la orina o lo realiza en escasa medida; es agua y electrolitos filtrados a partir del plasma, sin proteínas grandes ni elementos figurados. PM inferiores a 70000 pasan (seroglobina, albúmina, hemoglobina).

La velocidad normal de filtración es de 180 lts por 24 hs.

La **resorción**: La amenaza para la homeostasia interna, representada por las inmensas cantidades de líquidos filtrados por los riñones, se evita gracias a este proceso.

Más del 90% del filtrado es resorbido por la sangre, de modo que sólo 1,5 lts son conducidos en orina.

Además permite la regulación de las características químicas de la sangre por los riñones. En esos órganos, sustancias como glucosa y aminoácidos regresan a la sangre, y los desechos permanecen en el filtrado y son excretados junto con la orina.

Cada día los túbulos resorben 178 lts de agua, 1200 grs de sal, 250 grs de glucosa.

Las células epiteliales que recubren el túbulo proximal renal están adaptadas para la resorción. Tiene muchísimas velocidades, (borde en cepillo), gran cantidad de mitocondrias. El 65% del filtrado se resorbe al pasar a lo largo del tubo contorneado proximal (se resorbe glucosa, aminoácidos, vitaminas y otras sustancias de valor nutricional), iones de sodio, cloruro, bicarbonato y el tubo contorneado distal (células cilíndricas con pocas vellosidades). Luego lo que resta del

filtrado es concentrado aún más en el conducto colector que va hacia la pelvis renal.

El 99% de la resorción del sodio está regulada por la aldosterona (hormona de la corteza glomerular de la gl. Suprarrenal)

Algunos iones son excretados en forma activa y otros por difusión. Son parcialmente resorbidas: CO_3H , PO_4 , SO_4 , NO_3 de manera activa por el túbulo proximal, la urea en forma pasiva. Otras moléculas como glucosa, proteínas y vitaminas en forma activa por los túbulos proximales. Cuando las concentraciones son iguales que en el plasma no ocurre resorción.

El agua puede ser resorbida en dos diferentes condiciones, absorción obligada, lo realiza el túbulo contorneado proximal por difusión, depende de la presión osmótica entre el endo y peritúbulo. La absorción facultativa, regulada por la hormona antidiurética en los túbulos distales y colectores. La HAD es liberada por la neurohipófisis y producida por los núcleos paraventriculares del hipotálamo. (Ver Sistema Endócrino).

Cuando algún compuesto rebasa el umbral renal en el plasma, la porción no resorbida se excreta. Por ej., personas con diabetes sacarina, umbral de 150 mg / 100 ml y pasa glucosa a la sangre.

La **secreción**: Sustancias como el potasio, el hidrógeno y amoníaco en sus formas iónicas son secretadas por la sangre hacia el filtrado glomerular. Ocurre sobre todo en el túbulo contorneado distal.

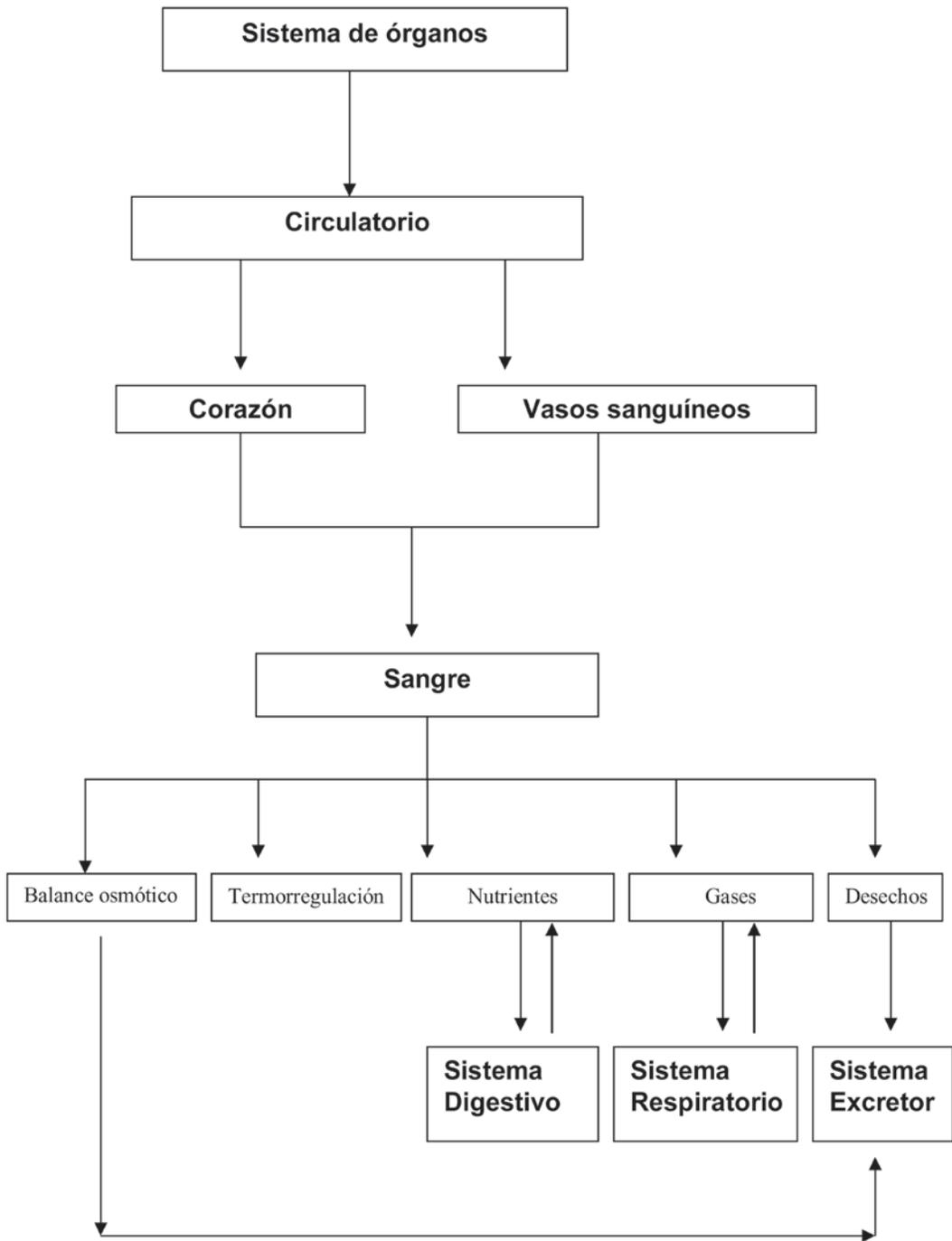


Fig. 5. 15 Esquema integrador de órganos

La secreción de H^+ es importante para la regulación del PH sanguíneo. Este ión es secretado en forma activa por el t. proximal y pasivamente por el distal.

El K^+ es bombeado hacia el túbulo distal y el Na^+ resorbido (gradiente eléctrico). El exceso de K^+ positivo generaría paros cardíacos y aumento de la frecuencia cardíaca.

Además en la regulación de la secreción del potasio interviene la aldosterona en sangre (ver Sistema endócrino).

Los iones de calcio y magnesio pueden llegar a secretarse regulados por la paratohormona, si no son resorbidos activamente por los túbulos proximales y distales.

In intercambio de contracorriente

El intercambio a contracorriente determina la producción de un líquido intersticial muy hipertónico cerca de la pelvis renal, lo que arrastra agua, por

ósmosis, desde el filtrado que se localiza dentro de los conductos colectores.

La salida de agua a través de los conductos colectores concentra la orina en tal grado que ésta se vuelve hipertónica. Una orina hipertónica posee baja concentración de agua, lo que permite al organismo conservar ese líquido vital.

En definitiva, con este mecanismo se pueden enfrentar cambios en la osmolaridad del individuo: el riñón concentra o diluye la orina. Le corresponde a las Hasas de .

Sistema Nervioso

En los organismos multicelulares la integración de las funciones y la coordinación constituyen la clave para un funcionamiento ordenado y eficiente. Este rol lo cumplen los sistemas nervioso y endócrino. Estos sistemas poseen la capacidad de conectar las diferentes partes del cuerpo integrando las funciones, lo cual combina con la especial capacidad de percibir los cambios del medio, tanto interno como externo del organismo. Toda la información es re-

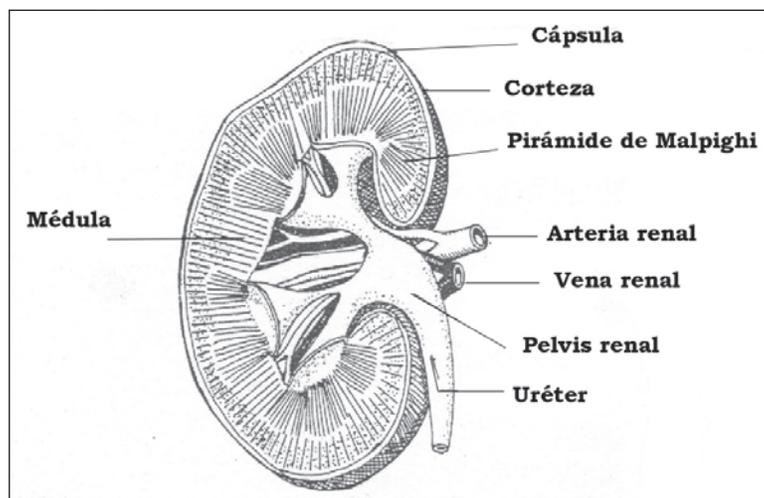
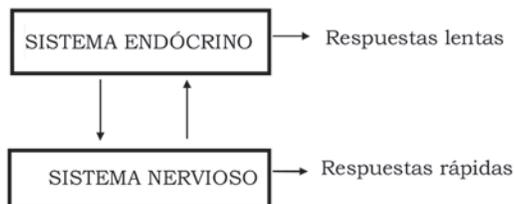


Fig.5.16. Estructura del riñón en corte longitudinal.

cibida, procesada y luego transmitida a los diferentes órganos para que genere la respuesta necesaria y así conseguir acomodarse a los cambios.



El objetivo de sus actividades será siempre mantener el equilibrio del medio interno, es decir, la homeostasis, y el de regular sus relaciones con el medio externo.

La unidad estructural es la neurona, la unidad funcional es el arco reflejo y la interconexión neuronal (sinapsis) es la base de su complejidad.

Generalidades

El Sistema Nervioso (SN) está compuesto por células especializadas denominadas neuronas. Estas células se especializan en:

- irritabilidad
- conductibilidad

El Sistema Nervioso realiza la comunicación entre diferentes porciones del organismo y provee respuestas ante cambios en el medio interno y en el medio externo.

Las neuronas se organizan de modo que una se comunica con la otra sucesivamente. Los cambios o **estímulos** provocan ondas (modificaciones) de tipo electroquímico que se propagan, y se denominan **impulsos nerviosos**. Ese impulso nervioso es transmisible de una a otra en la cadena.

Estructura de la neurona

La neurona posee un cuerpo o soma, del cual surgen un axón o cilindroje y una o varias dendritas. El axón

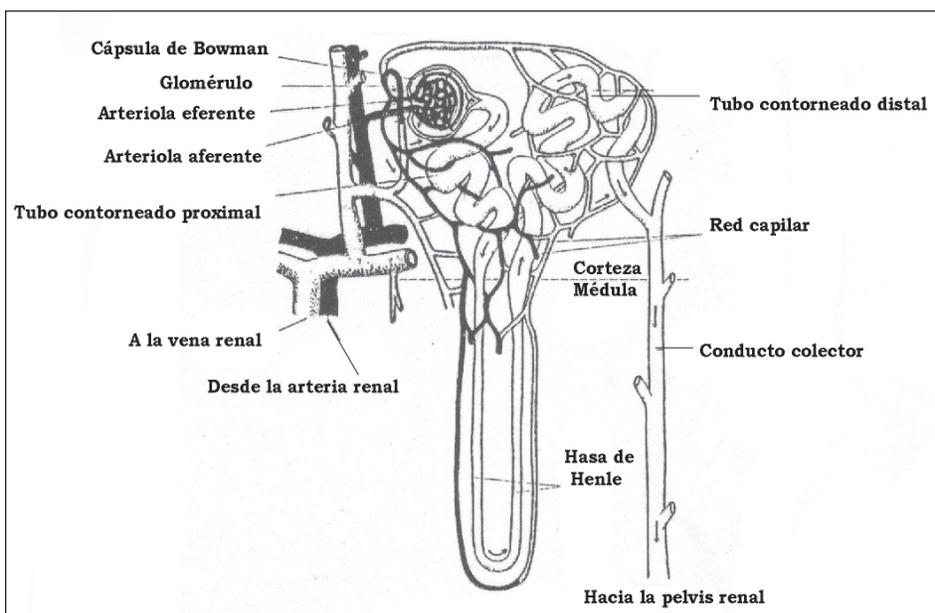


Fig.5.17. Representación de la unidad funcional del riñón: la nefrona

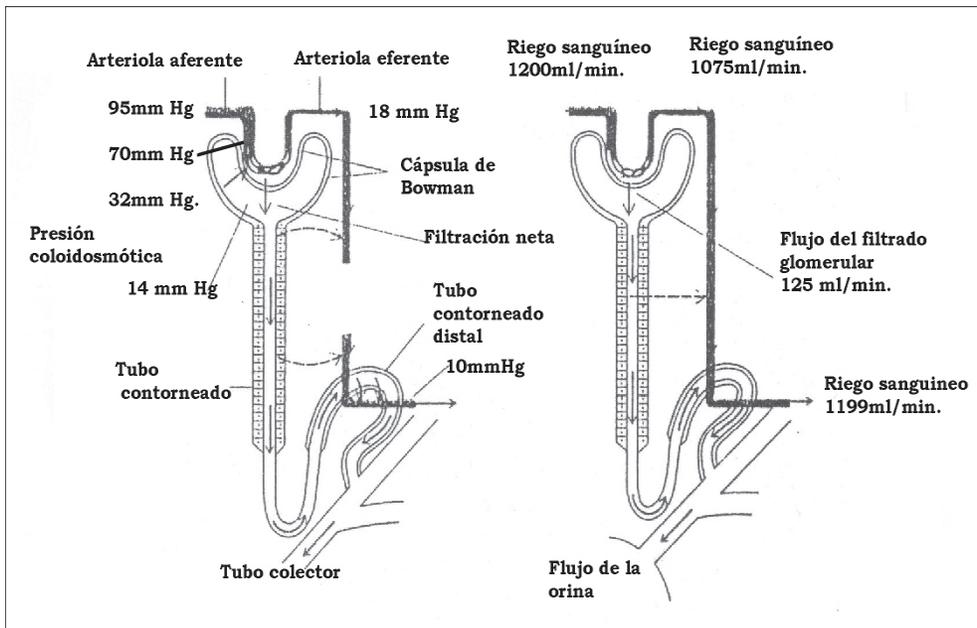


Fig.5.20. Mecanismo de formación de la orina: a) filtración, b) resorción y c) secreción.

es una prolongación larga y única en la que el sentido del impulso es siempre centrífuga o eferente; es decir, el impulso siempre proviene del soma y corre por el axón saliendo hacia afuera (centrífuga), o lo que es lo mismo, hacia otra neurona. En la sustancia blanca los axones se rodean de mielina, una sustancia aislante que proviene de las membranas de un tipo de células denominadas cél. de Schwann. La mielina agiliza la conducción del impulso nervioso. Los axones pueden ser no ramificados o presentar ramificaciones denominadas colaterales.

Las dendritas son prolongaciones generalmente muy ramificadas (arboriformes) que constituyen la vía centrípeta (hacia el soma) o aferente de transmisión del impulso nervioso. Generalmente hay muchas por neurona.

Las neuronas son células al-

tamente especializadas con un ciclo celular limitado, es decir, permanecen en un estado de interfase continuo, lo que significa que nunca se dividen. Esto implica que cualquier lesión, por ejemplo producida con el consumo de drogas que involucra pérdida de neuronas, es de tipo irreparable. Las 10000 millones de neuronas se hallan distribuidas entre el Sistema Nervioso Central y el Periférico.

Propiedades de las neuronas:

- 1) **Excitabilidad.** Capacidad de responder a un estímulo, con un umbral de excitación y un potencial de acción. Los **estímulos** son de tipo físico (calor, frío, etc.), químicos (ácidos, básicos, etc.), biológicos (hormona, proteína, etc.) y mecánicos (compresión, tracción, aplastamiento, etc.).
- 2) **Conductibilidad.** Capacidad de conducir un impulso mediante la propagación de un potencial de acción. La

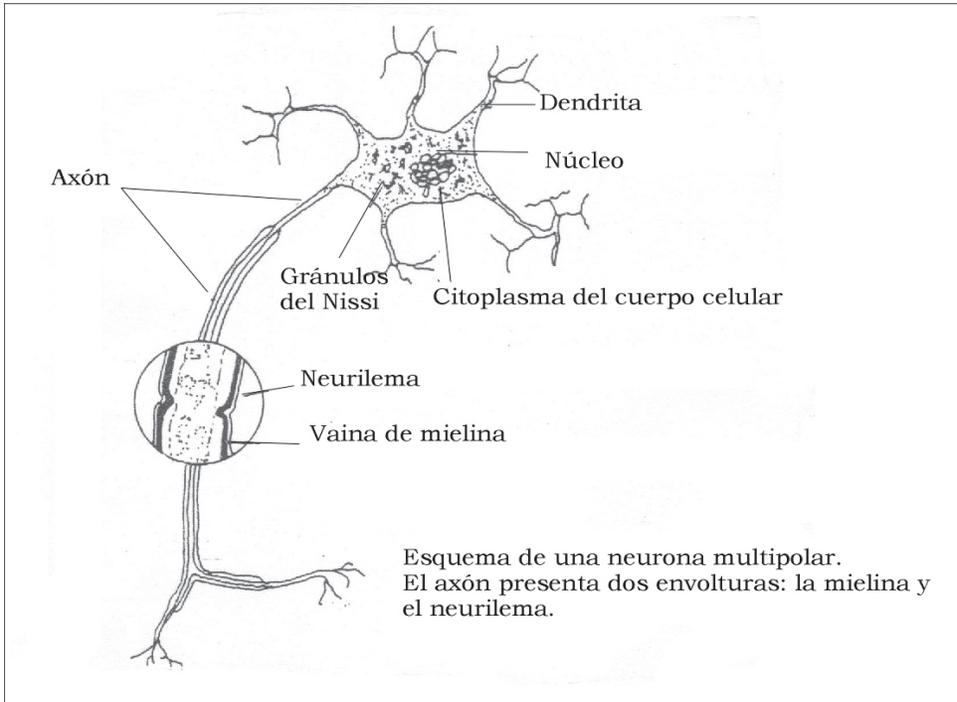


Fig. 5.21. Morfología neuronal

conductibilidad puede ser continua (cuando no hay mielina) o saltatoria (cuando hay mielina, en cuyo caso el impulso salta de un punto libre de mielina a otro).

- 3) **Valor umbral.** Necesitan de una intensidad mínima de estímulo para que se produzca una respuesta. También existen los valores subumbrales: éstos pueden despolarizar la membrana sin llegar al valor umbral que desata la respuesta. Sin embargo la acumulación de varias despolarizaciones subumbrales pueden permitir llegar al umbral y desatar el impulso nervioso.
- 4) **Ley del todo o nada.** Es referido al potencial de acción. O hay o no hay potencial de acción, pero no existen medias respuestas, ni intensidades medias. Sí puede existir una mayor o menor frecuencia de potenciales, pero todos iguales.

Clases funcionales de neuronas

- 1) **AFERENTES.** Reciben impulsos de terminaciones sensoriales, órganos de los sentidos y nervios periféricos y los llevan hacia el SNC. Se encuentran en nervios craneales y espinales. Dentro del SN reciben impulsos en centros inferiores y los conducen a centros superiores o bien reciben dentro de la médula o el cerebro y llevan la información a otros centros dentro del SNC.
- 2) **EFERENTES.** Sacan los impulsos del SNC hacia los músculos o glándulas, que son los **efectores**. También bajan impulsos de centros superiores a centros inferiores en el SNC. Se encuentran en los nervios craneales o espinales.
- 3) **DE ASOCIACIÓN o INTERCALARES.** Son neuronas aisladas o varias en cadena que conectan a las aferentes con las eferentes. Son

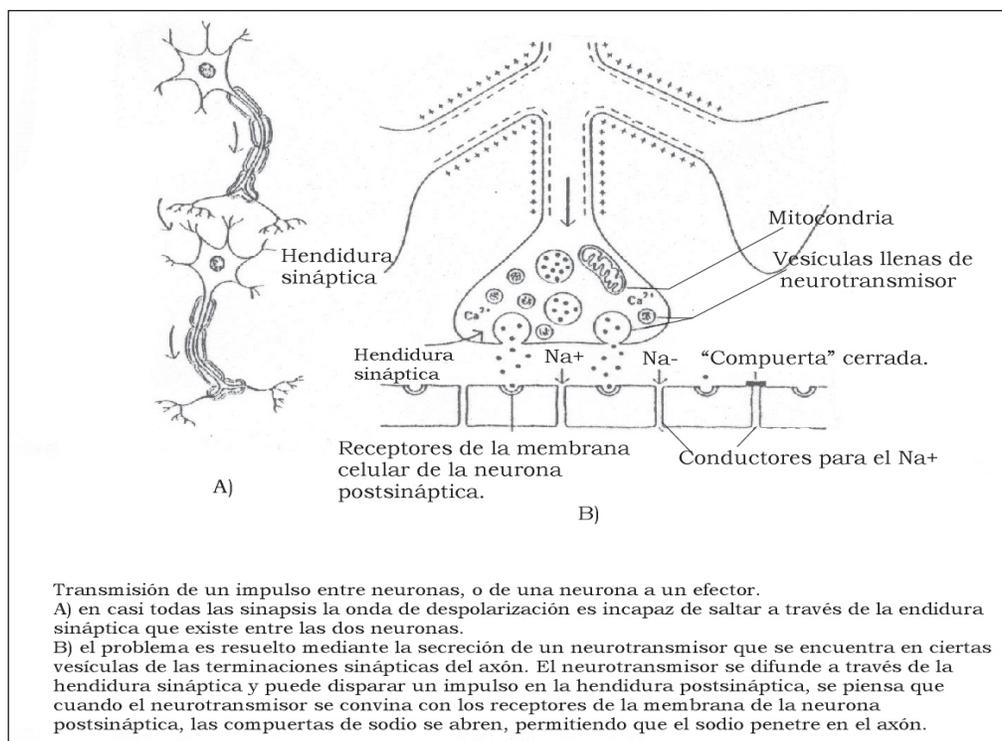


Fig.5.22. Transmisión del impulso entre neuronas o entre ésta y el efector.

muy importantes pues son las que pueden **alterar** la actividad de un circuito neuronal. De allí que estas neuronas pueden ser **excitatorias (+)** o **inhibitorias (-)**, según favorezcan o impidan que el impulso nervioso se siga propagando por un circuito neuronal.

Sinapsis

Las sinapsis son los sitios de comunicación entre dos neuronas a través de los cuales se transmite el impulso nervioso de una a otra. En las sinapsis no hay continuidad sino contigüidad. En las sinapsis la transmisión del impulso nervioso es siempre unidireccional, siempre del axón de una neurona a las dendritas o el soma de otra.

En una sinapsis pueden distinguirse una neurona **presináptica** cuyo axón termina en una porción denomi-

nada botón terminal. La membrana de esta neurona en la sinapsis se llama membrana presináptica. En el interior del botón terminal existen numerosas **vesículas sinápticas**, que contienen una sustancia química denominada **neurotransmisor**. Separada del botón terminal por la **hendidura sináptica**, que es sumamente pequeña, se encuentra la neurona **postsináptica**, con su membrana postsináptica.

Despolarización de Membrana y Potencial de Acción

La membrana celular (y neuronal) de acuerdo a la concentración de iones a uno y otro lado, presenta un potencial electroquímico de -70 mV, con una mayor concentración de cargas negativas en el lado citoplásmico. Este estado es el de la membrana en

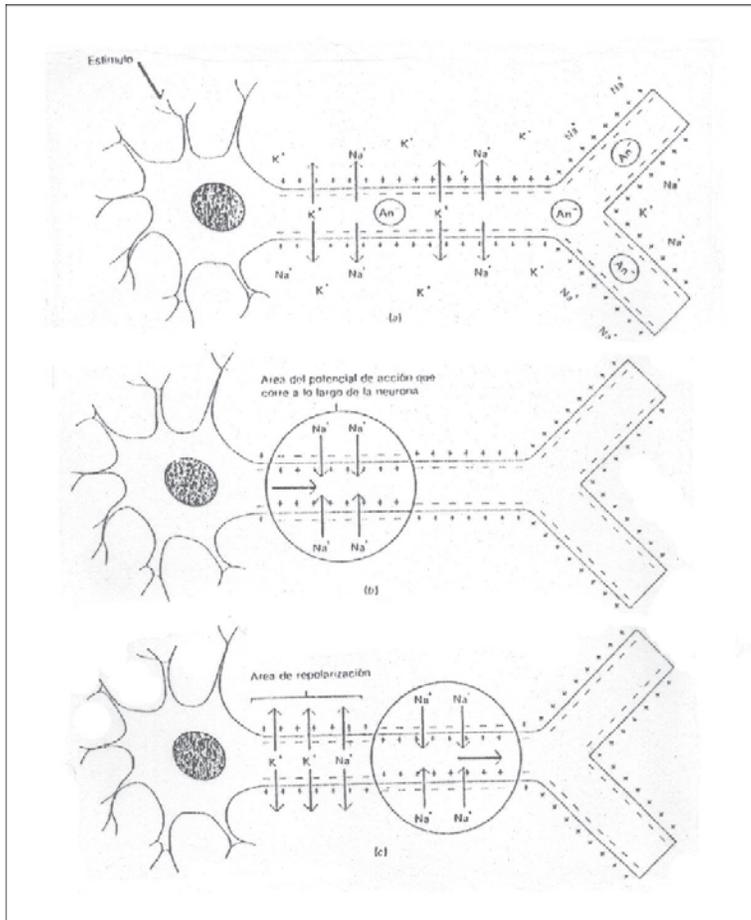


Fig.5.24. Transmisión del impulso nervioso

reposito. Ante un estímulo adecuado se produce la despolarización en forma local, es decir, el potencial en mV varía localmente por el ingreso hacia el citoplasma de iones que normalmente se encuentran más concentrados afuera, como el Na^+ y el Cl^- . Esto trae aparejado también la salida de Mg^{++} y K^+ . El potencial de acción, por ahora no propagado, si despolariza lo suficiente la membrana como para llegar al valor umbral, se transforma en efectivo potencial de acción. El potencial de acción se propaga por toda la membrana y por el axón llega a la sinapsis y se transmite a otra neurona. El potencial de acción en propagación entre neuronas

sucesivas es un IMPULSO NERVIOSO, desatado originalmente por un estímulo adecuado.

Un potencial puede ser excitatorio, despolarizando la membrana hasta un valor umbral de -50 mV . Pero también existen potenciales inhibitorios, que polarizan aún más la membrana. En este caso el potencial electroquímico medido en la membrana es de -100 mV , y es necesario un estímulo más fuerte o más frecuente para lograr despolarizar la membrana hasta el umbral.

Neurotransmisores

El impulso nervioso pasa de la neurona pre a la post-sináptica gracias

a los neurotransmisores. Son sustancias químicas que elabora la neurona presináptica y que acumula en las vesículas sinápticas. Cuando el impulso nervioso alcanza el botón terminal, las vesículas se unen a la membrana y liberan el contenido en la hendidura sináptica. Las moléculas de neurotransmisor al alcanzar a la membrana postsináptica la despolarizan y se propaga en la neurona postsináptica el impulso nervioso.

Los neurotransmisores más comunes son:

- 1) Acetilcolina. Es excitatoria o inhibitoria, dependiendo del circuito donde opere. Se encuentra en el SNC y en el SNP (periférico). Las neuronas que lo elaboran y emplean son colinérgicas y son preganglionares del autónomo y sólo postganglionares de glándulas sudoríparas.
- 2) Adrenalina y noradrenalina. Conocidas también como epinefrina y norepinefrina. Son excitadoras del SNC y SNP. Las neuronas se denominan adrenérgicas y son postganglionares del autónomo (excepto las colinérgicas que vimos), del tallo cerebral, cerebelo, médula, hipotálamo y corteza cerebral.
- 3) Serotonina. Es excitatoria del SNC y SNP. En pocos sitios en el hipotálamo, cerebelo y médula (no está en corteza ni tallo cerebral).
- 4) GABA (ácido gama-amino-butírico). Es inhibitorio de la actividad medular. Las neuronas gabaérgicas se encuentran en corteza cerebral y sustancia reticular.
- 5) Dopamina. Es excitatoria y se requiere para sintetizar a la norepinefrina. Las neuronas dopaminérgicas están en los núcleos basales, hipotálamo, sist. límbico y corteza cerebral.

Características de las Sinapsis Neuronales

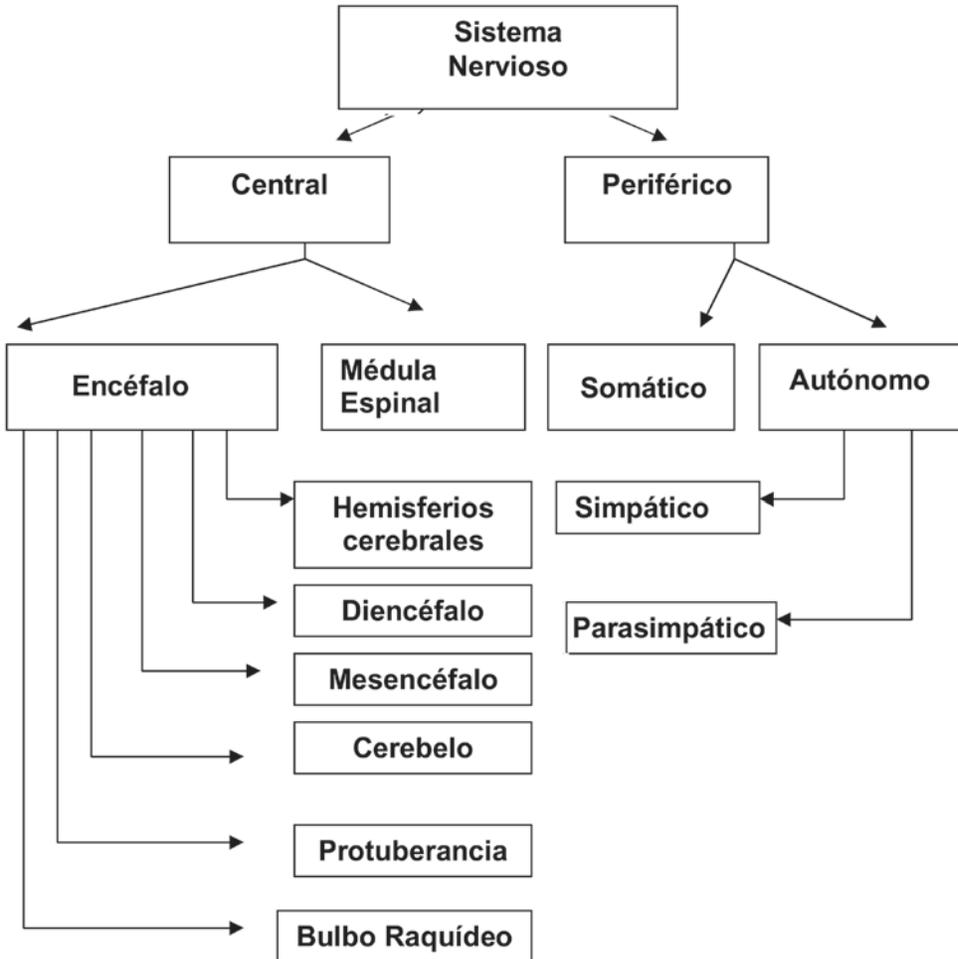
Las sinapsis poseen las características de:

- 1) Conducción o transmisión, del impulso nervioso.
- 2) Formación de potenciales de acción postsinápticos Excitatorios o Inhibitorios.
- 3) Presentan sumación temporal y sumación espacial; si existen muchas sinapsis contiguas que no llegan al valor umbral, pueden en conjunto desatar el potencial de acción, o bien una misma sinapsis con despolarizaciones repetidas en el tiempo.
- 4) Son sitios de fatiga fácil, pues si un estímulo despolariza constantemente la membrana post-sináptica llegará un momento en que se inhibirá la nueva despolarización. Este es un mecanismo protector.
- 5) Son vulnerables a las drogas y otros químicos.
- 6) Pueden dar retardo sináptico. A nivel de la sinapsis puede demorarse la transmisión de impulsos en un punto en un circuito determinado.

Susceptibilidad de las sinapsis a las drogas y condiciones fisiológicas particulares.

- 1) Cafeína. Baja el umbral de excitación y provoca estimulación.
- 2) Estricnina. Inhibe al neurotransmisor inhibitorio de neuronas espinales provocando sobreexcitación y rigidez.
- 3) Anestésicos locales. Bloquean la bomba de Na^+ - K^+ localmente y no hay transmisión del impulso porque afecta el potencial de la membrana.
- 4) Anestésicos generales. Disminuyen el efecto de los neurotransmisores excitatorios o aumentan el de los inhibitorios.
- 5) Curare y similares. Inhibidores de la transmisión en las terminales

Organización anatómica del sistema nervioso: generalidades



colinérgicas, pues compiten con la acetilcolina.

- 6) Hipoxia. Provoca falta total de excitabilidad por un lapso (lipotimia).
- 7) Acidosis. Por ejemplo en la diabetes, baja la excitabilidad.
- 8) Alcaloides: Aumenta la excitabilidad.
- 9) Insecticidas del tipo fosforados. Inhibidor de la acetilcolinesterasa, lo cual hace que aumente la concentración de la acetilcolina, produciendo depresiones y suicidios.

El encéfalo es la porción superior y dilatada de la médula espinal. Embriológicamente, se desarrolla a partir de tres dilataciones primarias que se producen en el extremo anterior del tubo neural.

El bulbo es la porción más posterior del encéfalo. Tiene la forma de un cono ligeramente aplanado. Las paredes del bulbo, gruesas y formadas por haces nerviosos comunicantes con las regiones superiores del

cerebro. En el Bulbo se alojan masas de cuerpos celulares (Centros bulbares) que regulan de modo reflejo: la respiración, latido cardíaco, vasodilatación, deglución y el vómito.

El cerebelo, situado sobre el bulbo, contiene una porción central y dos hemisferios laterales con forma de piña. La superficie es gris (cuerpos neuronales) y por debajo, una masa blanca de fibras de enlace entre el bulbo y los centros superiores del cerebro. El tamaño está en relación con la actividad muscular. Regula y coordina la actividad de los músculos. Asimismo actúa en el mantenimiento del equilibrio.

La protuberancia o puente de Varolio, está inclinada hacia adelante como el bulbo, a cuya base se une íntimamente; de ella salen los pedúnculos cerebrales que la conectan al cerebro y llegan los pedúnculos cerebelosos que la unen al cerebelo. Propaga los impulsos de un lado a otro de los hemisferios cerebelosos; se considera además como un centro reflejo relacionado con el equilibrio y la locomoción.

El mesencéfalo, delante del cerebelo y protuberancia, con paredes gruesas y un pequeño conducto central que une el cuarto ventrículo del bulbo con el tercer ventrículo del tálamo. Centros reflejos entre tálamo y cerebro.

Los tubérculos cuadrigéminos, son cuatro protuberancias redondeadas en la parte superior del mesencéfalo, con centros reflejos visuales y auditivos.

El tálamo, une las gruesas paredes del tercer ventrículo; es el centro de enlace de los impulsos sensitivos. Regula las manifestaciones externas de

las emociones.

El hipotálamo, en el piso del tercer ventrículo, posee centros que regulan la: temperatura, apetito, equilibrio hídrico, metabolismo de grasas y glúcidos, presión arterial y sueño. Produce factores liberadores hormonales que tienen su acción sobre el lóbulo anterior de la hipófisis.

Hemisferios cerebrales, ocupan la porción anterior del encéfalo; cada hemisferio tiene respectivamente el primer y segundo ventrículo y ambos están unidos por las formaciones interhemisféricas. Es el órgano de mayor tamaño del sistema nervioso. Está protegido por una triple envoltura, a saber, la pared ósea del cráneo, el líquido cefaloraquídeo y las meninges.

Como todos los órganos del sistema nervioso, está compuesto por dos tipos de sustancias, la gris y la blanca.

La sustancia gris forma la corteza o manto del cerebro; recordemos que ésta fue la última adquisición en términos de evolución filogenética, ya que los mamíferos inferiores eran de tipo lisencéfalos, es decir con la superficie lisa, y dentro de los mamíferos superiores es en el hombre donde se desarrolla al máximo el cerebro de tipo girencéfalos, con gran cantidad de surcos y circunvoluciones. Este tipo de cerebro es acompañado con un perfeccionamiento de los órganos de los sentidos.

También están formados por sustancia gris los núcleos que están situados dentro de los hemisferios cerebrales, envueltos y semienvueltos por sustancia blanca, a saber: tálamo

óptico (ya descrito), núcleo caudal y núcleo lenticular.

En concreto, se considera que el cerebro es centro de los fenómenos conscientes y voluntarios. Por otra parte se considera que la inteligencia se localiza en la superficie de la corteza cerebral. A la corteza cerebral se le han atribuido zonas desde donde se ejecutan las diferentes funciones: zona motora, centro del lenguaje articulado, centro de la escritura, centros sensitivos y sensoriales.

Organización funcional del Sistema Nervioso: generalidades

El Sistema Nervioso funcionalmente se divide en **Somático o Voluntario o de la Vida de Relación** y en **Involuntario, Autónomo o de la Vida Vegetativa**.

La división somática del Sistema Nervioso controla en general las actividades voluntarias, tanto físicas como intelectuales, mientras la división autónoma coordina las actividades involuntarias, y todas aquellas automáticas que aseguran el mantenimiento de la vida, sean éstas conscientes o no. Por ejemplo, el marchar, mover un miembro o el generar ideas, caen en la esfera del Sistema Somático; la regulación del calibre de las arterias, de la ventilación pulmonar, de la frecuencia cardíaca o de la motilidad gastrointestinal es objeto del Sistema Autónomo.

Los efectores del sistema somático son en general los músculos esqueléticos (estriados), mientras que los del sistema autónomo son músculos lisos y glándulas.

Toda actividad desarrollada por el organismo siempre proviene de una experiencia sensorial previa. Algunas veces la experiencia sensorial no provoca una respuesta instantánea, pero la información queda guardada en la memoria y puede emplearse en un momento posterior para elaborar una respuesta.

Todos los estímulos son captados del medio interno o del medio externo por estructuras especializadas, denominadas **receptores**.

Los receptores son transductores biológicos que responden a una modalidad sensorial específica. Un transductor, por ejemplo, es una plancha, que traduce la energía eléctrica en energía calórica o una lamparita que traduce la energía eléctrica en energía lumínica. Los receptores sensoriales traducen diferentes tipos de energía (calor, presión, sonidos, etc.) en energía electroquímica, que es la que se manifiesta en el impulso nervioso. Los receptores son específicos de cada modalidad sensorial. Los receptores operan en: el medio externo y el medio interno. Los externos reciben la información del entorno, como los receptores de la presión de la piel (cutáneos), el oído, gusto, visión. Los internos reciben la información del interior del organismo, músculos, articulaciones, vísceras, ej: receptores de la presión sanguínea.

Las experiencias sensoriales (estímulos) penetran como impulsos nerviosos por nervios raquídeos y son conducidas a diferentes porciones del sistema nervioso central como la médula, sustancia reticular (bulbo raquídeo), protuberancia, cerebelo, tálamo y zona

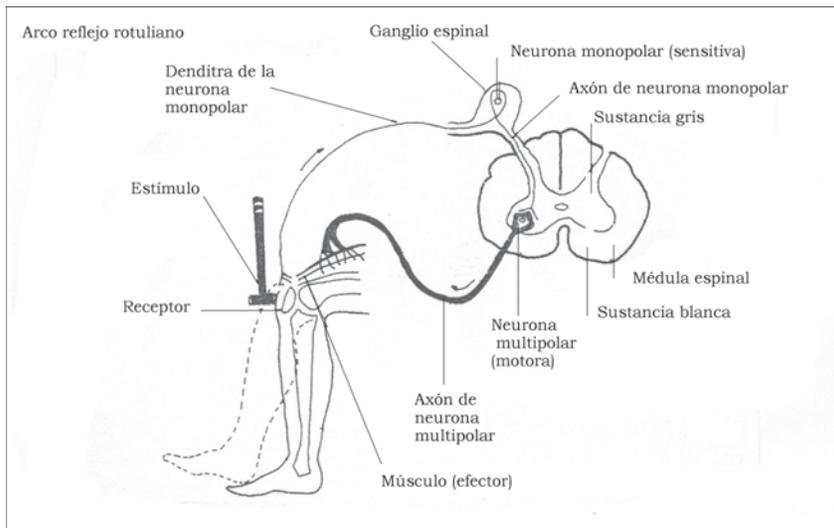


Fig.5.24 Reflejo rotuliano

sensitiva de la corteza cerebral. Estas estructuras en conjunto constituyen el eje sensorial del Sistema Nervioso.

En cada receptor existen neuronas capaces de desatar un impulso nervioso frente al estímulo específico. Estas células especializadas son las **neuronas sensitivas primarias**. El cuerpo o soma de estas neuronas se encuentra en los ganglios de las raíces dorsales o posteriores de los nervios raquídeos. Sus axones:

- 1) cruzan la médula y hacen sinapsis con una neurona motora inferior, con o sin una intercalar.
- 2) hacen sinapsis con neuronas llamadas **neuronas sensoriales secundarias** de la médula espinal, del mismo lado por el que ingresan. En este caso la neurona sensitiva secundaria lleva la información a centros supramedulares, constituyendo vías sensoriales o sensitivas.

Un ejemplo del primer caso es el reflejo rotuliano, en el que una neurona sensitiva primaria se aloja en el receptor

de estiramiento en el tendón de la rodilla, hace sinapsis con una motoneurona inferior que estimula al efector que es el músculo aductor de la pierna. El efector se contrae y la pierna se levanta.

En el eje sensorial un centro importante de relevo de la información es el tálamo. Además de relevar las aferencias, el tálamo puede amplificar o disminuir la información recibida. Las neuronas que allí se encuentran son las **sensoriales terciarias** que reciben todas las aferencias excepto las olfatorias.

Sólo se aprecian conscientemente a nivel talámico las sensaciones de tacto grueso o protopático, dolor y temperatura (calor).

El centro jerárquicamente más importante es la **corteza sensitiva**. Las sensaciones que a ella llegan no son siempre de la esfera consciente. La información sensitiva se evalúa y se compara con las anteriores. Las regiones donde la información sensorial se compara con experiencias sensoriales previas constituyen las **Áreas de Asociación Sensitiva**.

Las neuronas sensoriales secundarias en su trayecto hacia el tálamo envían colaterales hacia los núcleos del tallo cerebral y hacia la sustancia reticular activadora.

El conjunto de actividades tendientes a controlar a los efectores (músculos de los tres tipos y glándulas) recibe el nombre de funciones motoras del sistema nervioso. El control de la contracción de la musculatura esquelética recae en la porción del Sistema Nervioso denominada eje motor. Lo constituyen la médula espinal, el bulbo raquídeo, protuberancia y mesencéfalo, ganglios basales y corteza motora.

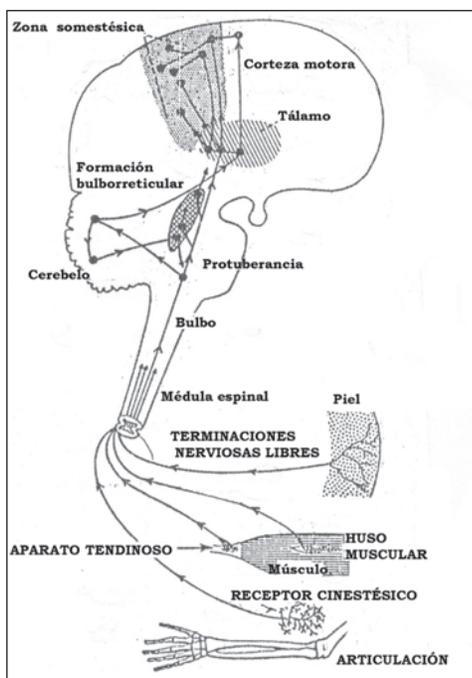


Fig.5.25. Esquema del eje sensorial somático

La información motora (respuesta) se dirige hacia los efectores por diferentes vías. El primer impulso motor surge de las **Áreas de Asociación Motora**, de donde sale modificada de acuerdo a la información previa y se dirige al lóbulo frontal de la corteza, donde se refleja la

información de reflejos aprendidos y condicionados. La información nueva se compara con repertorios aprendidos y se evalúa la respuesta dada en una situación anterior. Una vez que se ha considerado la mejor respuesta para las condiciones en que se encuentra el organismo (estímulos) se generan impulsos que llegan a la **corteza motora** y la activan. La corteza motora mediante sus impulsos genera la respuesta que llega a los efectores por al menos dos neuronas (vía motora). Las células que se encuentran en la corteza se denominan motoneuronas superiores y hacen sinapsis con las motoneuronas inferiores, cuyos axones llegan a los efectores.

Las áreas motoras corticales pueden generar una respuesta independientemente de la existencia de un estímulo (puedo pensar o comenzar a caminar aunque no reciba estímulo externo).

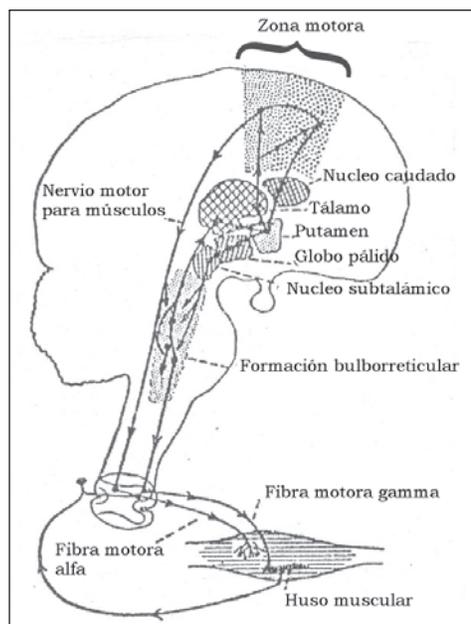


Fig.5. 26 Esquema del eje motor del sistema nervioso

Existen dos vías por donde desciende la información motora hacia las motoneuronas inferiores: la vía piramidal y la vía extrapiramidal. Ambas antes de hacer sinapsis con las motoneuronas inferiores envían colaterales a otros centros involucrados como el cerebelo y núcleos de la base, generalmente por sinapsis con neuronas intercalares. La conexión con estos centros permite la coordinación de los movimientos y comparar lo ordenado por la corteza motora con la actividad que se está realizando.

La **vía piramidal** está constituida por neuronas que descienden información motora fina, es decir, movimientos delicados y precisos.

La **vía extrapiramidal** está constituida por neuronas que bajan impulsos motores groseros, como por ejemplo el tono muscular, la postura, y movimientos asociados, que si bien son controlados no requieren una gran

precisión.

Por otra parte el **Sistema Nervioso Autónomo**, rige las funciones viscerales, controla la sudoración, presión arterial, secreciones digestivas, emisión urinaria, etc., es decir toda actividad destinada a mantener el medio interno.

El **hipotálamo** es el centro de control mayor jerarquía de este sistema y actúa por reflejos viscerales en general.

La **división simpática** está formada por dos cadenas de ganglios a los lados de la columna vertebral, más los nervios periféricos que lo conectan a los diferentes órganos. Tiene por función acelerar las actividades viscerales.

La **división parasimpática**, tiene el 80% de las neuronas que van por el nervio vago o neumogástrico al tórax y al abdomen. Actúa deprimiendo las funciones de las vísceras, es decir es antagonista de la división simpática.

Organización funcional del sistema nervioso:

Estructura	Función
Hemisferios Cerebrales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dirigir la conducta aprendida. ➤ Se asientan los complejos fenómenos de la conciencia, inteligencia, discernimiento e interpretación de las sensaciones. ➤ Se han localizado distintas funciones sobre la corteza cerebral.
Hipotálamo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lugar donde se disponen los centros del apetito, temperatura, equilibrio hídrico, metabolismo de los hidratos de carbono y proteínas. Centro del sueño y de la presión arterial. ➤ Regulación del sistema endócrino.
Tálamo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Centro de enlace de los impulsos sensitivos. ➤ Regularía las manifestaciones externas de las emociones.
Pedúnculos Cerebrales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Posee fibras que envían señales motoras para la médula y la protuberancia y sensitivas al Tálamo. ➤ Releva señales del cerebelo. ➤ Controla el tono muscular, etc.
Tubérculos Cuadrigéminos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Poseen centros reflejos visuales y auditivos.
Bulbo Raquídeo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Origen de muchas fibras aferentes al cerebelo. ➤ Señales motoras para músculos de la laringe, faringe, lengua y sistema nervioso parasimpático. ➤ Control de la inspiración y espiración. ➤ Señales sensitivas de las vísceras.
Cerebelo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Determina la secuencia temporal de contracción de diferentes músculos durante los movimientos complejos, en especial cuando ocurren en forma rápida.
Protuberancia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coordina los movimientos musculares de ambos lados del cuerpo. Se asientan los núcleos de los nervios craneales: ocular externo, facial, trigémino y del vestibulococlear.
Médula Espinal	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La sustancia gris: transmite señales entre la periferia y el cerebro e integra algunas actividades motoras. ➤ Interviene en la transmisión del tacto fino, del tacto grueso y señales sensitivas de los músculos y articulaciones.

CAPÍTULO 7

- **Historia de la genética.**
- **Contribuciones de Gregor Mendel.**
- **Teoría Cromosómica de la herencia.**
- **Hibridismo.**
- **Leyes de Mendel.**
- **Aberraciones cromosómicas.**
- **Bioteología.**

AUTORES: Biol. Raquel Murialdo

Genética y Herencia

Genética: “Es la rama de las ciencias biológicas que estudia la herencia y la variación de las especies”.

Herencia: “Fenómeno responsable por la semejanza encontrada entre individuos relacionados por la ascendencia, los cuales tienden a parecerse a los progenitores, ya que el patrimonio genético se hereda de los padres a través de las gametas”.

Aunque el parecido entre padres e hijos sea acusado, sin embargo no puede decirse que resulte exacto; los hermanos difieren entre sí y también con respecto a los padres en varios aspectos y en grado diverso, constituyendo así individuos singulares y diferentes: estas *variaciones* son propias de los seres vivos que se reproducen sexualmente.

La ciencia de la genética está tradicionalmente ligada al nombre de **Gregorio Mendel** por haber sido el primero en usar el *método científico* en sus experiencias sobre la herencia, alejándose del empirismo.

Mendel publicó el resultado de sus experiencias en 1866, pero lamentablemente éstas no tuvieron la divulgación necesaria y hasta fueron puestas en duda, hasta que, en 1900, científicos como De Vries, Correns y Tschermack redescubrieron los trabajos de Mendel y le dieron la oportunidad de figurar entre los grandes de la biología.

Lo curioso del trabajo de Mendel fue el hecho de haber explicado el mecanismo básico de la herencia o sea,

cómo una cierta característica pasa de una generación a otra sin haber visto ni imaginado a los cromosomas y otros elementos de citología molecular que podrían haber simplificado enormemente su trabajo científico.

Es en honor a su tesón y espíritu de búsqueda, con todo el rigor científico del que fue capaz, que su historia merece ser contada para destacar el trabajo de un hombre humilde que marcó un hito en la historia de la biología.

Las Contribuciones de Gregorio Mendel

Aproximadamente en la época en que Charles Darwin escribía su famoso libro “El origen de las especies”, un oscuro monje del monasterio de Brünn (hoy Austria) iniciaba sus experiencias. Johann (luego Gregorio) Mendel había nacido de familia de campesinos, en 1822; siendo un niño muy despierto en la escuela, los padres lo enviaron a continuar sus estudios, y a los veinte años se decide por la vida monacal, que le parecía adecuada para sus gustos modestos y apacibles, entrando al monasterio y tomando el nombre de Gregorio. Pasará la mayor parte de su existencia en el convento, siendo allí donde efectuará las investigaciones que habrían de inmortalizar su nombre de forma tardía.

Estas investigaciones, que consistieron en cruzar entre sí diversas clases de guisantes (arvejas) las emprendió a partir de 1856 en el propio huerto del monasterio, siendo primero un pasatiempo, una diversión de aficionado, pero impresionándolo a medida que obtenía resultados, despertando en él

el celo de investigador.

Sus trabajos adquirieron relevancia, entre otras razones, porque:

- Cultivó durante 10 años variedades de arvejas puras.
- Registró debidamente todos los resultados obtenidos, comparándolos entre sí durante 8 años y examinando en torno de 20.000 arvejas.
- Fundamentó sus conclusiones en numerosas experiencias.
- Estudió un solo carácter a la vez, fácil de observar (*color, altura o textura*) lo que le facilitó la interpretación.

Principios Generales de la Herencia

1. Las características orgánicas se heredan de acuerdo a una proporción
2. Semejante origina semejante, habiendo una tendencia de los descendientes a parecerse a los individuos que les dieron origen
3. Las gametas constituyen el único eslabón material que une una generación a la otra. Así, toda la herencia biológica de un ser vivo está representada por el material genético que posee su gameto masculino o femenino.
4. El patrimonio hereditario individual se determina en cada caso, en el momento de la concepción.
5. Lo que se hereda, en realidad, no son las características ya determinadas, sino las posibilidades de desarrollarlas en las condiciones que el medio ambiente fije.
6. Nuevas características pueden surgir en un individuo o grupo de seres, como consecuencia de la acción ambiental. Así, éstos pasan a adquirir características diferentes a sus ancestros, constituyendo variaciones que

responden a mecanismos tales como diferentes combinaciones genéticas, fluctuaciones y mutaciones.

Paralelismos entre Cromosomas y Genes

Los caracteres hereditarios se transmiten mediante los genes o factores hereditarios y, a su vez, éstos lo hacen por medio de los cromosomas. A los genes no los vemos, a los cromosomas, sí; por lo tanto, podemos decir que los cromosomas representan la expresión visible de los agentes que hacen a la herencia.

Todo individuo tiene en su organismo dos tipos de células (atendiendo al número de cromosomas) *las células somáticas y las células sexuales o gametas*.

Las células somáticas tienen núcleos con una cantidad $2n$ de cromosomas (diploides), mientras que las células sexuales o gametas tienen núcleos con una cantidad n de cromosomas (haploides). La cantidad $2n$ de cromosomas significa (2) juegos o complementos de cromosomas, n cromosomas (un juego) recibido de la madre y n cromosomas (otro juego) recibido del padre. Cuando ese individuo concurra a tener descendencia, sólo aportará con la mitad de su patrimonio cromosómico, o sea, transmitirá n cromosomas (un juego) que es precisamente la **contribución, legado o herencia** que hace todo padre a sus hijos. El otro juego o complemento de cromosomas lo aportará el otro padre, de tal suerte que el hijo recibirá un total de $2n$ de cromosomas. Esos juegos complementarios de cromosomas son homólogos. Los pares de cromosomas

homólogos son morfológicamente iguales, con excepción de los cromosomas sexuales X e Y.

¿Qué importancia tienen los cromosomas homólogos en la herencia? Simplemente que la información contenida en los cromosomas homólogos es equivalente.

Genes Alelomorfos

Los genes que se encuentran en ambos miembros de un mismo par de cromosomas homólogos, referidos a un mismo carácter, se llaman alelomorfos o simplemente alelos (alos: otro; morfo: forma) y se refieren a una posible alternativa de un carácter. *Los genes alelos van en cromosomas homólogos, uno en cada cromosoma.*

El alelo surgió o surge en algún momento por un cambio o mutación en el gen original o silvestre.

Ambos miembros de un par alelomórficos pueden ser exactamente iguales o no. Por ej. del par de genes que controlan el color de ojos (variedad ojos oscuros, ojos claros) ambos pueden ser genes determinantes de ojos oscuros o de ojos claros; o un gen puede ser ojos oscuros y el otro gen del par, ser ojos claros.

Dominancia y Recesividad

Ambos términos están referidos a la capacidad de expresión de un carácter; pero como el carácter está definido por los genes, resultan ser los genes quienes pueden ser dominantes o recesivos. *Un gen es dominante cuando tiene capacidad de expresarse en presencia de otro, en caso contrario es recesivo.*

El carácter color de ojos tomado como ejemplo nos permitirá comprender mejor los alcances de los términos dominancia y recesividad.

Una pareja o matrimonio integrada por una persona de ojos oscuros y la otra de ojos claros, tiene descendencia toda con ojos oscuros. Esto nos permite decir que los ojos oscuros es un carácter dominante sobre ojos claros; mientras que ojos claros es un carácter recesivo con respecto a ojos oscuros.

Para estudiar los distintos caracteres, ellos se representan por medio de letras duplicadas. Los caracteres dominantes se representan con letras mayúsculas y los recesivos con letras minúsculas.

Ahora analicemos otro ejemplo:

En un cruzamiento entre una planta alta y otra planta baja, obtenemos una descendencia integrada en su totalidad por plantas altas. Como en el caso anterior, decimos que alto es dominante sobre bajo; bajo es recesivo con relación a alto.

P₁: ALTO x BAJO
F₁: ALTO

P₁: AA x aa
F₁: Aa

Acá se agregaron dos nuevos símbolos: P₁ y F₁.
P₁: significa generación paterna.
F₁: significa primera generación filial.

En un cruzamiento entre una planta alta y otra planta baja, obtenemos una descendencia integrada en su totalidad por plantas altas. Como en el caso anterior, decimos que alto es dominante sobre bajo; bajo es recesivo con relación a alto.

Se puede estudiar un cruzamiento, con la utilización del Cuadro de Punnett, analicemos este último ejemplo en el Cuadro de Punnett:

	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

Volviendo al simbolismo de los caracteres, los padres son A A (alto) y a a (bajo). Los hijos o F_1 son A a, porque cada padre contribuye con un gen para el carácter en cuestión, el padre alto aporta con A y el padre bajo con a, por lo tanto el hijo deberá tener ambos genes A y a, siendo A a. Por el hecho de ser el carácter alto dominante sobre el carácter bajo, el hijo (F_1) será también alto.

Genotipo y Fenotipo

En el ejemplo mencionado con dos fórmulas distintas referidas al mismo aspecto exterior de las plantas, la planta alta materna y la planta alta hija tienen las fórmulas AA y Aa, respectivamente. AA y Aa representan la constitución genética del padre y del hijo respectivamente. **La consti-**

tución genética de un individuo es genotipo.

El aspecto que presenta la planta (alta o baja) es **el fenotipo y resulta de la interacción del genotipo con el ambiente.**

Homocigosis y Heterocigosis

En el fenotipo plantas altas se presentaban dos genotipos posibles AA y Aa.

En el primer caso (AA) ambos genes son iguales, hay *homocigosis*, o sea, *que ambos genes están en combinación homocigótica*. En el otro caso (Aa) ambos genes son distintos, hay *heterocigosis*, es decir *que los genes están en combinación heterocigótica*.

Los genes dominantes por su condición se expresan indistintamente en homo y heterocigosis, mientras que los caracteres recesivos sólo se expresan en homocigosis.

Los experimentos de Gregor Mendel

Aunque nuestros conocimientos actuales sobrepasan en mucho a los que derivaron de las experiencias de Gregor Mendel, comprender su trabajo tiene la virtud de mostrar una metodología muy útil para ciertas áreas de la investigación. También nos permitirá aclarar algunos conceptos básicos de la genética.

Según Gregor Mendel

«...El valor de la experiencia dependía de la elección juiciosa de los materiales empleados, así como su

correcta utilización...»

Por lo cual en sus experiencias tuvo en cuenta que las plantas utilizadas debían poseer absolutamente estas condiciones:

- Caracteres diferenciales constantes.
- Sus híbridos, en la floración, deben estar al resguardo de toda posible influencia de polen extraño.
- Los híbridos y sus generaciones no deben experimentar ningún trastorno notable de fertilidad en el transcurso de las generaciones.
- La planta debía ser hermafrodita, ya que permitía la autofecundación.

Además de estas condiciones, Mendel seleccionó todos los caracteres que podían ser observados, es decir aquellos que poseían mayor estabilidad y que presentaran pares diferenciales claramente diferenciales. En el caso del Pisum sativum, los caracteres que mejor se ajustaron a sus exigencias fueron los que a continuación se detallan en el cuadro donde se muestra el carácter seleccionado por Mendel y las alternativas de esos caracteres.

Hibridismo

En el cruzamiento entre individuos que presentan caracteres contrapuestos, los ejemplos mencionados sobre el color de ojos, talla de las plantas, son casos de hibridismo.

Cuando se considera un solo carácter se habla de monohibridismo; cuando se consideran dos caracteres, de dihibridismo y así sucesivamente, se habla de tri, tetra, polihibridismo.

Monohibridismo

En el cruzamiento entre arvejas o guisantes con semillas amarillas y semillas verdes, la descendencia tenía siempre semillas amarillas; es decir, el carácter semillas amarillas era dominante sobre el carácter semillas verdes.

Cuando se cruzaban estos descendientes entre sí, se obtenía una descendencia compuesta por arvejas con semillas amarillas y arvejas con semillas verdes, en una relación o proporción de 3 a 1 (75% a 25%).

Carácter Seleccionado	Alternativas del carácter
Textura de la semilla	Lisa o Rugosa
Color de los cotiledones	Amarillo o Verde
Posición de las flores	Axial o Terminal
Color de las flores	Blanco o No blanco
Forma de la vaina	Rectilínea o Moniliforme
Color de la vaina	Verde o Amarillo
Longitud del tallo	Largo o Corto

P₁: Semillas amarillas x semillas verdes

P₁: YY x yy

F₁: Semillas amarillas

F₁: Yy

P1: Semillas amarillas x semillas amarillas

P1: Yy x Yy

F₂: Semillas Amarillas - 1 Semillas Verdes

F₂: YY - 2Yy - yy

En el cruzamiento mencionado, cada padre contribuye con un gameto, como es natural; pues ahora intentaremos analizar la calidad del gameto que aporta cada padre. En la P₁, el progenitor YY aporta gametos Y solamente (mejor dicho gametos que poseen el gen Y); mientras que el progenitor y contribuye con gametos que sólo llevan el gen y. Sabemos que el gen Y es dominante y determina color amarillo en las semillas; mientras que el alelo y es recesivo y determina el color verde en las semillas. La F₁ está integrada por individuos que resultan de la unión de los gametos mencionados, que llevan los genes Y e y; por eso son Yy; como el gen Y es dominante, los integrantes de esa generación presentan todos el aspecto semillas amarillas.

En los cruzamientos realizados con individuos pertenecientes a la F₁, cada individuo puede aportar dos clases de gametos, unos que llevan el gen dominante y otros que llevan el alelo recesivo:

Yy x Yy

gametos: Y - y Y - y

La próxima generación filial resultará de la unión de estos gametos; pues cuando se una un gameto Y con un gameto Y, resultará un individuo con la forma YY; cuando se produzca una fecundación entre un gameto Y y otro gameto y (sin que tenga importancia quien aporta uno u otro gameto) resultará un individuo con la constitución genética Yy. Del mismo modo, cuando se unan los gametos que llevan los genes y, resultará un individuo genéticamente yy, que serán fenotípicamente iguales al abuelo semillas verdes.

Dihibridismo

Su análisis se establece lo mismo que en el anterior, pero teniendo en cuenta dos caracteres, en vez de uno.

Como ejemplo habremos de tomar el cruzamiento entre plantas altas con semillas color amarillo y plantas bajas con semillas color verde.

P₁: plantas altas - semillas amarillas x plantas bajas - semillas verdes

F₁: Plantas altas - semillas amarillas

F₂: 9 plantas altas - semillas amarillas, 3 plantas altas - semillas verdes, 3 plantas bajas - semillas amarillas, 1 planta baja - semillas verdes

Ahora lo analizaremos simbólicamente:

P₁: AAYY x aayy

gam. AY - ay

F₁: AaYy

P2: AaYy x AaYy

gam. AY-AY-aY-ay - AY-Ay-aY-aY

Para evitar confusiones por la

cantidad de gametos distintos, se **recomienda** construir una especie de damero, disponiendo arriba y al costado izquierdo, los gametos que aporta cada uno de los padres, como se ejemplifica a continuación:

$$\text{AaYy} \times \text{AaYy}$$

gam	AY	AaYy	ay	
AY	AAYY	AAyY	AaYY	AaYy
Ay	AAyY	AAyy	AaYy	AaYy
aY	AaYY	AaYy	aaYY	aaYy
ay	AaYy	AaYy	aaYy	aayy

La relación fenotípica 9:3:3:1 significa que en esta F_2 hay una relación de 9 individuos con ambos caracteres dominantes; 3 individuos con un carácter dominante y uno recesivo; 3 individuos con un carácter dominante y otro recesivo (opuesto al anterior) y 1 individuo con ambos caracteres recesivos. Esta relación está expresada en fracciones de dieciséis o dieciseisavos; pues la cantidad total de combinaciones es dieciséis.

Analizando el damero se observa que en la primera fila y/o en la primera columna están los gametos que llevan ambos genes dominantes, por lo tanto, todas las combinaciones que resulten de ellos, producirán individuos con fenotipo dominante, cualquiera la fórmula del gameto con el cual se combinen.

Trihibridismo:

Los tres caracteres que se consideran aquí serán los dos mencionados en el caso anterior, más el carácter semilla redonda (dominante) - semilla rugosa (recesivo).

F_1 : pl. alta - sem. amarilla - sem. redonda x pl. baja - sem. verde - sem. rugosa

F_1 : pl. alta - sem. redonda
 F_1 : **AAYYRR** x **aayyrr**
 GAMETOS: **AYR** - **ayr**
 F_1 : **AaYyR**

$$\text{AaYyRr} \times \text{AaYyRr}$$

GAMETOS: **AYR** - **AyR** - **AyR** - **AyR**
aYR - **aYr** - **ayR** - **ayr**

Los gametos son iguales en ambos padres.

Las proposiciones fenotípicas son:

- 27 pl. altas - sem. amarillas y redondas.
- 3 pl. altas - sem. verdes y rugosas.
- 9 pl. altas - sem. amarillas y rugosas. 3 pl. bajas - sem. amarillas y rugosas.
- 9 pl. altas - sem. verdes y redondas. 3 pl. bajas - sem. verdes y redondas.
- 9 pl. bajas - sem. amarillas y redondas.
- 1 pl. baja - sem verde y rugosa.

El alumno ensayará las 64 combinaciones posibles aplicando el sistema del damero.

Relaciones fenotípicas y genotípicas: Fórmulas

Para calcular las clases de fenotipos distintos o de genotipos distintos en un cruzamiento determinado, siempre debemos tener en cuenta la cantidad de factores que se consideran en dicho cruzamiento.

Para la F_2 , la cantidad de fenotipos distintos es igual a la cantidad de gametos distintos que puede producir un individuo de la F_1 .

Así, para un caso de monohibridismo (se considera UN par de caracteres contrapuestos) la cantidad de gametos distintos o de fenotipos distintos es 2 (DOS). Para un caso de dihibridismo (se consideran DOS pares de caracteres contrapuestos) la cantidad es 4 (CUATRO). Para un trihibridismo es 8 (OCHO), etc. Acá se aplica la fórmula: cantidad de gametos o fenotipos distintos = 2^n , donde n representa la cantidad de pares contrapuestos que se consideran.

La cantidad de genotipos distintos se obtiene aplicando la fórmula: 3^n , donde n tiene la misma significación, mientras tanto, la cantidad total de combinaciones posibles es igual a 4^n .

Leyes de Mendel

Las conclusiones que Mendel obtuvo a partir de sus trabajos fueron enunciadas como **Leyes de la Herencia**. Estas leyes son conocidas actualmente como la primera y segunda ley de Mendel.

1ª Ley de Mendel o Ley de la Segregación (separación) Independiente: Los genes segregan o se separan independientemente unos de otros al formarse los gametos. Un gen pasa a un gameto y su alelo pasa a otro gameto. Los genes se separan, **NO VAN AMBOS GENES ALELOS A UN MISMO GAMETO**.

2ª Ley de Mendel o Ley de la Recombinación Independiente: Los genes se recombinan independientemente (al azar) al producirse la unión de las gametas. De estas recombinaciones al azar, surgen distintas combinaciones génicas (distintos genotipos).

La Teoría Cromosómica de la Herencia

Si bien a mediados del siglo XIX ya se habían observado cromosomas, la existencia de los genes no era más que una entelequia, es decir era sólo una idea. A fines de ese siglo Flemming comenzó a sospechar que el material nuclear estaba estrechamente ligado a la herencia. Luego con los adelantos tecnológicos se pudieron observar los cromosomas de las células eucariotas.

Además se pudo establecer que los cromosomas se presentan de a pares que se segregan durante la meiosis. En la forma de espermatozoides y óvulos ocurre una reducción a la mitad en su número (haploidía) restableciéndose la condición diploide en la fecundación.

A estos descubrimientos se sumaron los descubrimientos de los cromosomas sexuales en 1890, lo cual hizo convencer a los biólogos de que los genes formaban parte del núcleo celular, en particular de la cromatina y de su estado condensado: los cromosomas.

Esto fue de suma importancia, dado que los descubrimientos de Mendel pasaron de una idea a entidad física y en adelante se podían elaborar modelos sobre la forma en que se producía la segregación de los caracteres durante la meiosis.

Por otra parte generó nuevas líneas de investigación cuyos objetivos eran estudiar la estructura físico-química de los factores hereditarios de Mendel.

Más allá de Mendel

Las leyes de Gregor Mendel proveían una visión muy simplificada de la realidad; esto debido a las características que tuvo en cuenta para llevar adelante sus experiencias. Cuando fueron redescubiertos sus trabajos y se extendió su experimentación a otros caracteres y a otros organismos se pudo comprobar que esas leyes eran sólo aplicables en ciertos casos. Existiendo varios ejemplos donde las proporciones fenotípicas esperadas no se cumplían. Ejemplos de ellos son:

Alelos Múltiples:

Hemos visto que un carácter cualquiera estaba definido por un par de genes alelos. Ahora veremos los casos en que un carácter determinado presenta más de dos alternativas, las que se deben a que *un gen presenta dos o más alelos*.

En la sangre humana, el Sistema A-B-0 está definido por *tres genes alelos*, de los cuales dos variantes son dominantes y la restante es recesiva. Estos genes alelos son **"A", "B" y "0"**. Las distintas combinaciones de estos genes determinan cuatro grupos o tipos distintos de sangre en este sistema, que son: **tipo "A", tipo "B", tipo "AB" y tipo "0"**.

Mientras la forma alélica "0" (cero) es recesiva, las otras dos son dominantes.

Es decir que en el caso del tipo "AB" hay CODOMINANCIA, pues ambos genes se expresan por igual, ninguno domina al otro. Este tipo sólo se expresa en heterocigosis; mientras que el tipo "0" por ser recesivo, sólo se expresa en homocigosis.

La sangre tipo "A" tiene eritrocitos que poseen en su superficie antígenos tipo A, mientras tanto, el plasma sanguíneo tiene anticuerpos (aglutinas) (beta) o anti-B. La sangre tipo "B" tiene antígenos tipo B, pero anticuerpos (alfa) o anti-A. La sangre tipo "AB" tiene ambos antígenos, el A y el B, pero carece de anticuerpos; mientras tanto, la sangre tipo "0" carece de antígenos, pero tiene ambos tipos de anticuerpos.

Factor Rhesus o Rh:

Este factor también constante en la especie humana, se debe a la herencia del gen o factor Rh (D) o rh (d). Estas dos formas alélicas primarias son la causa de que se presenten los dos tipos distintos fenotípicamente, el llamado Rh positivo o rh negativo. En este caso la forma Rh (+) es dominante sobre la rh (-), y el Rh (+) tiene antígenos activos frente a una persona rh (-); es decir, que la sangre Rh (+) inyectada a una persona rh (-) provocará en ésta, la formación de anticuerpos anti-Rh.

El fenotipo "0" tiene el genotipo.....00.
El fenotipo "A" tiene el genotipo.....AA o A0.
El fenotipo "B" tiene el genotipo.....BB o B0.
El fenotipo "AB" tiene el genotipo.....AB.

Este factor tiene importancia en los casos de mujeres que son rh (-), porque si gestan hijos Rh (+), éstos inmunizarán a la madre (por vía placentaria) provocando en ella la formación de anticuerpos anti-Rh, los que pueden atacar a los glóbulos rojos del hijo, hemolisándolos; y esto conduce a la producción de una forma de anemia grave, llamada eritroblastosis fetal. Por eso, es importante saber el factor de la mujer y de su cónyuge.

Refiriendo el factor rhesus, solamente a los genes Rh y su alelo rh, una persona rh (-) sólo puede ser rh/rh (por ser rh recesivo); en cambio, una persona Rh (+) puede ser homo o heterocigótica (Rh/Rh o Rh/rh).

Además de los genes alélicos Rh - rh (o D - d) hay otros genes que acompañan a éstos y son el C y su alelo c y el E y su alelo e. Estos dos pares C - c y el E - e se comportan como codominantes. Se trataría de un conjunto de tres genes asociados en el mismo lugar (LOCUS) del cromosoma para este carácter o rasgo de la sangre.

Pleiotropía:

Es el efecto que produce un gen determinado, sobre varios caracteres distintos, simultáneamente. Estos genes se llaman pleiotropos. En la mosca del vinagre, *Drosophila melanogaster*, el gen que determina el color de los ojos influye en el color de los testículos. Posiblemente todos los genes sean pleiotrópicos (Sinnot, Dunn y Dobzhansky, 1961).

Genes Letales:

Son aquellos que en combinación homocigótica, matan al que los posee.

Su descubrimiento se debió a que en ciertos cruzamientos no se cumplía la proporción mendeliana que contempla al monohibridismo. Para este caso se esperó una descendencia de 3 : 1; pero, se encontró que la misma era de 2 : 1. Esto ocurrió en experimentos de cruzamientos realizados entre ratones de pelaje amarillo, donde se contabilizó en el total de cruzamientos, una descendencia integrada por 2.396 amarillos y 1.235 no-amarillos; esto es aproximadamente, 66% y 33%, respectivamente; es decir, 2 : 1. Como era de esperar, esta circunstancia llamó la atención. Haciendo los cruzamientos entre ratones amarillos con no-amarillos, se contaron en la descendencia, 2.378 amarillos y 2.398 no-amarillos; cifras que se aproximan bastante a la relación 1 : 1; la que sólo es posible en los cruzamientos entre un heterocigota y un homocigota recesivo. Ambas circunstancias incentivaron a los investigadores, quienes comprobaron varios embriones muertos in útero, los que se consideraron como pertenecientes al conjunto de homocigotas; en este caso particular, debidos a la acción de un gen dominante, que es quien produce el color amarillo en el pelaje. La representación simbólica del cruzamiento sería:

$$Yy \times Yy$$

amarillo x amarillo

$$\frac{1}{4} YY - \frac{2}{4} Yy - \frac{1}{4} yy$$

(muertos) - amarillos - no-amarillos

En sí, la dominancia del gen Y no es absoluta; se trata más bien de un caso de dominancia incompleta.

En el hombre hay varios casos que responden a las características de

los genes letales; tales son las idiocías amaurótica infantil y juvenil, que se diferencian entre sí porque en la primera mueren los portadores de la homocigosis en la infancia, mientras que en la juvenil, mueren durante la juventud.

La anemia en hoz (por la forma que toman los eritrocitos), también llamada anemia falciforme o falcemia es letal en combinación homocigótica; mientras los heterocigotos prácticamente carecen de síntomas. Ella se debe a un gen recesivo.

Las mismas características presenta la microcitemia o talasemia (los eritrocitos tienen menor tamaño que el normal); ésta debido a un gen recesivo, el cual es mortal en combinación homocigótica, llamada anemia de Cooley, aunque, en este caso, la heterocigosis presenta sus características nosológicas, ya mencionadas.

Determinación del sexo:

La dotación cromosómica de un individuo normal comprende 23 pares de cromosomas; de ellos, 22 pares afectan los caracteres somáticos del mismo; mientras que el par restante es el encargado de definir el sexo. Por eso, a los 22 pares se los conoce con el nombre de **cromosomas somáticos o AUTOSOMAS** y al par restante, representado por los *cromosomas X e Y*, se lo llama **cromosomas sexuales o GONOSOMAS**.

La característica determinativa del sexo a nivel cromosómico no es igual en los distintos animales.

Tipo protenor: hay un tipo de

insectos Hemípteros que pertenece al género *Protenor*, donde la hembra tiene 14 cromosomas, es decir 7 pares. El macho tiene 13 cromosomas, es decir 6 pares y un cromosoma desapareado, los espermatozoide que producen son de dos tipos: unos tienen 7 cromosomas y otros tienen 6 cromosomas.

Cuando se produce la fecundación del óvulo con un espermatozoide de 7 cromosomas resulta un cigoto de hembra, mientras que si se la fecundación ocurre entre un ovocito de 7 cromosomas y un espermatozoide de 6 cromosomas, el cigoto resultará un macho. Al cromosoma adicional se lo llamó sexual, pues es el determinante del sexo femenino, mientras que el otro es determinado por la carencia del cromosoma mencionado.

Cromosomas X - Y en la determinación sexual: Ya se comentó el caso de los seres humanos, donde su patrimonio cromosómico comprende 22 pares de autosomas y un par de gonosomas. Ese par de gonosomas, en la mujer, tiene la forma de XX, mientras que en el hombre XY. En la madurez sexual, la mujer produce óvulos que llevan cromosomas X, mientras que en el varón produce dos tipos de cromosomas X e Y. En atención de esta circunstancia, a los gametos femeninos se los define como **homogaméticos** (todos son iguales, todos llevarán el cromosoma sexual X) y a los gametos masculinos **heterogaméticos** (unos espermatozoides llevan el cromosoma X y otros el Y).

La determinación cromosómica del sexo siempre la hace el individuo heterogamético, pues de su aporte re-

sultará la combinación XX, que define a la mujer o al varón respectivamente. En los seres humanos es el hombre quien determina el sexo.

En las aves gallináceas es al revés, la gallina es heterogamética y el gallo el homogamético.

Herencia ligada al sexo

Es aquella que está determinada por los genes que se encuentran en los cromosomas sexuales. En la especie humana el cromosoma X es más grande que el Y, además en el X hay regiones que no tienen correspondencia en el homólogo Y; a su vez en éste hay regiones, aunque pequeñas, que tampoco tienen correspondencia con el X. También se reconoce una región común, que resulta homóloga en ambos cromosomas.

Por su mayor tamaño la región que no se homologa del X contiene mayor número de genes que la del cromosoma Y. La herencia ligada al cromosoma Y solamente afecta a quien lo posee, es decir a los varones, por lo que también se conoce como holándrica; en cambio la que está ligada al cromosoma X, afecta a ambos sexos; pero teniendo presente que si la misma se debe a un gen recesivo afecta solamente al varón que lo posee pero no necesariamente a la mujer, pues ésta puede encubrir mediante el otro cromosoma el otro X, la manifestación portadora de la anomalía.

Son enfermedades ligadas al cromosoma X, entre otras, el daltonismo y la hemofilia.

Daltonismo: enfermedad hereditaria ligada al cromosoma X, que

produce la ceguera para ciertos colores. Quienes padecen de esta enfermedad no pueden distinguir el color rojo del verde. Ello es debido a un gen recesivo. El hombre que tiene su cromosoma X afectado por tal gen manifiesta la enfermedad, en cambio si la mujer sólo tiene uno de los cromosomas X afectados es portadora de la enfermedad, ya que a través del alelo dominante impide la manifestación de la enfermedad. En el caso del hombre no hay individuo portador, o es sano o es enfermo.

Para simbolizar el cromosoma afectado se lo puede escribir en minúscula o subrayado: en la mujer, En el caso del hombre se puede hacer lo mismo con el cromosoma X, o en su defecto escribir un cero, pues éste cromosoma es vacío en la porción donde se halla el gen que determina la visión normal, (XY ó 0Y). d0.

Hemofilia: tiene un comportamiento similar al analizado para el daltonismo, debiéndose a un gen recesivo. En este caso si hay homocigosis recesiva es letal y produce la muerte a quien la posee.

Herencia holándrica: en la especie humana son pocos los casos que se conocen, entre ellos se citan la ictiosis, (ictios = pez); el hombre presenta una piel escamosa, de allí el nombre. De acuerdo a la información serán los hijos varones y las hijas mujeres de una pareja donde el hombre es ictiósico.

Linkage o ligamiento

Cada cromosoma contiene un número elevado y casi siempre desconocido de genes. Todos los genes de un mismo cromosoma están ligados.

La posibilidad de separar estos genes es mediante el crossing over o intercambio y la misma es mayor cuanto más separados estén los genes entre sí. Mediante esto se pudo construir el mapa de posición de los genes.

Herencia influenciada por el sexo

Este tipo de herencia es independiente de los cromosomas sexuales, pero es debido a las diferentes hormonas propias a cada sexo; una misma

Aberraciones Cromosómicas

Todos los individuos de la misma especie están definidos por la constante cromosómica que implica tener igual cantidad (en todas las células somáticas) y además tener igual calidad de los cromosomas; no basta que los cromosomas sean numéricamente iguales y esa igualdad implica formas, dimensiones, etc., iguales. Todo desvío a la constante cromosómica constituye un caso de aberración cromosómica.

La descendencia de una pareja donde una mujer daltónica y un hombre sano está integrada por **todos hijos daltónicos y mujeres todas portadoras.**

- La descendencia de una pareja de daltónicos comprende **hijos e hijas todos daltónicos.**
- La descendencia de una portadora y un daltónico está integrada por **hijas enfermas o portadoras o hijos enfermos o sanos.**
- La descendencia de una portadora y un hombre sano comprende **hijas que pueden ser sanas o portadoras e hijos sanos y enfermos.**
- La descendencia de una mujer y un hombre sanos comprende **todos hijos e hijas sanos.**
- La descendencia de una mujer sana y hombre enfermo está integrada por **varones todos sanos y mujeres todas portadoras.**

combinación génica tiene distinta expresión según el sexo que afecta al que lo posee. Por ejemplo, la calvicie se expresa más en el varón que en la mujer y ello es debido a que en el varón se expresa tanto en homocigosis como en heterocigosis y es debida a un gen recesivo, pero que manifiesta un comportamiento dominante debido a la acción hormonal que ejerce su efecto inhibitorio sobre el gen normal; en la mujer se expresa sólo en homocigosis.

Las aberraciones o anomalías pueden ser numéricas o de posición.

1. Aberraciones que implican cambio en el número de cromosomas: puede afectar a dotaciones completas de cromosomas o solamente algún o algunos de los cromosomas del patrimonio, de modo que el individuo tiene cromosomas de más o de menos.

- **1.1. Cambios que afectan las dotaciones completas:** se admite que en estos casos el número de cromosomas se mantiene balanceado. Hay

casos en que presentan las células somáticas un sólo juego: es un caso de MONOPLOIDÍA: por el contrario si el individuo tiene varios juegos (3, 4, 5, etc.) se los conoce como POLIPLOIDÍAS. Serán individuos triploides, tetraploides, pentaploides. En el caso en que se deban a multiplicación o duplicación del complemento cromosómico se conoce como autopoliploidía y si se tratara de cruzamientos interespecíficos se conocen como alopoliploidías.

- **1.2. Cambios que afectan el contenido de una sola dotación:** estas aberraciones se conocen como aneuploidías o heteroploidías. Entre ellas podemos mencionar:
 - 1.2.1. Monosomías: Se deben a la pérdida de un cromosoma en cualquiera de los pares. Síndrome del antimogolismo, se debe a la pérdida de un cromosoma en el par 21. Entre las monosomías se cuentan el Síndrome de Turner, definido por la fórmula $44+X0$, donde falta el otro cromosoma sexual. En este caso quien lo padece es una mujer con agenesia ovárica (falta de ovarios), por lo tanto estéril, además de tallas bajas y presentan un pliegue cutáneo que se extiende desde las mastoides hasta los hombros. La fórmula $44+0Y$ es inviable y se produce un aborto temprano de este embrión.
 - 1.2.2. Trisomías: está definida por la existencia de tres cromosomas en un par; en este caso el individuo tiene un total de 47 cromosomas. El Síndrome de Down afecta principalmente al par 21. Son proclives a hacer complicaciones respiratorias graves.
 - Entre las trisomías que afectan a los cromosomas sexuales figuran el Síndrome de Klinefelter debido a la tenencia de dos o más cromosomas X, pero en un varón (XXY,

XXXY, XXXXY). Son individuos muy inestables, emocionales y son fértiles. Presentan la característica cromatina sexual, en forma de dos o tres manchas depende de la cantidad de X que haya duplicado. En el caso de la mujer constituyen las superhembras bajo la forma XXX, XXXX, etc., reconociéndose por la intensidad de la cromatina o por la cantidad de la misma.

- 1.2.3. Polisomías: se conocen como tales a las tetrasomías, pentasomías. Son muy raras en los cromosomas autosómicos pero más comunes en los sexuales, caso del Síndrome de Klinefelter, o de las superhembras.
- 1.2.4. Nulisomías: Implican la inexistencia de un par de cromosomas o sea que falta completamente un par cualquiera; en la especie humana es inviable.
- **2. Aberraciones que afectan el número o posición de los genes:** afectan a una parte del cromosoma o lo afectan como unidad funcional al producirse en el mismo cambios de posición.
 - **2.1. Cambios que afectan el número de genes dentro del cromosoma:** la integridad del cromosoma queda afectada por la pérdida de una parte del cromosoma.
 - 2.1.1. Pérdida o delección: también conocida como deficiencia, se debe a la pérdida de un segmento del cromosoma: la misma será más severa cuanto más extensa sea, pues afectará mayor número de genes. El cromosoma tiene una longitud menor que el normal.
 - 2.1.2. Duplicación: Se debe a la duplicación de un segmento de un cromosoma y ello implica la repetición de los genes contenidos en él. El cromosoma tiene una longitud mayor que el normal.

- 2.2. Cambios que afectan la disposición de los genes dentro de los cromosomas:
- 2.2.1. Inversión: Comprende la rotación en 180 grados que afecta a una parte del cromosoma y tal rotación afecta el ordenamiento natural de los genes. La inversión puede afectar al centrómero, en tal caso se llama pericéntrica. Cuando la inversión no lo afecta se llama paracéntrica. Si la inversión afecta a un solo par de cromosomas se llama heterocigótica y si afecta a ambos se llama homocigótica.
- 2.2.2. Translocación: es un reordenamiento que ocurre en el cromosoma, debido a un intercambio de cromosomas no homólogos; de ello resultan nuevas formas cromosómicas. Por cierto que esta aberración implica la alteración en los miembros de dos pares de cromosomas y puede ser heterocigótica si en cada par es afectado un homólogo, pero si son afectados ambos homólogos es homocigótica.

El Cáncer y la Información Genética

En la medida en que la genética del ser humano es mejor comprendida, se conoce un mayor número de factores genéticos relacionados con el desarrollo de tumores malignos.

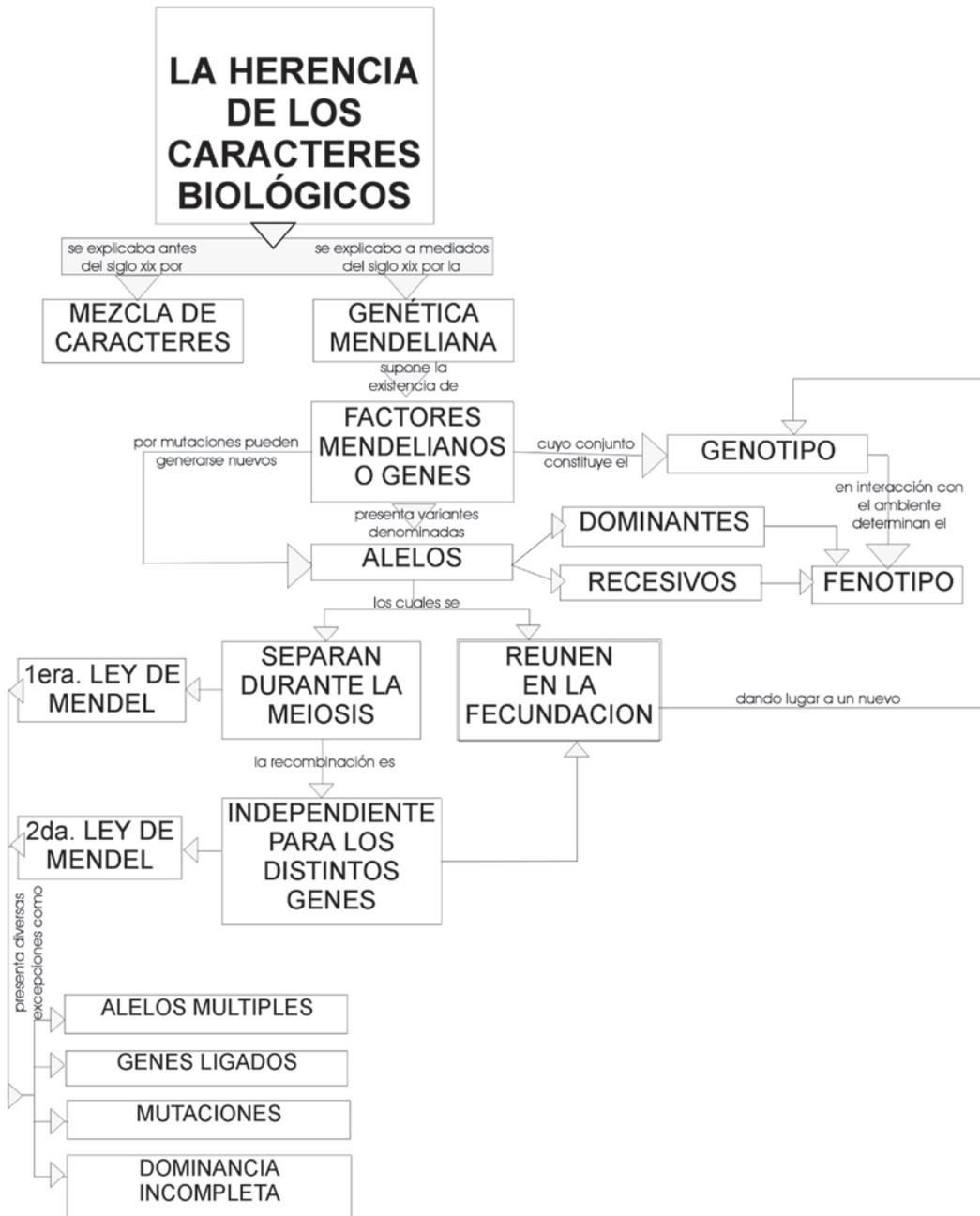
La descripción de familias con más de un miembro aquejado con tumores infantiles, como el retinoblastoma, neuroblastoma, o el tumor de Wilms, fue uno de los primeros hallazgos que llevaron a pensar en un componente hereditario, genético en la etiología del cáncer.

Algunas técnicas nuevas de coloración de cromosomas permitió identificar bandas únicas en cada región, asimismo identificar alteraciones estructurales en los cromosomas como reordenamiento pérdida de materia (cada vez se encuentran más alteraciones cromosómicas en los cariotipo de las células tumorales y cada vez son más los tumores en los que se describen estas anomalías).

Los mayores avances en el campo de la citogenética tumoral se han producido en las leucemias y en los linfomas, probablemente en relación con la mayor facilidad de obtención y procesamiento de la muestra.

En más del 80% de las leucemias agudas no linfoblásticas (LANL) se evidencian alteraciones cromosómicas que son adquiridas y que por lo tanto sólo se encuentran en las células malignas. Las anomalías más frecuentes observadas son: la trisomía la translocación t (8:21), la t (15:17) y pérdida de un cromosoma sexual. Inclusive parece existir una correlación entre el cariotipo de la LANL en el momento del diagnóstico y del pronóstico de la enfermedad. Por ejemplo la translocación t (8:21) se asocia con un mayor índice de remisión completa.

En el 90% de los casos de leucemias mieloides crónica (LMC) se evidencia una translocación t (9;22). Esta alteración lleva el nombre de Cromosoma de Filadelfia (Ph1) y corresponde a un cromosoma 22 que ha perdido la mayor parte del brazo largo. El lugar de rotura del cromosoma 9 puede variar de enfermo a enfermo, pero la rotura del 22 se produce siempre en el mismo lugar y coincide con el intercambio de dos oncogenes.



En relación al retinoblastoma, los estudios de cariotipo suelen ser normales, sin embargo el retinoblastoma bilateral sí se relaciona en muchas ocasiones con deleciones o translocaciones del cromosoma 13.

Los grandes avances en el campo de la Biología molecular con las técnicas de ADN recombinante han mostrado que el cáncer es la consecuencia de una alteración genética. Basta la inserción en el genoma de células en

cultivo de un gen con una sola mutación, un solo cambio de nucleótido por otro, para convertir células normales en células transformadas. No obstante el desarrollo de tumores naturales es un proceso más complejo, que implica a más de un gen y que incluyen no sólo la pérdida del control del crecimiento y diferenciación sino la habilidad de la célula transformada para abandonar su emplazamiento original a través la matriz intercelular y la pared de los vasos, evadirse del sistema y encontrar puntos favorables para seguir creciendo.

Aunque la información acerca de los genes implicados en la transformación celular es todavía limitada, se han caracterizado una serie de genes que participan en la regulación de la división y diferenciación celular, en los mecanismos de progresión tumoral, en la respuesta inmunitaria y en la resistencia a quimioterapia y radioterapia.

A continuación se detallan los genes mejor caracterizados:

- **Oncogenes:** pueden ser genes celulares (proto oncogenes activados) o genes de origen viral sin ninguna homología con los genes eucariotas. Los dos tienen la capacidad de convertir las células normales en células tumorales o la progresión de un fenotipo poco maligno a otro de mayor malignidad.

Al activarse, un proto oncogen experimenta un cambio en su secuencia o en su expresión que tiene un impacto significativo en la actividad biológica de la proteína que codifica. La activación puede producirse por mutaciones,

deleciones, inserciones de promotores víricos cerca del proto oncogen, translocaciones que colocan al proto oncogen próximo a potentes promotores de otros genes, etc.; en todos los casos la consecuencia es la transformación antes mencionada.

- **Genes supresores:** estos genes actúan en condiciones normales suprimiendo la proliferación celular; si estos genes se alteran o se pierden el resultado es el crecimiento descontrolado de las células. Contrariamente con lo que ocurre con los oncogenes, es necesario que fallen los dos alelos de un gen supresor para que la célula pierda un freno normal que limita la proliferación.

Genética, Biotecnología y Nosotros

Cuando se intenta averiguar los orígenes de algún elemento de la cultura, nos enfrentamos al problema de definir los alcances del concepto que se quiere historizar, lo cual no es sencillo muchas veces. En nuestro caso, un ejemplo son las fermentaciones alcohólicas para obtener cerveza: se conocían desde varios miles de años antes de nuestra era; pero no debemos remontar las actuales prácticas biotecnológicas al paleolítico. Si bien las materias primas y los productos son en parte similares, los fundamentos teóricos y los procedimientos son diferentes.

Las historias de las Ciencias Biológicas y de la Tecnología se entrelazan al intentar realizar una historia de la biotecnología. Abordar este tema escapa a los objetivos de este curso. Pero se cree conveniente indicar, que

la secuencia histórica de eventos y descubrimientos de las ciencias de la vida relacionados con las biotecnologías tiene un carácter de múltiples interpretaciones, sobre todo por ser muchos de ellos muy recientes.

Sin temor a equivocarnos podemos decir que la actitud de la población en general hacia las ciencias oscila desde el deslumbramiento total hasta el rechazo contumaz; ambos extremos, son producto de la mitificación de la ciencia y la incomprensión respectivamente.

Esta discusión entre los que se maravillan y los que rechazan los avances del conocimiento biológico se ha tornado más crítica al aparecer últimamente en escena una nueva fuente de asombro: nuestra propia habilidad para manipular las células, los tejidos y hasta la información genética de los seres vivos, incluido el mismo hombre.

Las intervenciones humanas sobre los otros seres vivos y el ambiente, frecuentemente producen consecuencias negativas: deforestaciones a gran escala, la quema masiva de combustibles fosiles, la desertificación, las extinciones aceleradas de nuestras especies, muchas de ellas aún no identificadas, y la destrucción de hábitats. Éstos son algunos ejemplos extraídos de una extensa lista de los efectos causados por las acciones antrópicas o manipulaciones del hombre sobre la ecósfera.

En esta sección sólo nos referiremos a la posibilidad de un tipo específico de manipulación de los seres vivos, a partir del desarrollo de una de las áreas de la biología aplicada a la

tecnología que posee en este momento el potencial de afectar nuestras vidas y nuestra comprensión de la Vida más que cualquier otra rama del conocimiento humano.

La Biotecnología involucra las nuevas técnicas de investigación molecular y que precisamente ofrecen las herramientas para afectar la vida como nunca antes fue posible y es sobre este punto que se invita a reflexionar, ya que constituye un dilema propio de nuestros tiempos. Frente a esta verdadera revolución biológica que está ocurriendo a nuestra vista creemos que conviene adoptar una actitud abierta, sanamente crítica, que nos permita valorar las ventajas y alertar sobre las desventajas, las cuales no son pocas.

¿Qué es la ingeniería genética? Es el conjunto de técnicas que permiten aislar genes y estudiarlos, para luego modificarlos y transferirlos del organismo de origen o otro. Desde que la Biología dispone de estas técnicas puede intervenir en el patrimonio genético de los seres vivos.

La ingeniería genética ha demostrado su utilidad: permite el estudio de los genes y sus mecanismos de acción así como sus aplicaciones técnicas, especialmente en los sectores agroalimenticios y farmacéuticos. Además de otra consideración, ¿cabía soñar hace 15 años atrás, que un niño hemofílico podría curarse mediante el «trasplante» de un gen? Actualmente esa posibilidad se estudia seriamente. Existen proteínas producidas por microorganismos: interferón, hormona del crecimiento humano, insulina, Interleukina 2, etc. Otra importante

forma de utilización de la manipulación genética es la producción de cepas bacterianas capaces de alimentarse de compuestos tóxicos, como los químicos liberados por el hombre en grandes cantidades en diferentes procesos industriales y que resultan imposibles de degradar. Sin embargo, no todo lo que ofrece son bondades, los riesgos existen, como por ejemplo: ¿sería posible que introduciendo un gen de cáncer en una bacteria, siempre susceptible de diseminarse y proliferar, se provocara una epidemia de esta enfermedad? ¿O que un «sabio» pagado por alguna organización criminal introdujera en una bacteria similar el gen de una toxina letal y se entregara a un terrorismo imparables? Estos eran los temores de la década del 70, pero

nuestro concepto de los peligros tienen hoy un cariz diferente: hoy lo que más se teme a largo plazo son los efectos que la diseminación de los organismos genéticamente modificados pueda tener sobre los ecosistemas. Y cabe la pregunta: ¿poseemos realmente los medios para apreciar estos riesgos y consecuencias?

La prevención de los riesgos de las biotecnologías y de la ingeniería genética, sugiere que los mismos investigadores y los responsables administrativos informen de manera objetiva acerca de las implicancias sociales y ambientales que las prácticas biotecnológicas conllevan. De ese modo, los ciudadanos estarán en condiciones de aportar creativamente al debate.

CAPÍTULO 8

- **Sistema reproductor femenino.**
- **Sistema reproductor masculino.**
- **Ovogénesis.**
- **Espermatogénesis.**
- **Conducta sexual humana.**

AUTORA: Biol. Raquel Murialdo

Sistema Reproductor

Si existe una característica de los sistemas vivientes que sea particularmente excepcional es la capacidad de reproducirse y perpetuar la especie. Para la supervivencia de cada especie es necesario que sus miembros individuales se reproduzcan; y es el sistema reproductor quien asegura que los individuos se perpetúen a través del tiempo.

En el humano, como en otros mamíferos, los procesos reproductores incluyen formación de gametos, cambios cíclicos en el cuerpo de la mujer en preparación para el coito, fecundación, embarazo y lactancia. Todos fenómenos regulados y coordinados de una manera precisa por la interacción de diferentes hormonas.

Hombres y Mujeres, distintos por fuera y dentro

Hombres y mujeres además de diferenciarse por sus caracteres sexuales secundarios, poseen sistemas reproductores diferentes.

Sistema Reproductor Femenino

Caracteres sexuales primarios:
los ovarios

Los **ovarios** son órganos pares, del tamaño de una nuez, situados a los lados del útero y se comunican con él mediante las trompas de Falopio. Tienen una doble función, endócrina, secreta hormonas como el estrógeno y progesterona, y genera los gametos femeninos llamados óvulos.

En un corte por el ovario se reconocen el epitelio germinal que lo recubre y dos zonas: una central llamada médula o zona vascular, rica en vasos sanguíneos, linfáticos y nervios, y la otra más ancha, ocupa toda la periferia: es la corteza formada por un estroma compacto, rico en células. El estroma cortical, forma una capa fibrosa, densa, la túnica albugínea.

En el estroma cortical encontramos numerosos agrupamientos celulares o folículos en diferente grado de desarrollo. Los folículos primarios ocupan la parte externa de la corteza y están formados por una ovocita primaria rodeada por una capa de células planas o células foliculares granulosa. Los folículos secundarios se encuentran en la parte más profunda de la corteza y son de mayor tamaño que los anteriores; la ovocita es de mayor tamaño y desarrolla una cubierta celular llamada zona pelúcida, en tanto las células foliculares, que eran planas, se vuelven cilíndricas para formar una cubierta estratificada, producto de sucesivas mitosis. Además se forman pequeños espacios intercelulares que se llenan de líquido folicular segregado por las células. En el transcurso del desarrollo del folículo estas pequeñas cavidades forman un antro folicular. Mientras tanto, las células del estroma adyacente se diferencian formando nuevas cubiertas: las teca interna (secretan estrógeno) y externa. El folículo maduro o De Graf ocupa todo el espesor de la corteza y hace protrusión sobre la superficie del ovario, en una zona donde se ha adelgazado la túnica albugínea y la teca folicular; esta zona se llama estigma y señala el lugar donde se producirá la salida de la ovocita,

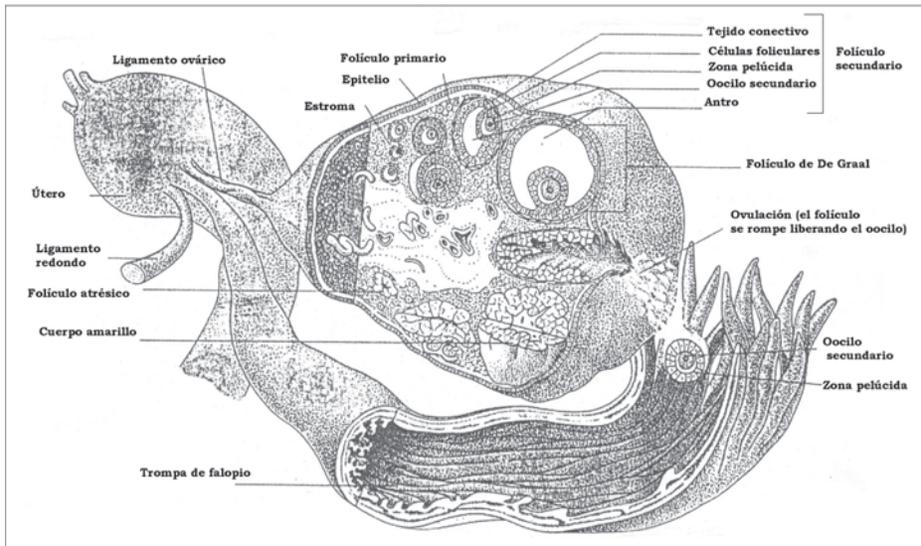


Fig.7.1. Corte de un ovario con las diferentes estructuras que se alojan en su interior.

en el momento de la ovulación. En este momento la ovocita exhibe la zona pelúcida bien desarrollada y rodeada por varias capas, corona radiata o radiada.

Otras estructuras que forman parte del ovario son: los **folículos atrésicos**, folículos que están en franco proceso de degeneración ya que en algún momento debieron interrumpir su desarrollo; el **cuerpo lúteo** o amarillo formado por restos foliculares que quedan en el ovario; secreta progesterona. Los **cuerpos albicans** son los restos de cuerpo lúteo en diferentes etapas de desintegración, una vez que éste ha cumplido la función.

Caracteres sexuales accesorios

El sistema reproductor femenino, como se puede observar en el esquema, consta de las **trompas de Falopio** u

oviductos, de aproximadamente de 10 cm de longitud, que desembocan en el útero, que a su vez se comunica con el exterior a través de un conducto, la vagina.

Las trompas u oviductos, reciben los óvulos maduros, y por medio de movimientos peristálticos, producidos por los músculos de sus paredes, provocarán el desplazamiento del óvulo hacia el útero. En sus extremos tienen unos apéndices en forma de dedos que se extienden sobre la superficie del ovario, alcanzando el folículo maduro para asegurar que el folículo entre a la trompa y no se pierda en el abdomen. Son órganos musculares recubiertos por numerosos pliegues y por cilios cuyos movimientos ayudan a los movimientos del óvulo. La llegada del óvulo al **útero** demora unos tres días, y es durante este recorrido que el óvulo puede ser fecundado.

El órgano que aloja, nutre y protege al embrión y feto es el **útero**. Es un órgano hueco cuyas paredes están formadas por varias capas, la capa interna o **endometrio**, indispensable para la fijación y nutrición del embrión, una capa intermedia formada por músculo liso, los que con sus contracciones expulsan al bebé en el parto, y una capa externa constituida por tejido elástico. La parte inferior del útero, un estrecho canal llamado **cérvix**, conecta directamente con la región de la vagina. El cérvix está usualmente lleno de una mucosidad especial, que la mayor parte del tiempo previene el paso de partículas hacia el útero. En el transcurso de la ovulación se vuelve ligera y acuosa y permite el paso del esperma.

La **vagina** es un conducto cuyo recorrido es paralelo al de la uretra y el recto. De unos diez o doce cm de longitud, excepto durante el coito, sus paredes permanecen pegadas unas con otra. Dado que el útero está generalmente inclinado hacia la parte anterior, la vagina y el cérvix forman un ángulo recto. Sus paredes secretan líquidos que facilitan la entrada del pene durante el acto sexual.

La región externa del sistema está constituida por la vulva y consta de dos pares de **labios**, uno externo (mayor) y otro interno (menor), los cuales ocultan la entrada de la vagina, de la uretra y del **clítoris** que es un pequeño apéndice situado en el extremo superior de la vulva, constituido por tejidos eréctiles; constituye el órgano sensorial sexual. El esquema a continuación muestra una vista anterior del aparato reproductor femenino.

Caracteres sexuales secundarios

Como caracteres secundarios consideramos: el crecimiento del vello púbico, ensanchamiento de las caderas, cambios que ocurren a nivel de los huesos de la pelvis y depósitos de grasa en las caderas y muslos. El desarrollo de las glándulas mamarias.

En la aparición de estos caracteres están involucrados el sistema endócrino, hipófisis, ovarios y glándulas suprarrenales.

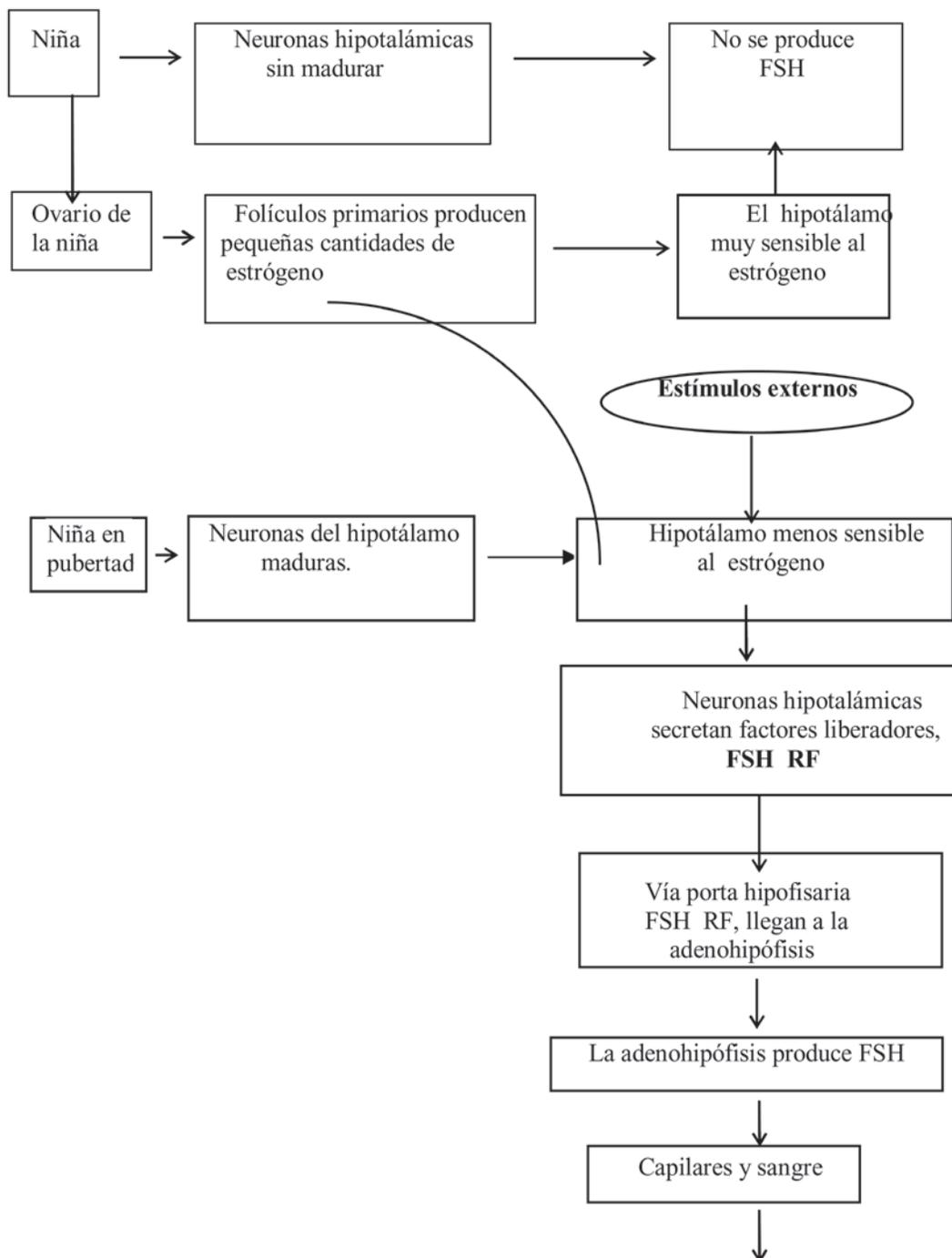
Es destacar que la madurez sexual se produce entre los 10 y 17 años, y en extremo para niñas de 5 y 17.

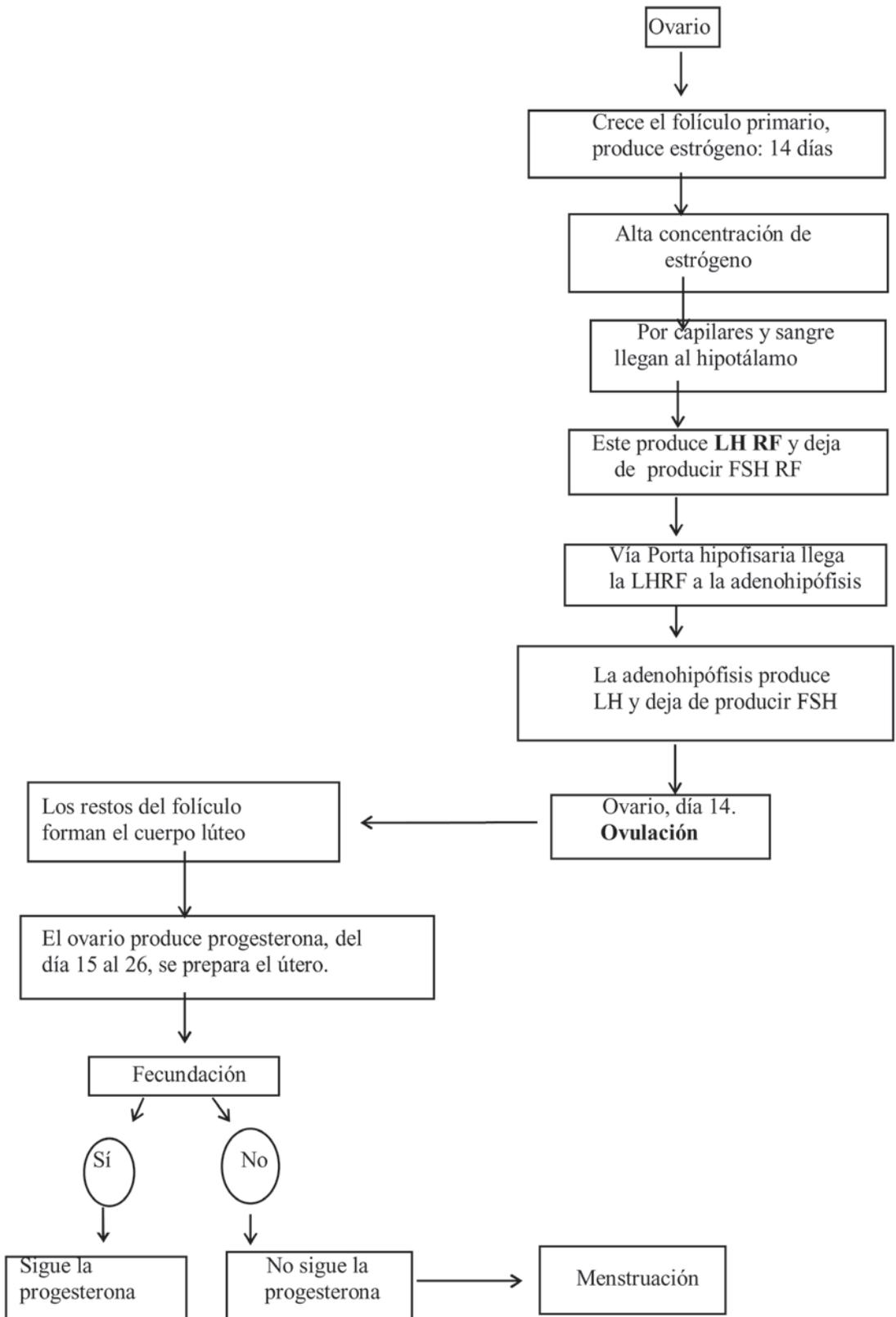
Caracteres sexuales culturales

Los caracteres sexuales culturales están relacionados con las costumbres de los diferentes tipos de sociedades. Adquieren importancia en la conducta sexual, en la fase preparatoria. En ellos se incluyen: cabello, coloración artificial de labios y ojos, depilación o no, vestimentas y distintos tipos de ornamentos.

Ciclo sexual femenino

A modo de complemento a lo que se verá en Sistema Endócrino, proponemos analizar el siguiente cuadro:





Sistema Reprodutor Masculino

A diferencia del sistema reproductor femenino, que se localiza en el interior del cuerpo, el masculino es en su mayor parte externo. Los órganos genitales externos visibles son el pene y los testículos.

Los **testículos**, órganos pares, tienen la función de una glándula endócrina y la de productores de espermatozoides. Los testículos se alojan en el **escroto** (cubierto por bello púbico, generalmente más oscuro y corto que el cabello de la cabeza; tiene uno o dos grados menos que el cuerpo). La capa externa de los testículos es la **túnica albugínea**, a su vez recubierta por varias estructuras. Puesto que descienden de la cavidad abdominal al escroto antes del nacimiento, dicho descenso lo hace acompañado de las diferentes hojas de la pared abdominal.

El parénquima testicular está dividido en numerosos **lobulillos** por tabiques interlobulillares que parten de

la túnica albugínea. Los lobulillos están ocupados por los **túbulos seminíferos**, que son las unidades estructurales y funcionales del testículo. Son estructuras contorneadas de sección circular revestidas por epitelio estratificado que descansa sobre una membrana basal. En este epitelio reconocemos 2 tipos de células, las **de Sertoli** (nutrición) y las **células germinales, espermatogonias, espermatoцитos primarios, secundarios, espermátides y espermatozoides inmaduros**. Entre los túbulos seminíferos se encuentran **las células de Leydig** (intersticiales y las que producen la testosterona). Observe el esquema del corte por un túbulo seminífero, con las diferentes células que lo componen.

Los túbulos seminíferos de cada testículo se unen para formar los **conductos seminíferos**, los cuales atraviesan la pared testicular, convergen en el **epidídimo**, un tubo oblongo que recubre el testículo. El epidídimo de cada testículo desemboca en el **conducto deferente**, de gruesas paredes que finalmente conduce la esperma a la uretra.

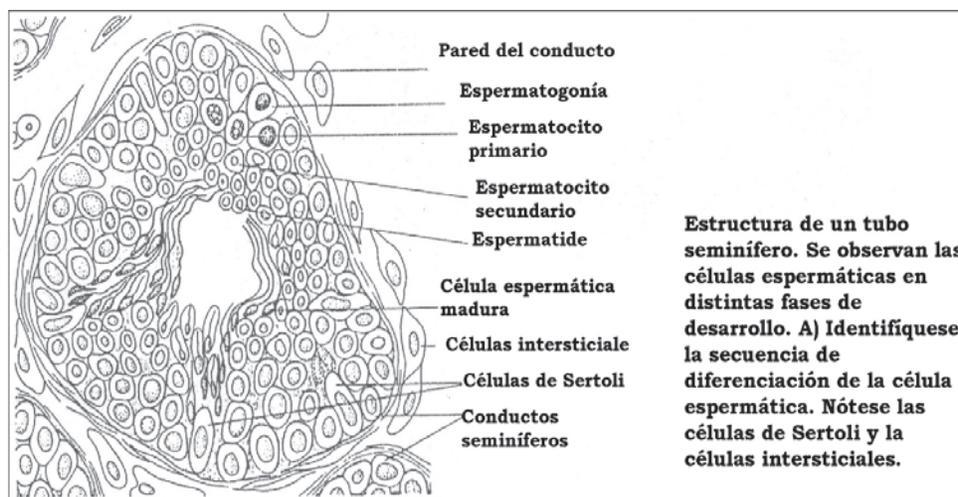


Fig.7.2. Túbulo seminífero

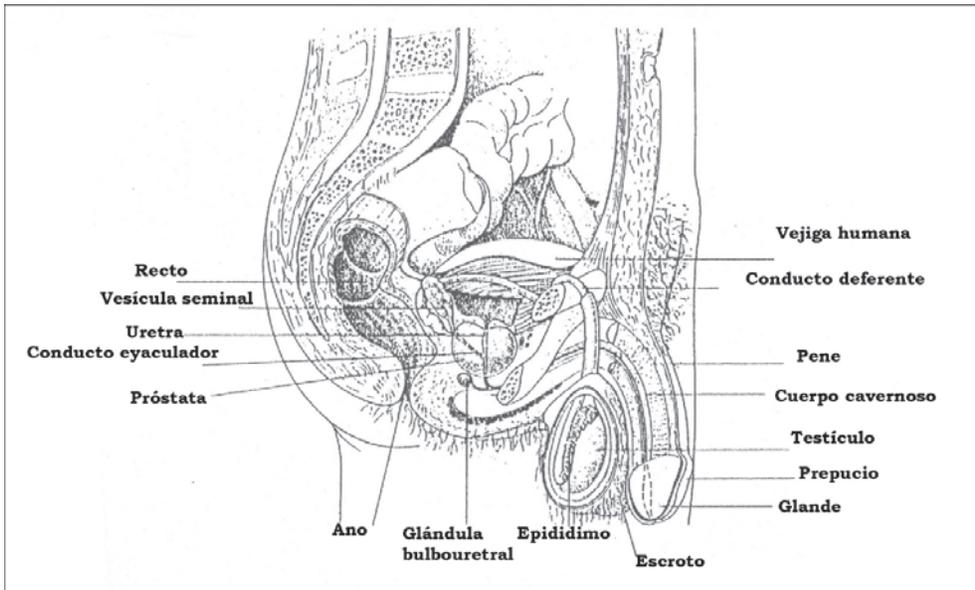


Fig.7.3. Esquema del aparato reproductor masculino con los órganos que lo componen.

En su paso por el epidídimo, que dura cerca de tres semanas, el espermatozoide alcanza su estado final de maduración. A partir de la pubertad se producen de 100 a 200 millones de espermatozoides por cm³.

Las **vesículas seminales**, en las que el espermatozoide puede ser almacenado; la **próstata**, las **glándulas de Cowper** y las **de Litre**, constituyen las glándulas accesorias masculinas.

El semen es una compleja mezcla de sustancias químicas, rico en proteínas y fructuosa; aparentemente es la fuente de energía del espermatozoide, los espermatozoides son la fracción celular del semen y llevan los cromosomas masculinos.

La uretra, que es el conducto que atraviesa el interior del pene y se comunica con el exterior, en ocasiones conduce la orina y en otras el semen.

En ocasión del acto sexual los músculos que rodean el cuello de la vejiga se cierran para evitar el paso de la orina al fluido seminal.

El **pene** es un órgano copulatorio eréctil adaptado para conducir el semen hasta el interior del aparato reproductor femenino. Consta de un tallo largo cuyo extremo engrosado se denomina **glante**. Parte de la piel floja del pene, se pliega y cubre la porción proximal del glante, **prepucio**. Por debajo de la piel, tiene tres columnas paralelas de tejido eréctil o **cuerpos cavernosos**. El tejido eréctil consta de grandes vasos sanguíneos llamados sinusoides venosos. En la excitación, los impulsos hacen que las arterias penianas se dilaten y así la sangre penetra en grandes cantidades en los vasos del tejido eréctil. Así el tejido se llena de sangre, se va hinchando, comprimiendo las venas que drenan la sangre del pene y reduciendo el riego sanguíneo del resto del cuerpo.

De este modo, puesto que entra más sangre de la que sale, el tejido eréctil se satura con ella y el pene entra en estado de erección; durante la erección el pene crece en longitud y diámetro y se vuelve más firme.

En el sistema reproductor masculino se consideran caracteres sexuales primarios a los testículos, caracteres accesorios al escroto, conductos espermáticos (red de Haller, epidídimo, conducto deferente, vesículas seminales) y glándulas anexas (próstata, de Cowper y de Litre).

Los caracteres sexuales secundarios: barba, pelo en el cuerpo, ensanchamiento de la espalda, timbre de voz más grave. Tiene relación con el sistema endócrino, glándula suprarrenal y

células de Leydig del testículo.

Los caracteres sexuales culturales, el cabello, coloración artificial, depilación, tipo de vestimenta, ornamentos, entre los más destacados.

Gametogénesis

Se entiende por gametogénesis el proceso por el cual se producen en las gónadas (ovarios y testículos) las gametas (óvulos y espermatozoides) a partir de las células germinales y por el proceso de división celular ya conocido como meiosis. La producción de las gametas femeninas se denomina ovogénesis y el de las gametas masculinas espermatogénesis.

Ovogénesis

Se produce íntegramente dentro

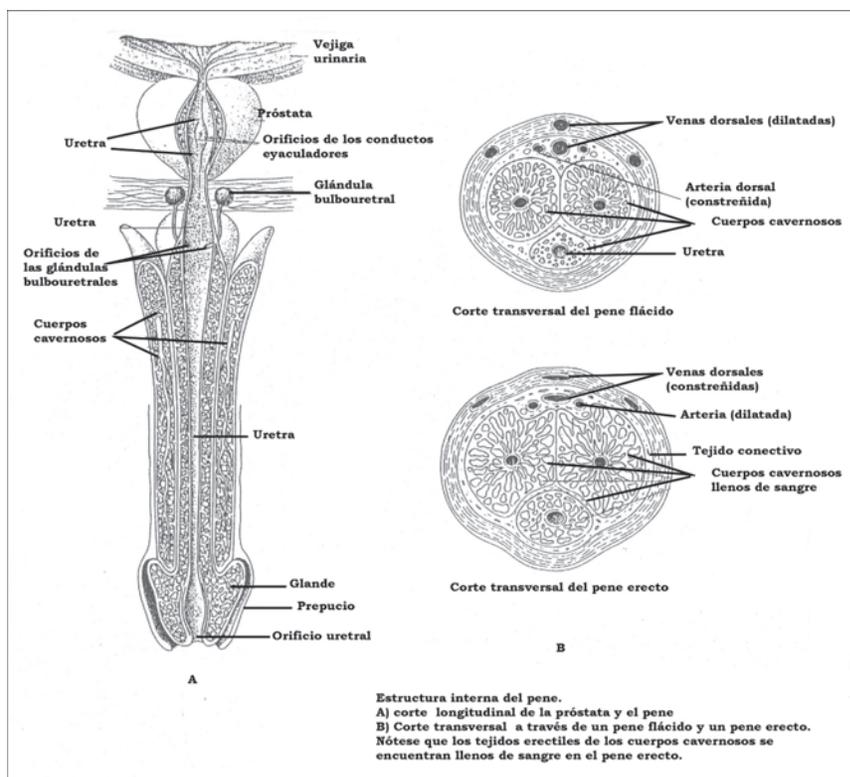


Fig.7.4. Estructura del pene: a) próstata y pene b) y c) corte transversal.

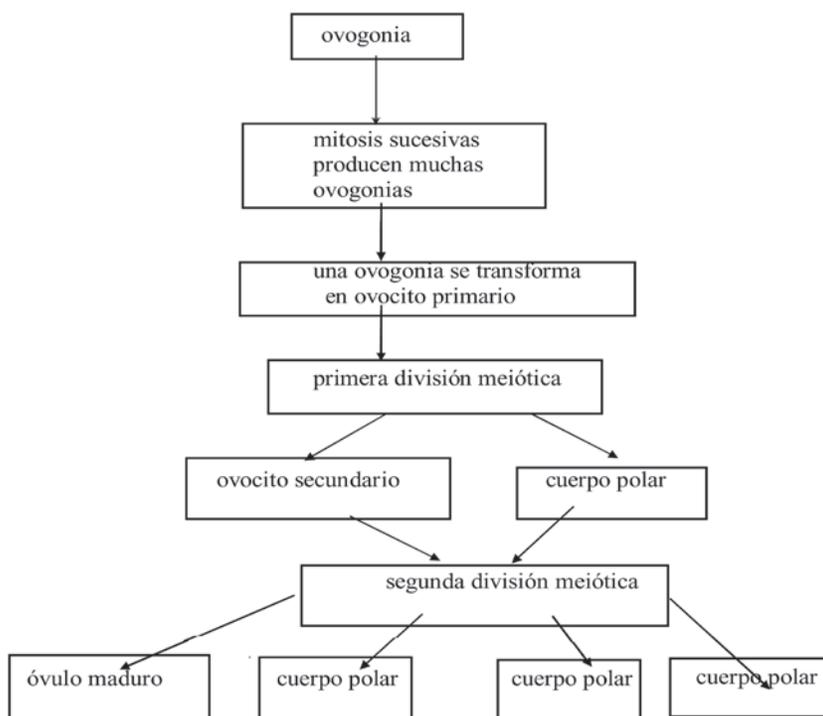
de los ovarios. Cuando una niña nace tiene entre 40000 y 300000 ovocitos, de los cuales sólo llegará a ovular 500 aproximadamente, por lo que luego del nacimiento se trata más de una maduración de los óvulos que de formación. La ovogénesis se puede resumir en el siguiente cuadro:

La primera división meiótica ocurre en el quinto mes de vida intrauterina de la niña. Cuando nace tiene entre 40000 y 300000 ovocitos primarios, en la pubertad ya quedan entre 10000 y 30000 y sólo unos 500 maduran totalmente en la vida de la mujer. En el momento de ovocito primario, la cantidad de cromosomas es de 44 somáticos y 2 sexuales y en el ovocito secundario es de 22 somáticos y uno sexual. La maduración de los óvulos cesa con la llegada de la menopausia, no porque dejen de llegar las hormonas al ovario, porque igualmente llegan.

Espermatogénesis

Este proceso se produce en los túbulos seminíferos, a partir de las células especiales del epitelio que se dividen y dan origen a los espermatogonios, células madres de los espermatozoides.

La espermatogénesis ocurre íntegramente en el varón luego de que nace; no se producen cuerpos polares, todos son espermatozoides, los cuales se caracterizan por poseer una cabeza, un segmento intermedio y la cola. La cabeza tiene la forma de disco aplastado y contiene los cromosomas, (22 somáticos y 2 sexuales); adelante del núcleo se localiza el acrosoma; éste es básicamente lisosomas que contienen las enzimas para penetrar en el óvulo. En la porción intermedia se encuentran las mitocondrias, necesarias para la producción de energía para los movimientos. La cola, que le da a éste la mayor longitud, es un flagelo que



le permite realizar los movimientos ondulantes y el desplazamiento en un medio fluido.

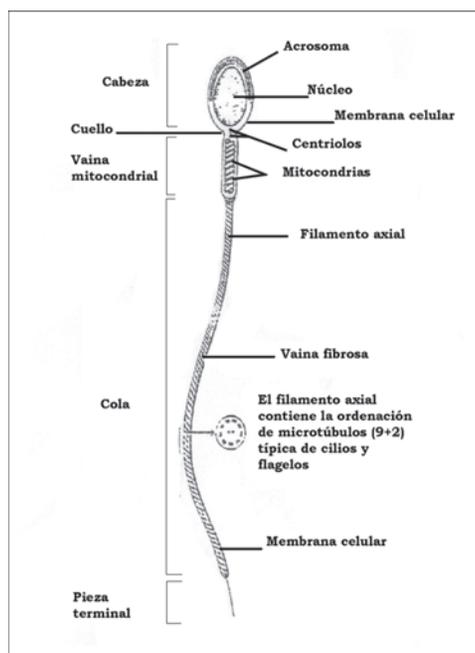


Fig.7.5. Estructura de un espermatozoide.

En las eyaculaciones algunos espermatozoides pueden ser defectuosos, poseer dos cabezas o dos colas; incluso pueden aparecer como agrumados. Si estos fenómenos se producen en gran proporción pueden ser causa de la esterilidad.

El número de espermatozoides que se pueden expulsar en una eyaculación difiere ampliamente entre los diferentes individuos: varía entre 2 y 200 millones. Una concentración de 60 millones puede estar indicando una relativa esterilidad, aunque en realidad es importante no sólo la cantidad sino el tipo de configuración y la capacidad de movimiento. El volumen de esper-

ma que se considera normal es de 2 a 5 ml.

La formación del espermatozoide es un proceso continuo que se mantiene hasta la edad más avanzada, incluso en ocasiones llega hasta el momento mismo de la muerte. El espermatozoide que no es eyaculado degenera y es absorbido.

Los espermatozoides viven entre 24 y 48 horas después de haber sido depositados en la vagina. Son sensibles a la temperatura, al PH de la vagina y a los leucocitos del epitelio vaginal.

Conducta Sexual Humana

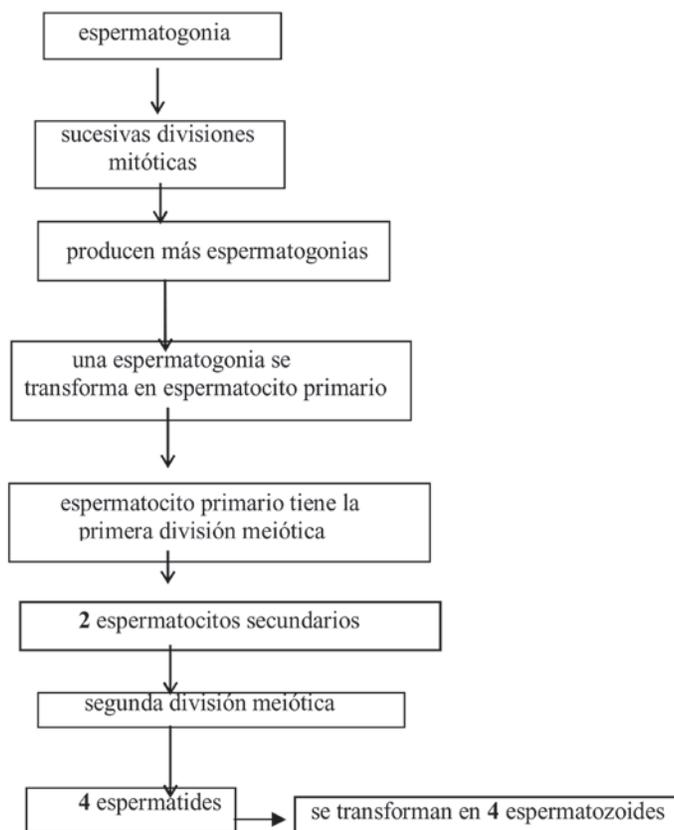
Primera aproximación

Los primates desarrollaron fundamentalmente estímulos, claves visuales antes que olfativas. La mayor parte de los estímulos fijados se hallan en las hembras, que atraen con al macho.

En la mayoría de los primates las hembras (excepto las humanas) tienen período de celo. En ésta época la receptividad sexual se intensifica. La hembra ovula y muestra signos de alta excitabilidad. Además se puede observar:

- • Cambios de color y apariencia en las zonas próximas a los genitales.
- • Muestra determinados patrones de conducta, describe por ejemplo movimientos alrededor del macho para copular.

Un chimpancé macho no se acopla hasta que es estimulado por el olor de la hembra en celo. Ignora las invitaciones de la hembra si está desodorizada.



En el hombre, el comportamiento sexual se ha hecho continuo a lo largo de un año y en largos períodos de tiempo (muchos años). De hecho se ha independizado del rol reproductor.

Orígenes

En este punto, cabe señalar que la conducta maternal y sexual no están totalmente diferenciadas. La acción de besar deriva del reflejo de acariciar, abrazar, estrechar manos, expresar sentimientos cariñosos e intercambiar largas miradas son típicas conductas de crianzas.

Por otra parte si hablamos de socialización, ésta tuvo un elemento desencadenante en el amamantamiento y cuidado de las crías, es decir en el

desarrollo de la conducta maternal.

Otras conductas sociales no son ni maternales ni sexuales sino respuestas adaptativas para utilizar óptimamente el ambiente.

La conducta sexual

La conducta sexual tiene o puede ser dividida en dos grandes bloques, a saber:

1. Formación de pareja
 - Formación de pareja.
 - Actividad precopulativa
2. Respuesta sexual
 - Cópula

La hormona responsable de la respuesta sexual humana parece ser

la hormona masculina testosterona. Las hormonas femeninas, estrógeno y progesterona, no parecen tener importancia en el instinto sexual pero sí adquieren importancia en el instinto maternal.

La testosterona se produce en los testículos del varón y en las glándulas suprarrenales de ambos sexos. La hembra, sin embargo, tiene una vigésima parte de la cantidad del varón. Dado que los niveles de esta hormona NO determinan por sí sólo el impulso sexual humano, la capacidad sexual de la mujer es comparable con la del varón. Pero las mujeres están más influenciadas por la cultura individual y social. Tampoco hay relación entre los

niveles de testosterona y el impulso sexual.

Ambos sexos tienen tendencia a responder sexualmente frente a ciertos estímulos o factores desencadenantes. Estos factores pueden ser de índoles visuales, táctiles, y gustativas o estar asociados a la pérdida del bello corporal.

Por otro lado es importante señalar que culturalmente existen algunos de estos estimulantes sexuales, por ejemplo rouge en los labios, miriñaques, mejillas destacadas, soutienes, definición de la cintura, etc.

Los nuevos desencadenantes no

HombreMujer

* labios, interior de la boca y la lengua* labios, interior de la boca y la lengua..

* partes suaves de la nariz
orejas. mejillas.

* orejas

* cuello, espalda.* cuello, espalda

* pezones.* mamas y pezones.

* ombligo* glúteos.

* base de la médula espinal.* cintura.

* zona interna de los brazos, manos, * zona interna de los brazos, manos, palma de las manos.

* palmas de las manos

* zona interna de los muslos.* zona interna de los muslos.

* planta de los pies.* parte posterior de las rodillas.

* genitales (hasta zona anal).* genitales hasta zona anal.

necesariamente son modificadores de las bases biológicas, por ejemplo la ropa, música, películas pornográficas, entre ellos.

Podemos mencionar algunos de los desencadenantes:

ACÚSTICOS:

Sonidos eróticos de la compañía sexual.

OLFATIVOS:

Existen investigaciones que indican que el producto de las glándulas sexuales y apócrinas pueden contener feromonas que provocan la liberación de hormonas.

VISUALES:

- Senos redondeados y protuberantes que semejan glúteos durante el coito.
- Enrojecimiento de área de la piel durante el coito (labios mayores, pezones)

Respuesta sexual humana

Antes de comenzar, se debe aclarar que quienes contribuyeron al conocimiento de cambios fisiológicos y anatómicos asociados a la respuesta sexual humana fueron primero Kinsel en 1940 y 20 años después Williams Masters y Virginia Johnson, quienes se sirvieron de técnicas de observación directa y medición de laboratorio para lograr sus objetivos.

La fase preparatoria puede variar ampliamente en elementos y duración, pero una vez iniciada la respuesta sexual se da una secuencia relativamente invariable y de determinados pasos que es prácticamente igual en ambos sexos.

1) Fase de Excitación.

2) Fase de Meseta.

3) Fase Orgásmica.

4) Fase de Resolución.

La capacidad sexual alcanza su apogeo en el hombre durante la adolescencia y en la mujer en la edad mediana. Es de destacar que la capacidad sexual puede durar toda la vida adulta, hasta la vejez; no hay razón fisiológica para que la actividad sexual disminuya; su duración dependerá de la práctica continuada.

Existen consecuencias nocivas para ambos sexos cuando hay frecuentes estimulaciones sexuales sin el alivio del orgasmo. En las mujeres puede ocurrir una congestión crónica de los órganos pélvicos con trastornos ginecológicos.

Una actividad sexual normal y reiterada puede aumentar en el hombre el nivel de testosterona y la capacidad sexual. En el mundo occidental hay un promedio de tres a cuatro relaciones sexuales por semana, incluyendo las prácticas masturbatorias.

Es importante aclarar, antes de analizar cada una de las fases, ciertos preconceptos que se suelen tener, como que el tamaño del pene en erección no guarda relación con la talla ni la estatura del individuo, ni está en estrecha relación con la longitud del pene flácido; pasa en general de medir de 2 a 12 cm hasta 15 ó 18 cm en erección. Su longitud, sin embargo no mantiene relación ni con la duración de la relación sexual ni con la cantidad de semen elaborado.

Las diferencias entre el hombre y la mujer en estas fases, realmente se marcan en la fase de resolución. Aquí, el hombre entra en un período refracta-

FASE	HOMBRE	MUJER
REPOSO	Pene en descanso, y testículos en la parte inferior del escroto.	Labios mayores y menores menores plegados sobre sí, el clítoris protegido en la capucha.
EXCITACIÓN	Estimulación somatogénica y psicogénica. El pene se llena de sangre, aumenta de tamaño, el escroto se comprime y levanta los testículos.	Labios mayores dilatados y menores separados, y el clítoris aumenta de tamaño por vasocongestión.
MESETA	Tensión sexual máxima, pene en erección completa, máximo tamaño y grosor, etapa con movimientos pre orgásmicos.	Sigue lo anterior, lubricación y expansión de la vagina, labios menores se dilatan, el clítoris se repliega.
ORGASMO	Comienzo subjetivo en pelvis, tensión concentrada en pene, próstata, vesícula seminal. Duración escasos segundos.	Tensión máxima en el clítoris, vagina y útero. El útero se eleva, contracciones similares a las masculinas. Puede durar más que en el hombre.
RESOLUCIÓN	Período de inexcitabilidad.	Puede volver al orgasmo, en cualquier momento de la resolución.

rio en el que ninguna estimulación es capaz de lograr una segunda erección. La duración de este período depende del individuo y las circunstancias. De acuerdo con investigaciones realizadas por Kinsey, el número medio de orgasmos por semana serían 3; sin embargo, en este estudio, los extremos estaban definidos por un individuo que había eyaculado solamente una vez en 30 años y otro que pretendía haber experimentado 30 orgasmos semanales a lo largo de un período de 30 años. En cambio en las mujeres, luego de una primera fase de resolución son capaces de experimentar un segundo, tercero o más orgasmos. En efecto, no hay ninguna razón para suponer que una mujer no disponga de la capacidad innata para lograrlo. Que lo consiga depen-

derá de un gran número de factores, incluyendo la duración e intensidad de los estímulos que reciba.

Los principales cambios fisiológicos que ocurren en la respuesta sexual humana, se pueden sintetizar en el cuadro siguiente:

Métodos Contraceptivos

Algunas consideraciones previas

En 1970 nacían 10 personas por segundo y una moría. Ello suponía un crecimiento neto de 800000 personas por día. Otros cálculos elevaban este crecimiento a 2000000 de personas.

Las tasas de crecimiento de la

población variaron de la siguiente forma:

Entre 1950 y 1955
industrializados X 1,2 % anual
no industrializados X 2,1 % anual
promedio 1,9 % anual

Entre 1980 y 1985
industrializados X 0,8 % anual
no industrializados X 2,0 % anual
promedio X 1,6 % anual

Una realidad es que la población crece, la estabilidad de los ecosistemas se reduce y la brecha entre ricos y pobres se acrecienta.

Las culturas no se ajustan necesariamente a estas realidades, de cualquier modo y en promedio, cuando mayor es el nivel cultural y de ingresos, menor es la tasa de fertilidad o de crecimiento de la población.

Clasificación de los métodos contraceptivos

1. Métodos que impiden la producción de células sexuales:

- 1.1. Inhibidores de la ovulación (píldoras y contraceptivos hormonales).
- 1.2. Inhibidores de la espermiogénesis.

2. Métodos que alteran la inseminación:

- 2.1. Coito interrumpido.
- 2.2. Preservativo masculino.
- 2.3. Esterilización masculina.
- 2.4. Diafragma vaginal.

2.5. Productos acidificantes vaginales.

3. Métodos que impiden la fecundación:

- 3.1. Ogino - Knaus.
- 3.2. Ogino - Knaus más temperatura matinal.
- 3.3. Billings sintotérmico.
- 3.4. Esterilización quirúrgica femenina.
- 3.5. Dispositivos intrauterinos.

4. Métodos que impiden la nidación del cigoto:

- 4.1. Píldora del día siguiente.

5. Métodos que evitan el desarrollo del embarazo:

- 5.1. Aborto

Estos métodos a su vez pueden clasificarse en: fisiológicos, mecánicos, hormonales, químicos, inmunológicos, y quirúrgicos.

1. Fisiológicos: en general involucran conductas de las técnicas inseminativas y el conocimiento del período fértil de las hembras.
2. Mecánicos: desarrollan su efecto en base a su presencia física, no media reacción química (aunque pueden complementarse). Por ejemplo, condón, diafragma, dispositivo intra - uterino.
3. Químicos: actúan aumentando notablemente el PH vaginal. Ello provoca una acción espermicida. Por ejemplo, pastillas espumantes,

crema vaginal, supositorios vaginales, aerosoles vaginales.

4. Hormonales: hormonas administradas que alteran o anulan la capacidad reproductiva. Por ejemplo las píldoras anticonceptivas.
5. Qurúrgicas: se evita la llegada de óvulos a la trompa y de espermatozoides a la vesícula seminal, ya sea por ligazón de trompas o por ligazón de conductos deferentes (vasectomía). En este método se incluye el aborto.

Los métodos contraceptivos: las ventajas y las desventajas

Métodos fisiológicos:

El método Ogino Knaus se puede decir que no tiene riesgos endócrinos o contraindicaciones. Pero se requiere un cuidadoso registro de un año de duración como mínimo. Cuando la mujer no tiene ciclos regulares se reducen drásticamente los días de coito. Además es casi imposible predecir la posibilidad de alteraciones que desvirtúan los cálculos, aun teniendo ciclos regulares. Por otra parte se requiere un cierto nivel cultural: en la India cuando se intentó hacer utilizar este método las mujeres contaban los días fértiles con cuentas de collares; al tiempo tuvo que ser abandonado.

El método de Ogino combinado con la temperatura: sin riesgos endócrinos, permite que la mujer conozca perfectamente su fecha de ovulación. Reduce el período de abstinencia

sexual. Como desventajas ofrece algunas como: una gripe, la ingesta de alcohol o factores similares altera el registro. Dificultades operativas del registro, otorga previsión a la segunda mitad del ciclo.

Método Billings: es semejante al anterior en cuanto a ventajas y desventajas, debe ser muy bien aprendido.

Método del coito interrumpido: la ventaja es la sencillez para llevarlo a la práctica.

La desventaja, poca seguridad: las glándulas de Cowper suele eliminar espermatozoides activos en las fases de excitación y meseta. La fase pre orgásmica es de difícil control. Es igualmente crítico para hombres con síntomas de eyaculación precoz, un pequeño retardo puede dejar una pequeña cantidad de espermatozoides en la vagina. Puede acortar la duración del coito e inclusive puede impedir que la mujer llegue al orgasmo. La mujer está pendiente de que el hombre no eyacule en la vagina, esto le produce angustia y desajusta la secuencia meseta y orgasmo femenino.

Diafragma: sencillo y no altera la fisiología femenina. Como desventajas se puede mencionar que quita naturalidad al acto. Por otra parte, hay mujeres que tienen aversión a manipular sus genitales o introducir sus dedos en la vagina. También existen imposibilidades anatómicas para utilizarlo con varios partos, desgarros vulvares, o vagina larga y dedos cortos.

Preservativos masculinos: son sencillos, económicos, permiten variantes en la conducta sexual, rugosos, es-

camados, etc. Disminuye la incidencia de enfermedades venéreas y el SIDA. Cuentan con algunas desventajas: puede romperse, quita espontaneidad al acto sexual. La mujer puede tener rechazo al profiláctico.

Dispositivos intra uterinos (DIU): cuenta con notables ventajas su acción es independiente de la voluntad y ofrece períodos muy largos de eficacia contraceptiva. Como desventajas suelen ocasionar hemorragias genitales, dolor, flujo, expulsión, existe 1 perforación de útero cada 2500 colocaciones, se pueden prolongar las hemorragias menstruales.

Métodos Químicos: son sencillos de aplicar y no interfieren significativamente con el coito. Tienen desventajas como que la efectividad es variable, pueden producir irritación vaginal y

vulvar, el no poder higienizarse y los derivados espermicidas aumentan la cantidad de flujo. Se reduce la efectividad cuando la humedad es reducida, dificulta las relaciones buco-genitales.

Métodos Hormonales: tienen la ventaja de poseer una alta efectividad y de ser independientes al coito. Las desventajas varían de acuerdo a los productos. Pueden producir vómitos, desgano, dolor de cabeza, nerviosismo, depresión, dolor mamario, aumento del vello, ya que alteran el metabolismo endócrino. No deben utilizarse en mujeres diabéticas, con trastornos hepáticos, propensas a las flebitis y trastornos del metabolismo de las grasas.

Métodos Quirúrgicos: son efectivos pero al mismo tiempo son de tipo irreversible, con efectos secundarios poco conocidos.

CAPÍTULO 9

SISTEMA NEUROENDÓCRINO. INTEGRACIÓN FUNCIONAL.

- El sistema neuroendócrino. Generalidades.
- Integración neuroendócrino funcional. Las bases de las emociones.
- Estructuras nerviosas centrales y periféricas.
- La hipófisis: estructura, hormonas y mecanismos de integración.
- El eje hipotalámico- hipofisario.
- Glándulas tiroides y suprarrenales.
- Las gónadas o glándulas sexuales.
- Glándula pineal.

Autora:
Médica Liliana Maulini

SISTEMA NEUROENDÓCRINO

INTRODUCCIÓN

El estudio del sistema neuroendócrino aborda un área que plantea, básicamente, la integración de dos sistemas biológicos, el nervioso y el endócrino u hormonal, cuyo objetivo es generar, desde el aspecto biológico, el desarrollo de conductas complejas que requieren de varios sistemas.

Ya Sigmund Freud (1856-1939) en su obra "Nuevas conferencias de Introducción al Psicoanálisis" (1932) afirma: "... *cabe la esperanza de que en el futuro el conocimiento de las hormonas nos brinde los medios para combatir con éxito los factores cuantitativos de las enfermedades...*", para concluir finalmente en "Esquema del Psicoanálisis" (1938) con una visión integradora "... *quizás el futuro podrá enseñarnos a influir directamente, mediante sustancias químicas particulares sobre cantidades de energía y su distribución dentro del aparato psíquico...*".

¿Qué nos quiere decir Freud a través de estos conceptos? Que, sin duda, ciertas conductas relacionadas con la actividad neuropsíquica tal vez se deban a la acción de "sustancias químicas" diversas, entre las cuales se mencionan las hormonas.

¿Pero de qué conductas se trata y cuáles son los procesos neuropsíquicos involucrados que dependerían de la función neuroendócrina? Se detalla a continuación un ejemplo para ilustrar estos procesos.

En la célebre novela de Albert Camus "El extranjero", el protago-

nista se encuentra velando a su madre y experimenta la extraña vivencia de sentirse "extranjero a sí mismo". Los que le rodean expresan sentimientos de dolor y pesadumbre. Él, por el contrario, no siente ninguna emoción y se asombra de sí mismo, de ese extranjero que reconoce en él, porque sabe que en esta circunstancia debería sentir dolor y que los demás sólo son participantes de su duelo, siendo él el verdadero protagonista por ser el hijo.

En este caso, la ausencia de emociones sentidas, asociada con la falta de expresiones tales como llanto o lamentos, no se debe al hecho de que la madre no sea de importancia para él, sino que su pérdida no ha conseguido activar la cadena causal entre evento, motivación y emoción que normalmente está presente en estos casos.

Sin embargo, el quiebre que existe en él, entre un evento como el que se describe y la emoción que debería manifestar revela que, en la complejidad de

la psique humana, esta relación puede ser modificada, distorsionada o inclusive faltar.

Así es como, para explicar estos fenómenos, se comenzó estudiando la base biológica de las motivaciones y necesidades que el hombre comparte con las otras especies animales (tales como hambre, sed, etc.), para posteriormente entender que las motivaciones y emociones de orden superior, que caracterizan a los seres humanos, resultan de la actividad de la mente y de la experiencia psíquica. Así se llega a la conclusión de que no se trata sólo de hechos que la mente "sufre", sino también del resultado de operaciones

activas de memoria, razonamiento, experiencias, decisiones, etc., que involucran procesos cognitivos complejos.

Por lo tanto se torna necesario conocer cuáles son las estructuras nerviosas y endócrinas que están directamente involucradas en estos complejos procesos, para identificar su participación en la génesis de conductas neuropsicológicas, tanto normales cuanto patológicas que puede expresar el ser humano.

LA TEORÍA DE LOS HUMORES

Se piensa que en el siglo V a.C., en plena época de la Grecia clásica, probablemente fue Hipócrates el autor de la *teoría de los humores*, que se basaba en describir las fuerzas generadoras del universo (cosmogonía) que se hallan en la naturaleza -sol, agua, tierra y aire- y que también generan a los seres vivientes.

Así, postulaba que todas las cosas estaban compuestas por cuatro elementos a los que él denominaba **humores**: sangre, flema o pituita, bilis amarilla y bilis negra. Según su concepción, también el hombre estaba constituido por estos cuatro elementos y su salud dependía del equilibrio entre los mismos, así como la enfermedad trastornaba su desequilibrio.

También describía las relaciones entre estos humores, el temperamento y la personalidad de los hombres, mencionando las diferentes influencias de estas sustancias sobre los órganos humanos (ej: hígado, bazo, cerebro, etc.). Lo novedoso de esta teoría es que Hipócrates, sin haber jamás constatado

la presencia de sustancias en el cuerpo, pudo sugerir la hipótesis de que éstas existieran y que además fueran responsables activas de comportamientos normales y deficitarios en los organismos.

Actualmente conocemos que diferentes sustancias (las hormonas) producidas por diversos órganos (las glándulas endócrinas), circulan por la sangre y estimulan estructuras específicas, que generan y regulan funciones esenciales en los seres vivos, tanto en la esfera biológica cuanto en el área psicológica.

“Las glándulas endócrinas, entre otras cosas, segregan nuestros humores, nuestras aspiraciones, nuestra filosofía de vida”.

Aldous Huxley.

Historia Evolutiva de las hormonas.

Durante muchos años se pensó que las hormonas eran sustancias que sólo existían en los vertebrados, o sea, en los seres vivos superiores, y que los mismos poseían este particular sistema de regulación.

Sin embargo, estudios posteriores revelaron que casi todas las especies vivientes poseen algún tipo de sistema regulatorio a través de sustancias llamadas “**feromonas**”. Con composiciones químicas diferentes (polipéptidos, esteroides, glúcidos) regulan funciones llegando acciones hormonales en los procariontes -bacterias-. Se las relaciona con el mantenimiento de la colonia bacteriana, a través de promover el crecimiento y la división celular como

así también lograr la detección del alimento y prever condiciones adversas de supervivencia entre otras.

Es en los insectos donde las feromonas evolucionaron a la función de comunicadores y atractores sexuales, a través del impacto de las emanaciones sobre receptores gustativos y olfativos del otro individuo; la endocrinología de los mismos es objeto permanente de estudio, debido a que muchos de éstos, con su reproducción explosiva, terminan por agredir a otras especies vivientes, tanto animales cuanto vegetales.

La “metamorfosis” que sufren los insectos a través del proceso de *muda* (cambio y descarte del exoesqueleto o cáscara por el estado de larva y sucesivamente pupa e insecto adulto) es mediada por hormonas, en especial una de ellas llamada *ecdisona*.

Las hormonas más antiguas que se conocen son las **peptídicas**, presentes en los organismos procariontes unicelulares, los cuales producen sustancias con acción similar a la insulina. En los insectos, hay secreciones con acción glucolítica (degradadora de azúcares) que actúan sobre la trealosa, azúcar principal de la hemolinfa de éstos. Inyectadas estas sustancias en ratas de experimentación, actúan sobre el tejido graso al igual que la insulina en los mamíferos.

Otras hormonas como los **esteroides** y las **prostaglandinas** aparecen más tardíamente en el proceso evolutivo, a partir de sustancias precursoras como el isopreno.

Otro ejemplo de evolución filogenética de las hormonas está representada por la hormona **melanocitoestimulante (MSH)**, segregada por la glándula hipófisis. La misma cumple funciones en los renacuajos, ranas, sapos, camaleones y otros animales, accionando cambios en la coloración de la piel en los mismos, a través de la dispersión de la melanina; en tanto que en el hombre está destinada a otras acciones de tipo catabólico.

Así se podría seguir enumerando la presencia y las acciones hormonales en las diferentes especies vivientes y las prácticas que se realizaban en forma habitual con diferentes animales, lo que permitió entender las primeras influencias endócrinas, siendo la primera en ser estudiada la hormona sexual masculina.

En 1849 A. Berthold, médico y profesor alemán, llevó a cabo el primer experimento con animales, castrando gallos jóvenes y observando las modificaciones que se manifestaban en el canto, plumaje, cresta y comportamiento sexual de estos animales al faltar los órganos sexuales. A través de numerosas pruebas, constató que la ausencia de los mismos afectaba las funciones sexuales y los rasgos particulares del macho, tales como el plumaje y el canto entre otros. Sin embargo, implantados nuevamente en otro sitio del cuerpo del animal, sin ningún conducto que los uniera excepto la circulación, se restablecía el comportamiento y las características propias del gallo macho que había tenido anteriormente.

Esta experiencia introduce un concepto novedoso en los mecanismos

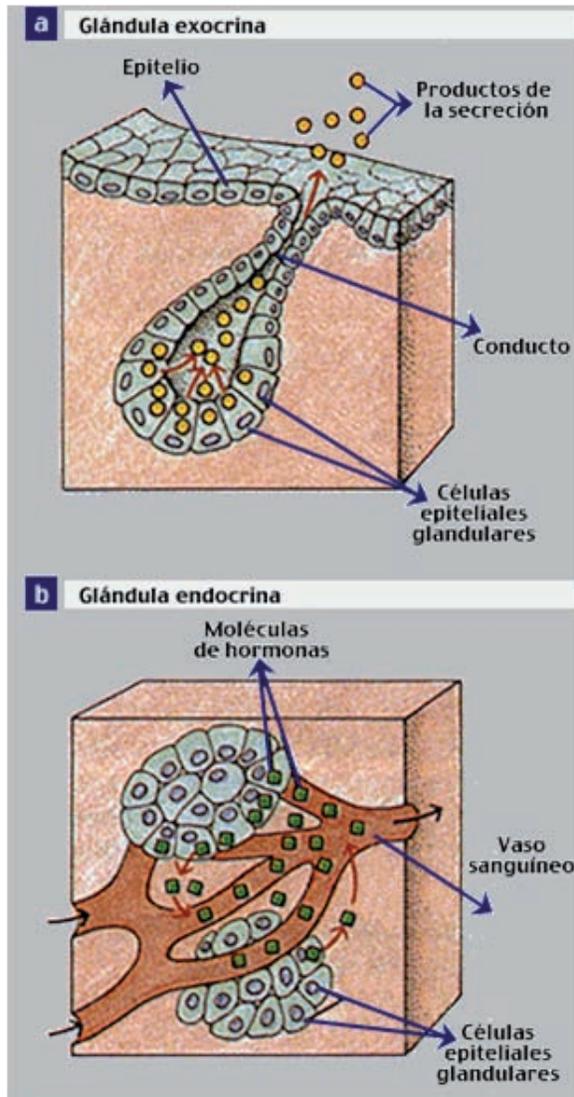


Figura 1: Tipos de glándulas

biológicos, como es el de que “**ciertas sustancias elaboradas en un órgano actúan sobre otro (cerca o lejano), siendo transportadas por la sangre para su distribución**”.

GLÁNDULAS Y HORMONAS

Las glándulas son órganos generalmente pequeños, formados por células secretoras, que pueden presentar un conducto excretor, eliminando sus

secreciones al exterior del cuerpo, o bien no presentar este mecanismo, en cuyo caso vierten sus productos en la sangre directamente, o más específicamente en los líquidos extracelulares, de donde difunden a la sangre.

Según este mecanismo, las glándulas se clasifican en:

- **Glándulas secretoras externas o Exócrinas:** son por ejemplo las glándulas sudoríparas (sudor), lagri-

males (lágrimas), mamarias, (leche) digestivas, etc.

- **Glándulas secretoras internas o Endócrinas:** sus secreciones reciben el nombre genérico de Hormonas.
- **Glándulas mixtas o Endoexócrinas:** poseen ambas funciones, tal es el caso del páncreas, que es una glándula exócrina respecto a las secreciones digestivas que van al intestino y es también un órgano endócrino, que vierte en la sangre dos hormonas: la Insulina y el Glucagón.

Pero actualmente, también deberán ser consideradas como hormonas las sustancias secretadas por ciertas neuronas, que sin constituirse las mismas en verdaderas glándulas endócrinas, producen mediadores químicos con funciones equivalentes a las hormonas tradicionales, como asimismo otros tejidos o células, que también secretan sustancias que influyen sobre el metabolismo del organismo (ej: histamina, prostaglandinas, etc.).

Los principales órganos que integran el sistema endócrino son: hipotálamo, hipófisis, tiroides, paratiroides, adrenales, gónadas, pineal y porción endócrina del páncreas. Asimismo, también existen estructuras que pueden ser consideradas como endócrinas, siendo la característica de las mismas la de ser temporarias (por ej.; timo, placenta, cuerpo lúteo).

Hormonas

El término **hormona** viene del griego "hormao" y significa excitar, estimular, poner en movimiento (término introducido por Starling y Bayliss en 1905). A la luz de los estudios en endocrinología, se entiende por "**hormona**

a toda sustancia orgánica producida por ciertas células del organismo, que, circulando por la sangre, posee efectos regulatorios específicos sobre la actividad de otras células". Estos verdaderos mensajeros químicos pueden ser elaborados tanto por glándulas endócrinas cuanto por células especiales (hemos mencionado por ejemplo las neuronas) y a diferencia de las vitaminas, son sintetizadas por el propio organismo.

Características de las hormonas

- a) Son biomoléculas de distinta naturaleza química (glúcida, esteroidea, proteica, derivados de aminoácidos) producidas por el organismo.
- Circulan por la sangre y actúan cerca o lejos, sobre células específicas llamadas órganos "**blanco o target**".
- Tienen efecto a pequeñas dosis.
- Poseen respuestas lentas pero duraderas.
- Son activadores de la actividad génica a través de la estimulación de enzimas específicas.

Mecanismo de acción de las hormonas

En condiciones normales, las glándulas secretan permanentemente cantidades mínimas de hormonas. Éstas circulan conjuntamente por la sangre, pudiendo haber entre 30 y 40 hormonas simultáneamente, siendo captadas por los órganos "**blanco**". ¿De qué manera el órgano blanco reconoce las hormonas correspondientes? A través de proteínas receptoras especializadas, situadas en la membrana celular de las células del órgano blanco; de tal manera, las hormonas afines a las proteínas receptoras se unen a ellas, para generar nuevas respuestas.

Al igual que el mecanismo ya explicado para el funcionamiento de

las enzimas, las proteínas receptoras representarían la cerradura de una puerta, y las hormonas serían los diferentes tipos de llave, donde sólo una de ellas puede activar la cerradura.

Como se dijo anteriormente, las hormonas son **activadores enzimáticos de la actividad de los genes**. Este proceso se cumple una vez realizado el mecanismo de unión de la hormona con el receptor de membrana, y podrá desarrollarse a través de dos mecanismos:

- La hormona podrá difundir libremente a través de la membrana y pasar al citoplasma, (si el tamaño de la molécula es pequeño) donde se unirá con un receptor intracelular que influye en la transcripción del ARN.
- La hormona, si consistiera en una molécula de gran tamaño, se acoplará a un receptor de membrana, el cual activará un segundo mensajero (intracelular) que estará a cargo de producir cambios en el metabolismo celular.

Si bien las glándulas endócrinas, a través de sus hormonas específicas, no crean funciones por sí mismas, se convierten sin embargo en reguladoras y activadoras del funcionamiento de otras células, complementando así las actividades del sistema nervioso.

La función de las glándulas endócrinas puede variar según ritmos estacionales, ritmos circadianos (alternancia día-noche), en distintas etapas de la vida (puberales, menstruales, climatéricas) y situaciones ambientales diversas.

Estas funciones son numerosas, y se reconocen funciones metabólicas,

morfogenéticas, sexuales y reproductivas, nerviosas y mentales, de existencia y adaptación, etc.

Tanto la **hiperfunción** cuanto la **hipofunción** de las mismas acarrearán múltiples trastornos, produciendo cuadros patológicos con diversas alteraciones, según la intensidad y momento de la vida del individuo (ej: gigantismo, si se produce en la etapa del crecimiento del adolescente una disfunción de la hormona que regula el crecimiento del individuo).

Regulación de la secreción hormonal. El Feed-back

¿Cómo sabe una glándula endócrina cuánto debe producir de hormona en un momento dado? ¿Es factible que exista un control regulador que dosifique tales productos? Efectivamente, el mismo se realiza a través del mecanismo de la llamada "*retroalimentación negativa*" o *feed-back*. Así, cuando el nivel en la sangre de una hormona determinada supera la cantidad fisiológica, acciona retrógradamente sobre la glándula productora, logrando una inhibición o cese de secreción, con lo cual desciende el nivel de dicha hormona en la circulación.

Pero cuando ésta baja en concentración respecto a los niveles considerados como óptimos, nuevamente la glándula retoma su producción, logrando a través este mecanismo de comunicación, llamado de retroalimentación, lograr un nivel estable de hormonas que favorece la homeostasis de las funciones.

Sistema neuroendócrino y Conducta

Se conoce que todo comportamiento y experiencia en el ser humano está regulado por el cerebro, dado que no es posible una **conducta, emoción o actividad cognitiva** que no dependa de la actividad cerebral. Asimismo, durante el dormir, el cerebro está activo (se puede registrar su actividad a través del electroencefalograma) y como resultante de esa actividad, se produce entre otras, la conducta onírica.

Todo ello ocurre y se desarrolla en un contexto ambiental que involucra los ámbitos sociales, culturales, económicos, políticos, etc., en los que se halla el hombre, y cuyas influencias repercuten sobre las estructuras cerebrales, moldeando o modulando las conductas resultantes.

De este modo, un acercamiento a la conducta humana requiere, necesariamente, comprender las bases neuroendócrinas de la cognición, motivación, emoción y acción, así como también conocer las posibles disfunciones que se evidencian a través de la psicopatología.

Sin embargo, conocer el cerebro en sus dimensiones anatómicas y funcionales no es tan simple, ya que no quisiéramos describirlo como si se estuviera “disecando” un órgano, en cuyo caso veríamos aisladamente las diferentes partes que lo constituyen. Trataríamos de comprenderlo integralmente, dejando en claro la noción de *unidad* e *integridad* del sistema nervioso, donde observamos que ciertos integrantes del mismo, tal como el **hipotálamo** ocupa un lugar de prefe-

rencia debido a su rol indiscutible en el eje neuroendócrino.

El mismo participa, conjuntamente con la hipófisis, en la regulación de la vida emocional y con la homeostasis de las funciones de hambre y saciedad, temperatura corporal (respiración y sudoración), sueño y otras.

LAS ESTRUCTURAS NERVIOSAS CENTRALES

Se puede dividir al sistema nervioso (SN), llamado también Neuroeje, en dos partes, a saber: *Sistema nervioso central* y *Sistema nervioso periférico*, siendo conformado éste último por prolongaciones nerviosas, los nervios, que conectan al sistema nervioso central con diferentes partes del organismo y también con el exterior.

La parte central del sistema nervioso incluye numerosas porciones: en primer lugar, el **encéfalo**, que se halla alojado en el cráneo, y la **médula espinal**, contenida en el conducto óseo formado por las vértebras cervicales, dorsales, sacras y coxígeas.

A su vez, el encéfalo está dividido en dos conjuntos de estructuras, que se mantienen unidos a través de los pedúnculos cerebrales. Las estructuras inferiores comprenden al **bulbo raquídeo**, la **protuberancia**, los **dos pedúnculos cerebrales** y el **cerebelo**, constituyendo los tres primeros el llamado “**tronco cerebral**”.

El grupo de elementos superiores recibe el nombre de cerebro propiamente dicho y consta de dos partes, pares y simétricas: los **Hemisferios**

cerebrales o telencéfalo y una porción media o impar denominada **cerebro medio o diencéfalo**.

Considerando su origen embrionario, estas estructuras se formaron a partir del ectodermo embrionario (ver cap.10 - Desarrollo embrionario), el cual da origen al tubo neural, para posteriormente organizarse en las vesículas cerebrales al comienzo del segundo mes de vida intrauterina.

Los **hemisferios cerebrales** (telencéfalo) que se relacionan entre sí a través del cuerpo calloso, están formados por el córtex cerebral y tres estructuras profundas que son los ganglios basales, el núcleo amigdalino y el hipocampo, los cuales están implicados en respuestas motoras, memoria y emociones.

El **diencéfalo** es una porción que involucra numerosas regiones; entre las cuales se destacan:

- **epitálamo** (comprende la epífisis o glándula pineal, cuya función transdutora neuroendócrina es de relevante interés).
- **tálamo**: funciones orientadas a la selección, relevo y distribución de toda la información sensitivo-sensorial que se dirige a la corteza cerebral, como asimismo funciones relacionadas con la vigilancia, atención, memoria y otras.
- **hipotálamo**: que está íntimamente relacionado con las funciones viscerales y endócrinas, reguladoras de las conductas emocionales y motivacional.

El hipotálamo, la homeostasis y las necesidades básicas

El hipotálamo es la región del cerebro que desempeña el papel más importante en la regulación del medio interno de los organismos (homeostasis) a través de sus centros anatómicos, neuroendócrinos y conductuales.

Se podrá observar a continuación una breve síntesis de estas funciones.

- **Regulación neuroendócrina**: se realiza a través del eje supraóptico-paraventricular-neurohipofisario.
- **Regulación autonómica** (a través del sistema nervioso autónomo): esta función contempla la regulación de complejas respuestas cardiovasculares, respiratorias y digestivas entre otras.
- **Regulación de la conducta**. Se destacan entre ellas:
 - la conducta defensiva, con respuestas variables según la zona hipotalámica que se active, que puede incluir rabia, temor, miedo, huida, enfrentamiento, etc.
 - la conducta nutritiva o alimentaria, que incluye la ingesta de alimentos, agua y sales, así como también la activación de centros tales como el de la saciedad (supresión de la sensación de hambre).
 - la conducta termorreguladora, que incluye mecanismos de producción y disipación del calor del organismo, a través de la respiración y sudoración.
 - la articulación de mecanismos complejos que incluyen **circuitos hormonales** -gonadotropinas, oxitocina, hormonas gonadales-, **componentes autonómicos** (que posibilitan la expresión del acto sexual) como asimismo **motivacionales** (libido) que resultan estas últimas, integradores

Esquema conceptual de las Estructuras del Sistema Nervioso

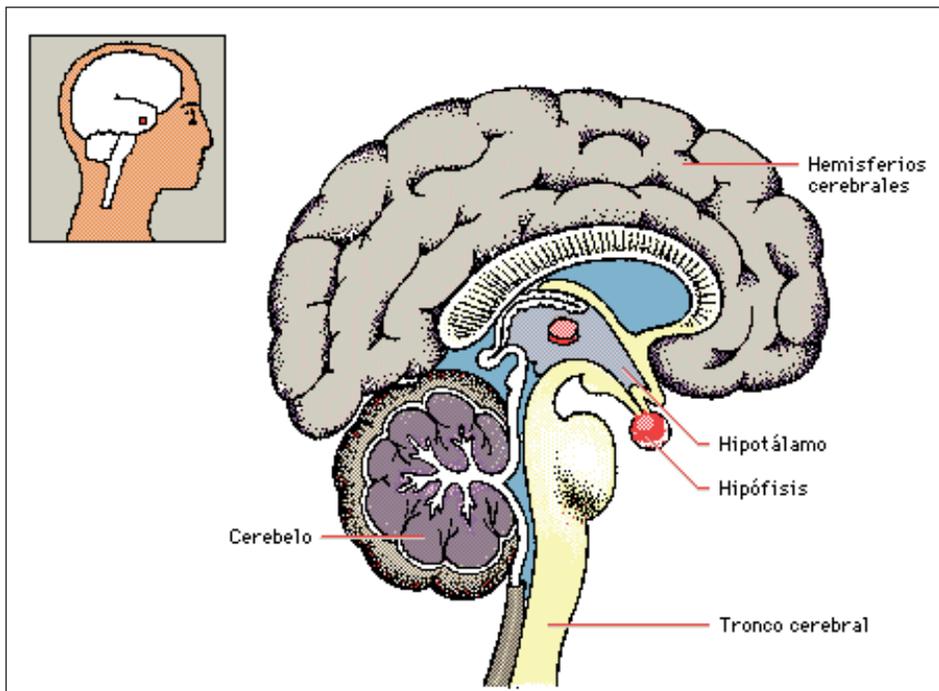
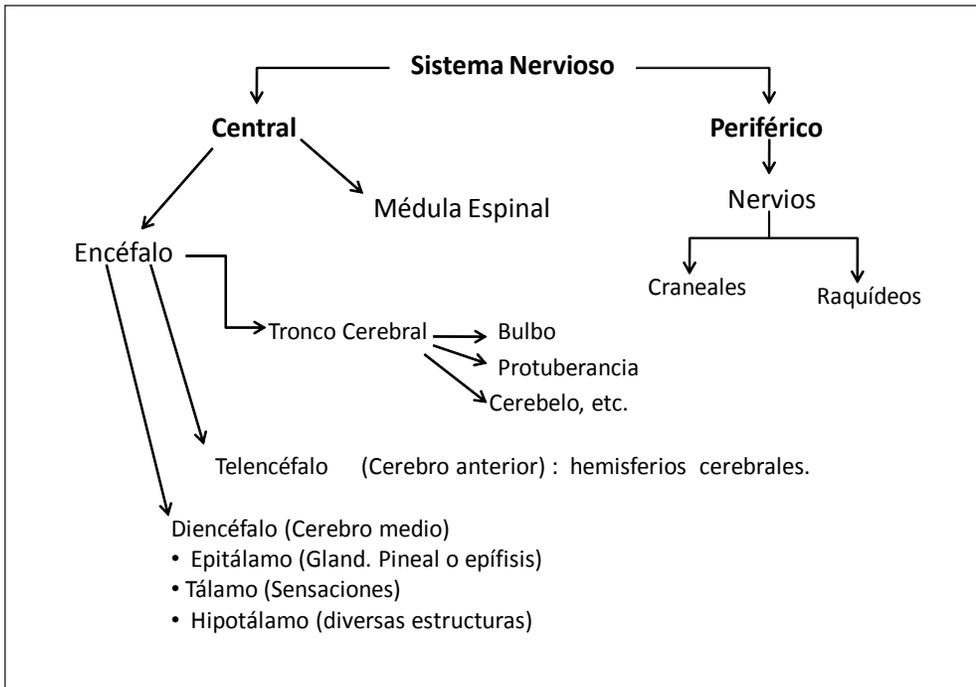


Figura 2: Posición del Hipófisis en el SNC

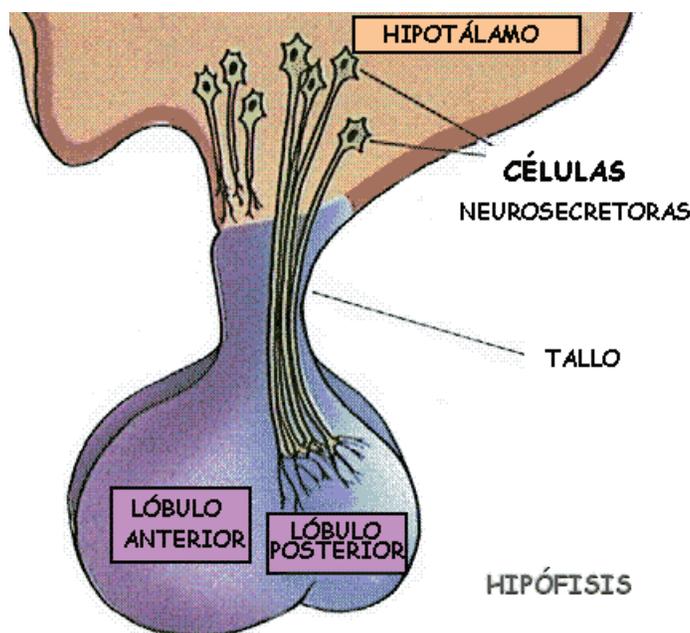


Figura 3: Glándula Hipófisis

psicológicos de la conducta sexual.

- ritmos biológicos: se destaca la participación hipotalámica en la integración de estímulos diversos que rigen los ritmos biológicos, los cuales posibilitan la homeostasis de las funciones biológicas.

¿CUÁNTOS CEREBROS HAY?

Desde el punto de vista funcional y siguiendo el pensamiento de un científico como Paul Mac Lean, se reconoce que no tenemos un solo cerebro, sino tres, ya que fundido en una sola y muy compleja estructura, nuestro sistema central aloja tres subsistemas, producto del desarrollo filogenético que manifiesta la herencia de los seres que nos precedieron: nuestros antepasados reptiles, mamíferos y primates.

Cada uno de estos cerebros puede manifestarse con su particular función y su fin particular, como asimismo y bajo ciertas circunstancias, con cierta independencia de los otros;

tal es el caso de los estados comatosos de la conciencia.

Siguiendo el orden evolutivo, estos cerebros serían:

- Cerebro Reptiliano (reptiles), sede de conductas arcaicas como autopreservación y agresión.
- Cerebro Límbico o paleomamífero (propio de los mamíferos inferiores), está relacionado con el control de las emociones y conductas motivacionales.
- Cerebro Superior o neomamífero (neocórtex), característico de los mamíferos evolucionados y del hombre, sede de capacidades intelectuales superiores.

La Glándula Hipófisis

La hipófisis o pituitaria, como glándula maestra o rectora, yace debajo del hipotálamo, del cual cuelga a través del tallo hipotalámico-hipofisario, verdadero pedículo que conecta am-

bas estructuras. A su vez, la hipófisis “descansa” en la *silla turca*, porción del hueso esfenoides, que le sirve de apoyo y protección, situado en la base del cráneo.

La hipófisis es un órgano pequeño, del tamaño de una lenteja, que regula las funciones de las otras glándulas endócrinas. Está formada por dos partes, de distinto origen embrionario, que son:

- **Adenohipófisis** (proviene del epitelio faríngeo): comprende la hipófisis anterior y la intermedia.
- **Neurohipófisis** o hipófisis posterior (proviene del hipotálamo).

Tanto la hipófisis anterior cuanto la parte intermedia representan verdaderas estructuras glandulares, porque están formadas por células secretoras de hormonas, en tanto que la hipófisis nerviosa o posterior no sintetiza sustancias, sino que contiene los axones de las neuronas hipotalámicas, las cuales son las productoras de las neurohormonas.

Las Hormonas Hipofisarias

Las hormonas de la hipófisis serán consideradas en función de sus dos partes,

ya que varía considerablemente según se trate de una u otra porción.

Adenohipófisis: esta parte de la hipófisis, como ya hemos apuntado, recibe la estimulación desde el hipotálamo a través del eje hipotalámico-hipofisario, por el cual circulan las hormonas liberadoras o inhibidoras secretadas por el mismo. De esta ma-

nera, la hipófisis produce o inhibe las siguientes hormonas:

- Somatotrofina (hormona del crecimiento o Growth Hormon -GH-), que estimula una mayor formación de proteínas y promueve el crecimiento de los huesos y tejidos blandos.
- Tirotrófina (TSH) es la hormona hipofisaria que regula el funcionamiento de la glándula tiroides, la cual bajo su influencia secreta *hormonas T₃ (triyodotironina), T₄ (tetrayodotironina o tiroxina) y Tirocalcitonina*.
- Prolactina (hormona lactogénica-Prol.) que estimula la formación de leche en las hembras de los mamíferos. Los impulsos nerviosos originados en el pezón de la mama debido a la succión de la cría llegan al hipotálamo, el cual reduce la secreción de *hormona inhibidora de prolactina*. Debido a ello, la hipófisis puede sintetizar esta hormona que mantiene la producción de leche.
- Corticotrofina (ACTH u hormona adrenocórticotrofina) la cual tiene por función estimular la porción cortical de las glándulas suprarrenales, siendo una de las principales hormonas producidas el *cortisol*.
- Gonadotropinas: las mismas son respectivamente las hormonas folículoestimulante (FSH) y luteinizante (LH), cuya función es regular la síntesis y secreción de esteroides sexuales en los testículos y en los ovarios.

Neurohipófisis: si bien esta parte no produce sustancias, sirve de reservorio de hormonas sintetizadas en las células secretoras del hipotálamo. A través de los axones de estas neuronas secretoras, descienden del hipotálamo a la neurohipófisis posterior y son liberadas hacia la circulación general

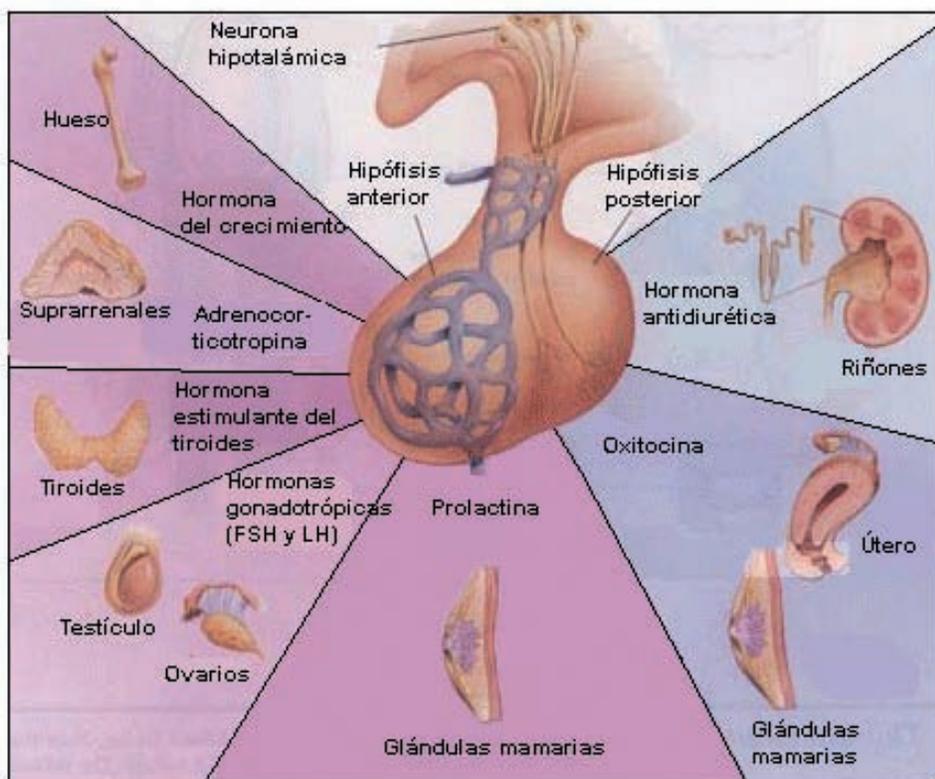


Figura 4: Hormonas de la Hipófisis Anterior

para desempeñar diversas funciones. Éstas son:

- **Oxitocina (ocitocina)**: la misma tiene un papel destacado durante el parto, ya que incrementa las contracciones del útero gestante y promueve la expulsión del feto; también ayuda al útero a recuperar su forma y tamaño originales luego del parto y favorece la eyección o expulsión de la leche a través de las mamas.
- La **hormona antidiurética (HAD)** contribuye a controlar la presión sanguínea y a reabsorber líquido en los riñones, para así favorecer la homeostasis hídrica del organismo.

El eje hipotalámico-hipofisario

Esta estructura, que a semejanza de un tallo que une un fruto a la rama,

conecta el hipotálamo con la hipófisis, constituye una **unidad funcional** entre ambas estructuras, o sea entre una estructura **nerviosa** (hipotálamo) y una **glandular** (hipófisis). Se compone de dos partes yuxtapuestas:

a) una porción se conecta con la hipófisis anterior y presenta un circuito de vasos sanguíneos llamado "**sistema porta hipofisario**", que establece una circulación entre el hipotálamo y la hipófisis y transporta las hormonas hipotalámicas reguladoras (liberadoras e inhibidoras) hacia la hipófisis anterior. (Esta circulación se inicia a partir de la arteria hipofisaria superior, la cual deriva de una rama de la carótida interna y a través de capilares se introduce en la adenohipófisis para irrigarla).

b) la segunda porción del tallo

hipotalámico-hipofisario se conecta con la hipófisis posterior y está formada por las prolongaciones de neuronas especiales del hipotálamo. Esta porción, por lo tanto, hace parte del sistema nervioso.

Lo explicado se puede observar en Fig. 3 y 4.

El hipotálamo es productor de numerosas hormonas, las cuales representan la neurosecreción (neurohormonas) de dicho órgano, actuando como “*transductores*” que transforman directamente la señal neural eléctrica que recibe de diferentes porciones y centros especializados del cerebro en información hormonal.

A través del flujo sanguíneo del sistema porta hipotalámico-hipofisario, se transporta información hormonal a la hipófisis anterior, y a través de los axones hasta el botón terminal de las neuronas, en el caso de la hipófisis posterior. En este caso, las hormonas allí almacenadas serán liberadas a la circulación general según las necesidades.

En cuanto a las neurohormonas que son vertidas en el sistema portal hipofisario, las mismas pueden estimular o inhibir las secreciones de la hipófisis anterior. Las que estimulan son las *hormonas liberadoras* o liberelinas, en tanto que existen otras antagónicas que son *inhibidoras*.

También hay pruebas de que algunas hormonas liberadoras afectan a más de una hormona hipofisaria, tal es el caso de las liberadoras de gonadotrofinas.

A continuación, se detallan las principales hormonas hipotalámicas y la regulación que realizan en la hipófisis anterior, tanto en lo que se refiere a la liberación como a la inhibición de la secreción hipofisaria. Como consecuencia de la acción de las hormonas liberadoras, la porción específica de la hipófisis secreta la hormona correspondiente o bien detiene la secreción, si se enviara desde el hipotálamo algún factor inhibidor, respectivamente.

Las hormonas “liberadoras” tienen su abreviatura como “R”, que en inglés significa “releasing”, en tanto que a las inhibidoras se las reconoce por “I” del inglés “inhibiting”.

Sustancias Hipotalámicas Liberadoras

- Hormona Liberadora de la Hormona del Crecimiento (GRH)
- Hormona Liberadora de Tirotrófina (TRH)
- Hormona Liberadora de Córticotrofina (CRH)
- Hormona Liberadora de Gonadotrofinas FSH y LH (GnRH)
- Factor Liberador de Prolactina (PRF)
- Factor Liberador de H. Melanocitoestimulante (MRF)

Sustancias Hipotalámicas Inhibidoras

- Hormona Inhibidora de la liberación de Prolactina (PIH)
- Hormona inhibidora de la liberación de Hormona del Crecimiento (GIH): llamada también Somatostatina
- Factor Inhibidor de la liberación de Hormona estimulante de los Melanocitos (MIF)

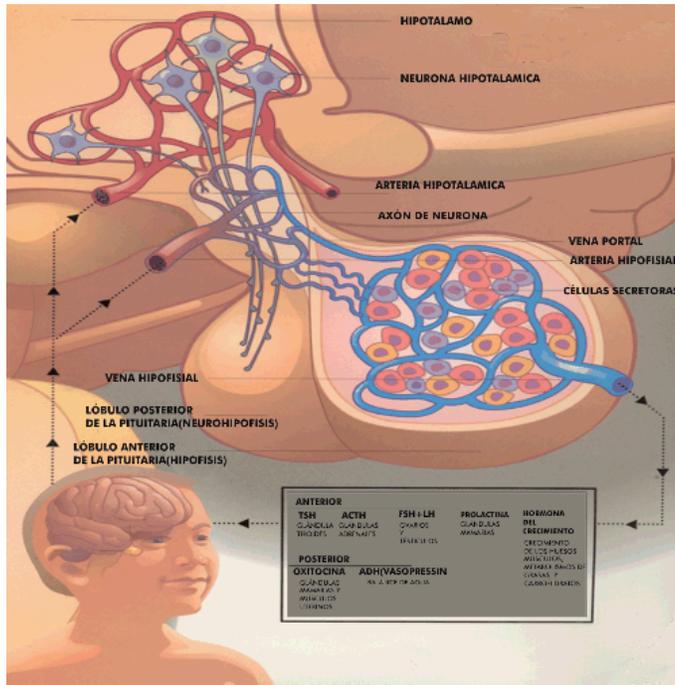


Figura 5. Adenohipófisis y Hormonas

La glándula tiroides y el eje hipotalámico-hipofisario

La **glándula tiroides** representa un órgano de suma importancia dentro de las estructuras endócrinas debido a la influencia que la misma tiene, a través de sus hormonas, en las funciones vitales tanto orgánicas cuanto psíquicas, a tal punto que suele decirse que un funcionamiento tiroideo correcto es esencial para mantener una buena salud mental.

Cuando nos referimos a la tiroides, es conveniente situar su relación con las otras estructuras que integran el *"eje hipotalámico-hipófiso-tiroideo"*, a saber, hipotálamo, hipófisis y la propia tiroides, las cuales conforman tres escalones hormonales sucesivos y que liberan respectivamente Hormona Liberadora de Tirotrófina (TRH), hor-

mona estimulante de la tiroides o Tirotrófina (TSH), de la hipófisis anterior y las Hormonas Tiroideas T₃ y T₄.

Estructura, localización y mecanismo de acción

La glándula tiroides se encuentra situada en la base del cuello, por delante de la tráquea y está conformada por dos lóbulos unidos por una porción llamada istmo. Sobre la superficie posterior de los lóbulos tiroideos se hallan generalmente 4 glándulas paratiroides, que resultan de interés para la calcificación de los huesos.

Por ser la tiroides un órgano glandular, contiene células secretoras (foliculares), responsables por la elaboración de las hormonas propias de la glándula, la *"triyodotironina"* o T₃ y la *"tetrayodotironina"* o T₄, conocida también con el nombre de **Tiroxina**.

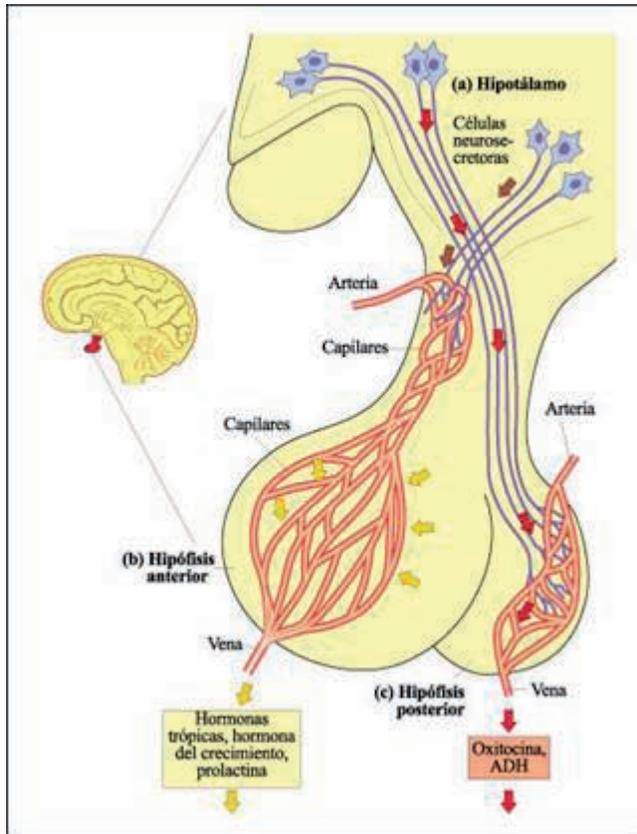


Figura 6: Neurohipófisis y hormonas

Además, otro tipo de células, llamadas parafoliculares, son responsables de la secreción de la Hormona **Tirocalcitonina o Calcitonina**, de papel relevante en la calcificación de los huesos, conjuntamente con las hormonas de la Paratiroides.

La función primordial de las hormonas tiroideas es la de estimular el metabolismo celular a nivel de todo el organismo y de inducir y acelerar la síntesis proteica. Su importancia radica en que, a través de estas hormonas, el organismo humano puede responder a distintas situaciones de la vida diaria, tal como la absorción de hidratos de carbono a nivel intestinal y su utilización, el ejercicio, la deprivación del

sueño, la exposición al excesivo frío o calor o los cambios lumínicos.

En el feto, por ejemplo, y en especial en el último trimestre de la vida gestacional, estas hormonas son esenciales para la maduración cerebral, estimulando la proliferación de axones y dendritas neurales, la formación de sinapsis y la mielinización; en el adulto, aumentan la rapidez de los procesos mentales, entre otras acciones.

En el niño, las hormonas tiroideas tienen efectos importantes en el crecimiento y desarrollo debido a su influencia en el metabolismo. También en otras etapas de la vida las hormonas tiroideas participan en las funciones de todos los

aparatos y sistemas.

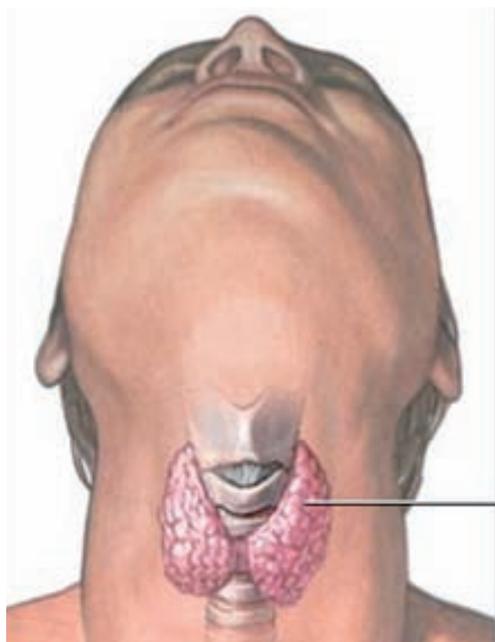


Figura 7: Glándula Tiroides

Las hormonas tiroideas se caracterizan por contener en su molécula el mineral Yodo en distintas proporciones: el mismo se une al aminoácido **Tirosina** y a una proteína (la tiroglobulina) para formar monoyodo, diyodo, triyodo (T₃) y tetrayodotironina (T₄). Estas dos últimas sustancias son las hormonas realmente funcionales.

Sin embargo, la T₃ es la hormona más activa, en tanto que la T₄, (tetrayodotironina o **Tiroxina**) que se forma de la unión de 2 moléculas de diyodotironina, se comporta como una pre-hormona, debiendo perder un yodo y transformarse en T₃ para transformarse en hormona activa.

Quien cumple con este proceso de desyodización es el hígado: luego la hormona es liberada a la sangre y se fija a receptores nucleares en todos los tejidos (órganos blanco), pero espe-

cialmente a nivel de cerebro, corazón, hígado y gónadas.

Tiroides y Homeostasis

Para que la función tiroidea no se vea alterada, es necesario que las cantidades de hormonas libres circulantes en sangre se mantengan en una concentración casi constante.

Por ello, es indispensable que el mecanismo de retroalimentación que efectúan las distintas hormonas sea preciso, tanto de las hormonas tiroideas T₃ y T₄ (que al aumentar en sangre, regulan negativamente la hipófisis anterior, inhibiendo la secreción de hormona **Tirotrofina**) como así también sobre el hipotálamo, el cual disminuye su secreción de **Factor Liberador de Tirotrofina**, resultando en un descenso efectivo de la cantidad de hormonas tiroideas en sangre.

Esta conducta, denominada Retroalimentación negativa o Feed-back ya fue explicada anteriormente y es válida para el control de las secreciones hormonales de todas las glándulas.

Cuando la cantidad de hormona tiroidea desciende más allá de lo fisiológico, cesa el Feed-back y se liberan las estructuras superiores, con lo que se logra que la tiroides secrete nuevamente sus hormonas. El sentido es mantener la homeostasis en la concentración sanguínea de las mismas.

Glándula tiroides y Conducta

Como se dijo al comienzo, la actividad psicofísica tiene directa relación con el funcionamiento tiroideo, con lo cual se entiende que debe haber una

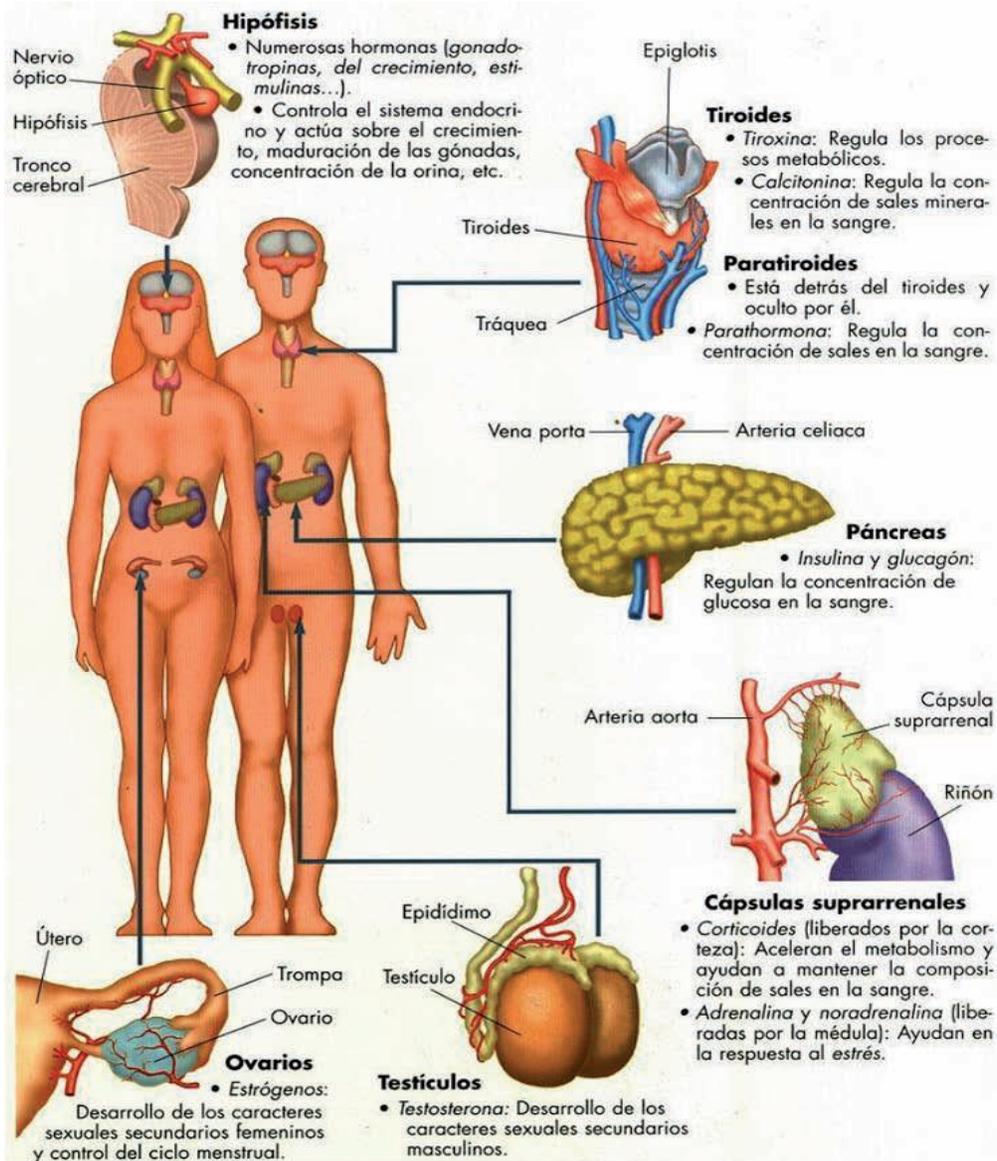


Figura 8: Principales glándulas del organismo

constante en la cantidad de hormonas reguladoras para una función conductual normal.

Sin embargo, debe destacarse que los estudios de la función tiroidea deben realizarse integrando en una unidad la evaluación de las hormonas de todo el eje Hipotalámico-hipófiso-

tiroideo y no únicamente las de la tiroides.

El funcionamiento normal de la glándula tiroides se define como *eutiroidismo*; si no ocurre (innumerables causas pueden ser responsables por ello) y en cambio acontece una hiperactividad o hipoactividad en el eje hipotalámico-hipófiso-tiroideo en

cualquiera de sus niveles; el resultado se evidenciará en síndromes conocidos como **hipertiroidismo** (exceso de hormonas tiroideas) o **hipotiroidismo** (bajos niveles) respectivamente, con manifestaciones clínicas diversas.

En cualquiera de ambos casos, también se verán alterados los valores de la Hormona Liberadora de Tirotrófina (**Hipotalámica**) y de la Tirotrófina hipofisaria.

En el caso del **hipertiroidismo**, los desórdenes de tipo afectivo son bien conocidos, cursando con agitación psicomotora, insomnio, ansiedad, pérdida de peso, llegando hasta conformar episodios de manía con delirios, despersonalización, disforia e irritabilidad extrema.

Sin embargo, debido a estos síntomas, muchas veces se tiende a confundir o interpretar erróneamente el cuadro somático hipertiroideo con un cuadro psiquiátrico, de allí la necesidad de realizar un correcto diagnóstico, recordando que, básicamente, los trastornos del hipertiroidismo resultan displacenteros para la persona que los padece, a diferencia de la manía.

En el **hipotiroidismo**, en cambio, predominan los cuadros depresivos, asociándose a una actividad cognitiva disminuida o lentificada y con dificultad para la concentración y la memoria, somnolencia, desgano y apatía. También presentan una marcada disminución de la energía y una lasitud muy evidente. Es más común en mujeres y prevalentemente en mayores de 60 años.

Es de destacar que conductas

de tipo suicidas, especialmente en adolescentes, se han relacionado con hipotiroidismo, como así también en ciertos cuadros de anorexia nerviosa y de alcoholismo se han reportado trastornos de las hormonas tiroideas.

Vale la pena remarcar que, en el caso de madres gestantes con hipotiroidismo, existe la posibilidad de que nazca un niño con retraso en el desarrollo y maduración cerebral, integrando un cuadro de discapacidad mental bien conocido. Asimismo la incompetencia de la glándula después del nacimiento o en momentos postnatales tempranos puede desembocar en retardos severos del desarrollo neuropsíquico del infante.

En conclusión, señalamos la importancia que reviste el correcto funcionamiento de esta glándula responsable, en parte, de modular el normal desempeño cognitivo y afectivo; partes esenciales de una buena salud mental y de la necesidad de un diagnóstico temprano y oportuno para prevenir mayores trastornos y facilitar pautas terapéuticas adecuadas a la endocrinopatía tiroidea.

El eje hipotalámico-hipofisomatotrófico

En este eje se trabajará la influencia de la **Hormona del Crecimiento -GH-** (Growth Hormon). Su relevancia radica en que es la única hormona hipofisaria que no actúa estimulando a ninguna otra glándula endócrina, sino actuando sobre el organismo como un todo.

Esta **hormona hipofisaria** es conocida también con el nombre de

Somatotrofina, cuyo significado es somato= cuerpo, trofina= desarrollo, por lo tanto, su función es la de propender el crecimiento y desarrollo de todo el cuerpo.

Su producción, por parte de la Adenohipófisis, es provocada por el Factor Liberador de Hormona del Crecimiento por parte del Hipotálamo e inhibida por el Factor de Inhibición de esta hormona, conocido también como **Somatostatina**. Se destacan entonces dos términos que se deberán tener en claro:

- **Somatotrofina:** hormona hipofisaria liberada por estímulo del hipotálamo.
- **Somatostatina:** hormona hipotalámica inhibidora de la secreción de la anterior.

La secreción de GH (**somatotrofina**) por la hipófisis es de tipo pulsátil y adquiere su mayor intensidad durante la noche. Esta secreción también es sensible a diversos estímulos, tales como sueño y stress. El ejercicio intenso, la adrenalina debida a la tensión, la excitación emocional y el ayuno prolongado refuerzan la descarga de GH, mediante la acción sobre el hipotálamo, quien a su vez regula la secreción de GH a través de su Factor de Liberación de la GH y del Factor Inhibidor de la misma (**somatostatina**).

Mecanismo de acción y homeostasis

La somatotrofina (GH) es un polipéptido esencial en el crecimiento pre y posnatal del individuo, siendo su acción esencialmente anabólica, influyendo positivamente sobre el metabolismo de los hidratos de carbono, lípidos y proteínas. Asimismo, es

decisivo en la estimulación de factores de crecimiento neuronal.

Su ciclo vital comienza en el primer trimestre de la vida fetal, manteniéndose en aumento durante toda la niñez, con un pico importante en la etapa puberal-adolescente y declinando con la edad.

En el caso de las personas adultas, la disminución de efecto de esta hormona no se debe tanto a su cantidad, sino al aumento de la somatostatina, que impide su liberación y que aumenta en las personas mayores.

La hormona somatotrofina (GH) favorece el crecimiento estatural, ya que actúa a nivel de los extremos de los huesos largos, promoviendo la formación de cartílago y el alargamiento de los huesos.

Durante su vida útil, la GH estimula en el hígado la producción de otra hormona, la **Somatomedina**, factor similar a la insulina, cuya acción es análoga y de refuerzo a la hormona del crecimiento. La producción de somatotrofina (GH) declina alrededor de un 14% por cada década de la vida.

En cuanto a la homeostasis de esta hormona, se observan cuadros diferentes si las alteraciones en las cantidades útiles de la misma acontecen en distintos períodos vitales de un individuo.

En el caso de un aumento en la secreción de GH en etapas juveniles, donde los huesos se encuentran en pleno período de crecimiento, los mismos se estirarán más allá de lo normal, provocando **gigantismo**; sin embargo, en el adulto, si la cantidad de hormo-

na fuere excesiva, los huesos ya no se podrán alargar, pero sí crecerán los órganos y partes musculares, especialmente la cara y las manos, dando un cuadro de **acromegalia** (acro= distante megalos= grande).

Si hubiere una disminución en la producción de esta hormona en el niño o adolescente, la resultante será un retardo lineal en el crecimiento (enanismo hipofisario) que se diferencia de otros enanismos por la armonía que guarda el individuo en las proporciones de su cuerpo (enano tipo infantil), y generalmente el origen de esta insuficiencia hormonal está relacionada con causas genéticas o tumorales.

En estos niños, los trastornos de conducta se manifiestan como alteraciones del sueño, inmadurez psíquica y retardo en el desarrollo de la personalidad, resultando en una conducta infantil inmadura.

Destacamos entonces que la hiperfunción de las células secretoras de somatotrofina produce gigantismo en los niños y acromegalia en los adultos, en tanto que la hipofunción en los niños se manifiesta como un enanismo con características infantiles durante toda la vida, mientras que en el adulto no tiene ninguna manifestación, ya que fisiológicamente disminuye en sus cantidades.

El eje hipotalámico-hipofiso-adrenal

Este eje neuroendócrino tiene especial relevancia debido a que se encarga de controlar o modular las reacciones del cuerpo ante el **estrés**

y de regular diversos procesos tales como el sistema inmune, las emociones, la conducta sexual y el metabolismo hídrico y energético del organismo. Funcionalmente, este eje integra las secreciones hormonales del hipotálamo, la hipófisis y las glándulas suprarrenales (adrenales).

Muchos organismos, desde los seres humanos hasta otros más primitivos comparten componentes de este eje, cuyo conjunto de reacciones, que involucran glándulas, hormonas y elementos del cerebro medio (hipotálamo) son responsables del **síndrome general de adaptación**, que permite a los seres vivos reaccionar y adecuarse a las circunstancias siempre variables de su ambiente.

Estructura y localización

Las glándulas suprarrenales son dos pequeños órganos glandulares cuya forma se asemeja a una pirámide, situadas en la parte superior de los riñones, localización ésta que da nombre a la glándula y que se expresa en singular porque, a pesar de ser dos, funcionan como una unidad.

La suprarrenal está constituida anatómicamente por dos porciones, la **corteza** (más periférica) y la **médula adrenal** (central). Ambas derivan embriológicamente del **ectodermo** y están en su origen íntimamente relacionadas con el sistema nervioso.

La porción de la *corteza* es estimulada por una hormona producida por la hipófisis anterior, la **Adrenocórticotrofina** o **ACTH**, la cual depende a su vez del hipotálamo, a través de la **hormona liberadora de córticotrofina (CRH)**,

conjuntamente con **vasopresina** (H. antidiurética), hormona secretada por el hipotálamo pero liberada por la neurohipófisis, que complementa la acción sobre la ACTH. La vasopresina u hormona antidiurética fue descrita en el apartado referido a hormonas hipofisarias.

La parte *medular* de la suprarrenal responde a estímulos neuroquímicos, o sea, tanto de la vía nerviosa como así también de la ACTH y elabora hormonas como la adrenalina y noradrenalina. Estas sustancias son naturalmente producidas también por el sistema nervioso central como neurotransmisores, en tanto cuando hormonas son secretadas por la médula suprarrenal, debido a que la liberación de las mismas es más lento que la acción del SNC), permite que el efecto sea más prolongado.



Figura 9: Glándulas Suprarrenales

La homeostasis se realiza cuando por feed-back negativo las hormonas

periféricas segregadas por la suprarrenal inhiben la secreción de la hormona liberadora hipotalámica (CRH), lo cual se traduce en caída de la producción de ACTH y menor estímulo a las suprarrenales.

Las hormonas suprarrenales

La acción de la ACTH hipofisaria, tanto sobre la corteza cuanto sobre la médula consiste en activar células específicas que, en la corteza adrenal, segregan tres tipos de hormonas, también conocidas con el nombre de **corticoesteroides suprarrenales** o **corticoides**, a saber:

a) Mineralocorticoides: entre éstos, la **aldosterona** es la más importante y tiene un rol fundamental en el metabolismo y homeostasis de las sales minerales (especialmente sodio y potasio) y del agua. Colabora también con el riñón en su función diurética, en la regulación hídrica y de la presión arterial (favorece la reabsorción del sodio en el riñón).

b) Glucocorticoides: estas sustancias reciben su nombre debido a la activa participación que tienen en el metabolismo de los hidratos de carbono, pero también intervienen concomitantemente en el metabolismo de lípidos y proteínas. Tienen potentes efectos antiinflamatorios y regulan la respuesta inmunitaria del organismo ante las agresiones.

El más potente glucocorticoide natural humano es el **cortisol**. Se describirá con más detalle sus funciones en el tema del **estrés**.

c) Esteroides sexuales: la corteza segrega pequeñas cantidades de hormonas sexuales masculinas (andrógenos) tanto en el hombre cuanto en la mujer, los cuales se

transforman en una molécula intermedia, la dehidroepiandrosterona (DHEA) y posteriormente en **testosterona**. Tiene un papel relevante como precursor de las hormonas de las gónadas (es influenciada por las hormonas femeninas en la mujer), en los mecanismos de la memoria y de los procesos cognitivos, como asimismo en las funciones antioxidantes e inmunitarias.

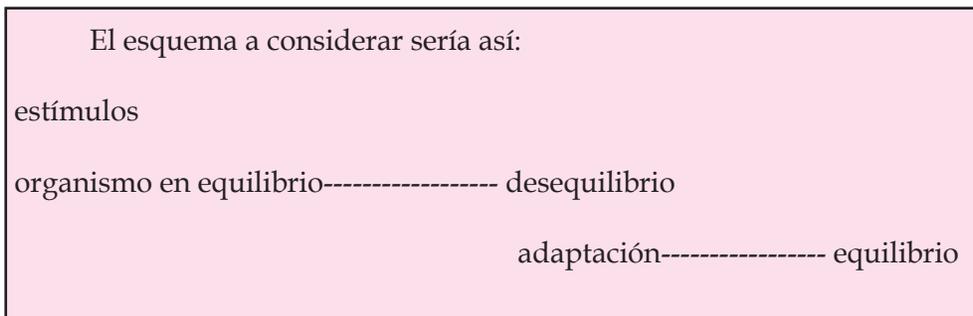
Resumiendo, se pueden observar las innumerables funciones que cumplen los esteroides adrenales, siendo las mismas vitales para la supervivencia. Todas estas sustancias contribuyen para preparar al organismo para reaccionar adecuadamente a los estímulos ambientales y permitir adecuarse de la mejor manera a las vicisitudes de la vida. Si hubiera que definir de una manera simple a la glándula suprarrenal, se podría decir que es la **glándula de la Adaptación**.

Síndrome de estrés o Síndrome General de Adaptación

Se dice que se está estresado si se experimentan molestias psicofísicas, como el cansancio, la desmotivación o la falta de placer que invade nuestra vida cotidiana, o bien cuando nos sentimos angustiados, irritados o presionados.

La sociedad moderna, con sus múltiples exigencias de alto rendimiento, de inseguridad laboral, de multiplicidad de actividades para sostener la vida cotidiana, nos enfrenta a situaciones definidas como “estrés”. Sin embargo, debe considerarse que hay diferencias entre lo que se define popularmente como tal y el cuadro fisiológico descrito por Hans Selye (1935), el cual introdujo el concepto de estrés como **“respuesta no específica del cuerpo a diferentes estímulos”**, seguido de un estado general de adaptación como respuesta adaptativa fisiológica, en tanto que denominó “distrés” a la respuesta alterada, no adaptativa o patológica.

Entonces, se observa claramente que el “estrés”, considerado como respuesta, es el mecanismo a través del cual todo organismo busca adaptarse a los diferentes estímulos al cual se ve sometido, con lo que queda claro que se trata de un mecanismo biológico de **homeostasis**. Se hace necesario, por lo tanto, hacer hincapié en que todo ser viviente enfrenta y reacciona ante los estímulos a través del estrés, y condiciona una serie de conductas de afrontamiento que involucran complejas áreas, inespecíficas y pluridimensionales, propias del sistema neuroendócrino.



Estos estímulos pueden ser de naturaleza diferente, tales como físicos o psicológicos, internos o externos, reales o producto de la propia mente; pueden ser de breve duración o prolongados y también eventualmente provocar respuestas diferentes dependiendo de la estructura de personalidad del sujeto.

En un comienzo, Walter Cannon (1929) proponía simplemente que las respuestas de los individuos al estrés eran de dos tipos: uno de **lucha** y otro de **huída o sumisión**; estas reacciones básicas se pueden observar, así descritos en los animales. En el caso del ser humano, las respuestas se tornan más complejas, y aparecen respuestas de tipo vivencial, tanto primarias como aprendidas.

También se reconocen agentes estresantes específicos para cada persona y que dependen, en todo caso, de las percepciones individuales que cada sujeto dimensiona.

Como se mencionó anteriormente, los estímulos pueden ser de origen interno o vivenciales (tales como la soledad, expectativas no satisfechas, frustraciones) o de origen externo (trabajo, relaciones familiares conflictivas, violencia intra o extrafamiliar, problemas económicos, exámenes, entrevistas de admisión -laborales o no-).

Queda claro que, cada vez que el ser vivo percibe una situación amenazante, desencadena respuestas conductuales (fisiológicas y psicológicas), que dependen del sistema nervioso y endócrino, en las cuales intervienen, fundamentalmente el eje hipotalámico-hipófiso-suprarrenal a través de la

Hormona Liberadora de Córticotrofina (CRH) y de la Vasopresina Hipotalámica.

Estas conductas, que van desde la sudoración, la taquicardia, la piloerección, la hipertensión, el llanto, la risa, o la ansiedad, el temor, la agresividad y otros que afectan la esfera emocional, son consecuencia de la acción neuroendócrina y representan la respuesta del organismo al estrés.

A modo de conclusión

Se entiende entonces que la función de este eje es preparar al organismo para la reacción y la actividad y poder así enfrentar las demandas que nos genera la vida, propiciando una homeostasis de adecuación a las nuevas circunstancias.

Asimismo, entre otras funciones, cumple el rol de modulador de las emociones, esenciales para las funciones adaptativas, sociales y de motivación.

Respecto de las funciones adaptativas, destacamos que Charles Darwin (1859) ya las mencionaba y las destacaba como factores esenciales que ayudaban a los organismos a acomodarse al medio cambiante y complejo (ej: el miedo), con lo cual adquieren un valor positivo de adaptación, funcionando como señales preparatorias para la acción y comunicación entre los individuos.

Sin embargo, hay una contracara negativa respecto de la función del estrés. Si se prolonga excesivamente o es de mayor intensidad y los niveles de **cortisol** permanecen anormalmente

elevados, las consecuencias pueden ser clínicamente peligrosas, dando lugar a la aparición de diversos síntomas y enfermedades de tipo **desadaptativo**, propias del estrés excesivo, tales como enfermedades psicosomáticas (úlceras, hipertensión crónica, etc.) o bien trastornos que atañen a la esfera psicológica: trastornos de ansiedad, depresiones, fobias y otros trastornos de vulnerabilidad.

Respecto a los trastornos de ansiedad, se han reportado ataques de pánico, estrés postraumático y trastornos obsesivos, combinados o no con fobias (ej. agorafobia -temor a los espacios abiertos, al exterior-) y crisis de pánico como frecuentes, cuando hay alteración de los indicadores hormonales del eje hipófiso-suprarrenal, donde al malestar psicológico se añaden síntomas fisiológicos somáticos muy desagradables.

En los últimos tiempos se han reportado cuadros importantes y bien documentados en trabajadores de los "call centers", denominados "**síndrome de estrés laboral o burn out**", en trabajadores expuestos a un alto grado de exigencias, sobreestimulación visual y auditiva, escasas pausas y maltrato psicológico aplicado por jefes y supervisores.

El aumento de la hormona **cortisol** provoca un efecto tóxico en áreas cerebrales induciendo problemas con la concentración, pérdida de memoria y numerosos trastornos cognitivos.

Pero también es cierto que, ante factores estresantes extremos, el organismo humano tiene la posibilidad de enfrentarlos exitosamente, afrontando

las situaciones y salir fortalecido. Es lo que se conoce con el término de **resiliencia**, que actualmente resulta una reacción de gran interés para aquéllos que estudian la conducta humana y en especial los psicólogos.

En síntesis, el eje hipotalámico-hipófiso-suprarrenal, a través de sus hormonas,

es de vital importancia para la regulación de los mecanismos relacionados con la homeostasis, la sexualidad, el aprovechamiento y la conservación de la energía y la modificación conductual adaptativa al estrés.

Eje hipotalámico hipófiso gonadal

Este eje ha sido históricamente estudiado en lo referente a patologías que involucran los trastornos de la reproducción; sin embargo, en la actualidad, se ha ampliado su objeto de estudio, incluyendo trastornos que atañen a la esfera psíquica, a los trastornos de la alimentación y otras entidades en ambos géneros, tanto en la etapa reproductiva como también en la finalización de la misma (menopausia).

(Aclaración). Si bien este tema se desarrolla en el capítulo de hormonas, es de interés que el alumno articule estos conocimientos con los de los aparatos reproductores tanto masculino como femenino, para una mejor comprensión de la fisiología de los mismos.

La función de este eje se inicia en el hipotálamo, con la liberación de la **Hormona Liberadora de Gonadotropinas**, la cual estimula a la hipófisis para

que secrete tanto la **Hormona Folículoestimulante** (FSH) como también la **Hormona Luteinizante** (LH). El mismo está a su vez influenciado por diversos factores en la secreción de su hormona, comenzando por la edad; en el recién nacido hay bajos niveles de hormona hipotalámica, debido a la inmadurez estructural en lo referente a estas funciones. Es recién en la pubertad cuando el hipotálamo cambia su ritmo secretorio de gonadotrofinas, propiciando un aumento significativo de hormona liberadora de gonadotrofinas y como consecuencia, se produce secreción de FSH y LH desde la hipófisis.

Distintos factores genéticos, hereditarios, ambientales y neuroendócrinos (acción combinada de otras glándulas, como el caso de pineal) influyen en el comienzo de esta función secretora hipotalámica, dando lugar a la *menarca* (en la mujer) o primera menstruación, y la *adrenarca* en el varón, representada por las primeras poluciones, en edades que van desde los 10 hasta los 15 años aproximadamente.

Debido a las múltiples y complejas funciones que este eje ejerce, se ha dividido su estudio en partes o ciclos, para facilitar entender el mecanismo del control hormonal en la función gonadal. Así se describirán:

- 1) un ciclo hipofisario de secreción de LH y FSH (en el varón y mujer)
- 2) un ciclo gonadal de secreción de hormonas sexuales (masc-fem)
- 3) un ciclo ovárico de maduración del folículo (mujer)
- 4) un ciclo uterino (endometrial) de proliferación, secreción y caída (femenino)

Debemos destacar que en el caso de la niña, los ciclos se inician en la **menarca** y continúan hasta la edad adulta, cuando cesan en la menopausia o bien en el caso de los embarazos, donde ocurre una suspensión de los mismos de aproximadamente 40 semanas en cada evento. No ocurre lo mismo en el varón, donde una vez iniciados los ciclos hormonales, los mismos continúan sin interrupción hasta el fin de la vida.

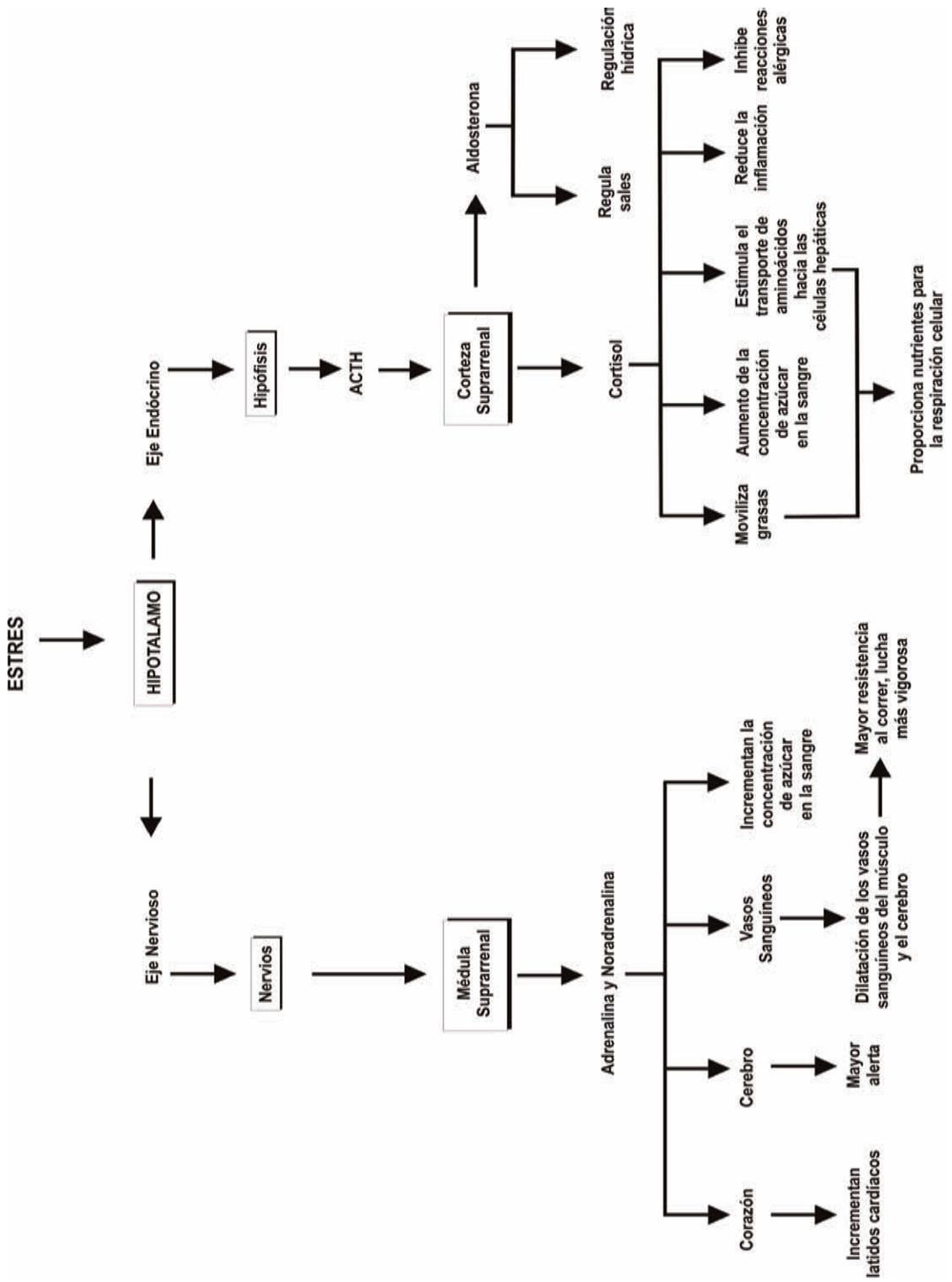
1) Ciclo hipofisario y gonadotrofinas

Las **gonadotrofinas** son hormonas que incluyen dos sustancias producidas por la hipófisis, cuya acción es estimular a las gónadas (ovarios y testículos) para cumplir con la función biológica de la reproducción, siendo las mismas la **Hormona Folículoestimulante** (FSH) y **Hormona Luteinizante** (LH). Asimismo, se acostumbra a incluir en este grupo a otra hormona hipofisaria, la **Hormona Prolactina** (PROL), que si bien no tiene acción sobre las gónadas está íntimamente relacionada con la función reproductiva y nutricional en la mujer, propiciando el desarrollo mamario y sus secreciones.

Asimismo, existe otra Gonadotropina, llamada **Coriónica**, producida por el sincitiotrofoblasto del embrión y que tiene por función mantener la vitalidad del cuerpo amarillo (productora de la Progesterona) y compartir acciones de crecimiento y desarrollo embrionario con la misma. Esta hormona es la base actual del diagnóstico de embarazo, a través de su dosaje en la orina.

En la descripción de las funciones de las hormonas antes mencionadas,

Esquema del mecanismo reactivo en el estrés.



deberemos destacar que no son iguales los efectos que ocurren según el sexo, debido a que las gónadas responden de manera diferente según se trate de un varón o de una mujer.

1.1. Acción de las gonadotrofinas en el varón

En el varón, el órgano blanco de estas hormonas son los testículos, siendo que FSH impacta directamente en el epitelio germinativo de los túbulos seminíferos, propiciando la espermatogénesis, o sea la formación de espermatozoides. Asimismo, estimula a las células sustentaculares de Sertoli para que colaboren en esta función. El feed-back regulador de la cantidad de FSH secretada por la hipófisis se realiza a través de la **Hormona Inhibina**, (producida por las células de Sertoli), la cual actúa tanto sobre la hipófisis cuanto sobre el hipotálamo en forma inhibitoria, bloqueando la secreción de las gonadotrofinas.

En tanto, la LH tiene una doble función: por un lado estimula las células intersticiales de Leydig, (que son sensibles a su acción) y que serán las encargadas de secretar hormonas masculinas o andrógenos (la más conocida es **Testosterona**). Estas hormonas son responsables de desarrollar las **características psicofísicas masculinas secundarias**. Además, LH colabora con FSH para la maduración de los espermatozoides.

Respecto de la hormona **Pro-lactina**, si bien en el varón no hay un órgano blanco como en la mujer, se sabe que esta hormona actúa sobre diversas estructuras nerviosas en forma inespecífica y su aumento puede

provocar modificaciones conductuales tales como irritabilidad, malhumor, disminución del deseo sexual, impotencia o infertilidad, disminución de la masa muscular y otras.

Es de destacar que, así como en la mujer se produce el declinio hormonal en la etapa de la menopausia, también en el varón ocurre una caída de niveles de testosterona en la madurez, que se hace presente muchas veces en la consulta, manifestando irritabilidad, impaciencia, disminución de la energía y vitalidad, menor interés en la función sexual, de tal manera que se ha dado en denominar al conjunto de estos trastornos como "**andropausia**" o menopausia masculina, aunque actualmente se lo conoce como síndrome de irritabilidad masculina.

1.2. Acción de las gonadotrofinas en la mujer

El ciclo femenino

La hembra, en la especie humana, nace con un determinado número de oocitos (células gonadales femeninas), que irán madurando cíclicamente después de la pubertad, en un ciclo biológico que dura alrededor de un mes y que se repite hasta su declinio y cese en la menopausia.

Dos hormonas hipofisarias, la hormona Folículo Estimulante (FSH) y la hormona Luteinizante (LH) serán las reguladoras de estos cambios. Estos eventos, que se suceden periódicamente cada mes, representan el ciclo hormonal femenino, conocido también como ciclo menstrual.

Cada ciclo dura en media 28 días

e implica la maduración de un ovocito por el ovario y la preparación del endometrio uterino para recibir al óvulo si fuera fecundado. Si la fertilización no se produce, el endometrio modificado se desprende del útero y ocasiona zonas de hemorragia que producen el sangrado menstrual o **menstruación**.

En base a lo expuesto, cabe por lo tanto hablar de dos ciclos o fases que se producen simultáneamente:

- **un ciclo ovárico** de maduración de un folículo y expulsión del ovocito. Esta fase dura aproximadamente 28 días a partir del primer día de la *menstruación*.
- **un ciclo uterino** (endometrial uterino), que consiste en la preparación del endometrio para recibir al ovocito fertilizado. En caso de no ocurrir fecundación, se producirá la expulsión del endometrio (menstruación).

Ambos ciclos están regulados por hormonas tanto del hipotálamo, de la hipófisis y del propio ovario, tal como se explicó anteriormente.

El ciclo ovárico involucra a los ovarios como glándulas sexuales femeninas. Los mismos secretan alrededor de 30 sustancias hormonales: entre ellas los **esteroides** (estrógenos y progesterona), la **inhibina**, la **relaxina**, **factores de crecimiento citológicos** y algunos **péptidos**. Los estrógenos (los mismos son numerosos, entre ellos se mencionan estradiol, estrona, estriol) son secretados por los folículos ováricos en maduración, los cuales producen estas hormonas bajo la influencia de FSH durante los primeros 14 días del ciclo ovárico. Esta hormona es la encargada de seleccionar y promover la maduración de un folículo primordial

por vez (y por mes), estimulando su desarrollo a folículo primario, secundario y folículo de De Graaf sucesivamente.

Los estrógenos tienen como órgano blanco principal de su acción al endometrio uterino (ver ciclo uterino) y las glándulas mamarias, donde produce dilatación y alargamiento de los conductos mamarios. También regulan, desarrollan y sostienen las **características psicofísicas sexuales femeninas secundarias** (distribución del vello, de la grasa corporal, el afinamiento de la voz, la libido, etc), características inherentes al género femenino.

Sobre el ovario también actúa otra gonadotropina hipofisaria, la Hormona Luteinizante (LH), que produce la rotura del folículo maduro (alrededor del día 14 del ciclo ovárico), propiciando la liberación del óvulo (**ovulación**) y a partir de los restos foliculares desarrolla el **cuerpo lúteo** o **amarillo**, el cual se transforma en una verdadera glándula, comenzando a producir **Progesterona**. La misma actúa principalmente sobre el endometrio uterino y también sobre las mamas, provocando diversas modificaciones.

En síntesis, el ciclo ovárico está regulado por la FSH y LH, las cuales favorecen la ovulación, la síntesis de hormonas femeninas (estrógenos) y el desarrollo del cuerpo lúteo o amarillo con su secreción de progesterona.

El ciclo uterino revela a su vez, dos fases o momentos en su desarrollo:

- A) la primera, denominada **fase proliferativa o estrogénica** (proliferar: aumentar, desarrollar) es estimulada por los estrógenos: comienza en el

día 1ª del ciclo femenino y dura alrededor de 14 días hasta la ovulación. En esta fase, aumenta de espesor el endometrio uterino.

B) La segunda, la **fase secretora o progestacional** es regulada por la progesterona. Esta hormona, producida por el cuerpo amarillo, actúa sobre el mismo endometrio donde habían actuado los estrógenos, transformándolo de proliferativo en secretor.

Esta segunda fase permite que el endometrio se prepare para la "nidación o implantación" de un eventual embrión y que consiste en la acumulación de reservas nutricias tales como glucógeno, grasas, sales minerales y proteínas específicas.

Esta etapa ocurre después de la ovulación, o sea, comienza el día 14 y se extiende (si no hay embarazo), hasta el día final del ciclo ovárico, fecha marcada por la menstruación. Alrededor del día 28, si no hubo fecundación en

ese ciclo, se inicia el proceso de descamación del endometrio proliferado y secretor que se había formado y que ya no tiene función. *Se remarca que la menstruación indica un ciclo donde no hubo fecundación y por lo tanto todo lo que el útero preparó debe ser eliminado.*

Finalmente, se hace mención a otra hormona hipofisaria, la **Prolactina (PROL)**, cuyas funciones estuvieron históricamente vinculadas con el embarazo y la lactancia, siendo su relación con la función maternal bien estudiada, tanto en humanos cuanto en animales. La cantidad de esta hormona en sangre se incrementa durante el embarazo y produce sobre las glándulas mamarias crecimiento y desarrollo de éstas, posibilitando la secreción láctea. Pero además, propicia cambios conductuales en la mujer, que incluyen tanto a la cría (cuidado, atención, vigilancia, etc) como a las relaciones con su entorno.

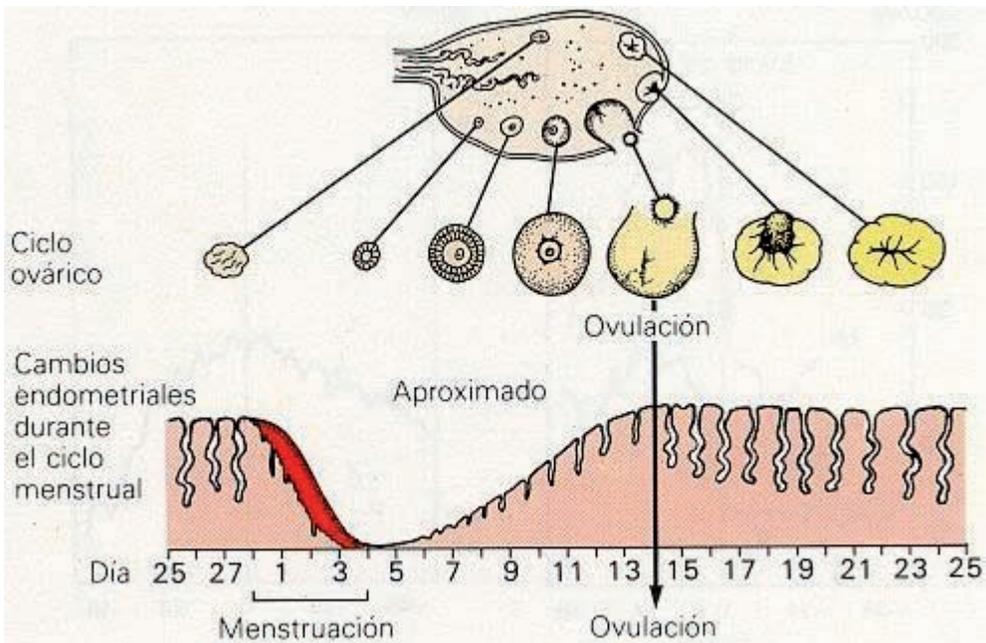


Figura 9: Ciclo Sexual Femenino

Reduce también drásticamente la secreción de hormonas hipotálamicas por su inhibición de hormonas liberadores de gonadotrofinas, resultando en una reducción en niveles de ovulación, estrógenos y conducta reproductiva. Se ha asociado el incremento de la PROL con falta de menstruación, infertilidad, disminución de la libido y eventualmente trastornos anímicos de tipo depresivo.

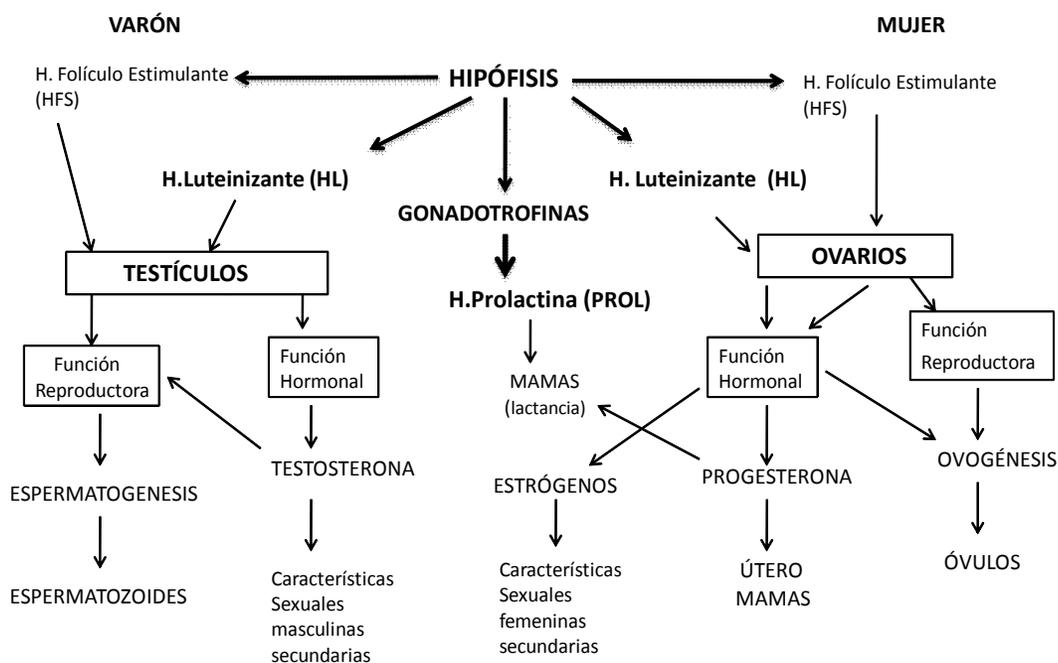
Hormonas sexuales y acción sobre el Sistema nervioso Central

Tanto los estrógenos, la progesterona y los andrógenos son hormonas esteroides sexuales que circulan al igual que otras hormonas por la sangre. Al llegar a las células de los órganos blanco, difunden al interior y se acoplan con receptores propios del núcleo celular, modulando la actividad

de genes específicos responsables de la síntesis de proteínas funcionales, estructurales o receptoras.

Asimismo, llegan al Sistema Nervioso Central y son activas como neuromoduladores, influyendo sobre los neurotransmisores de distintas partes del cerebro. Se ha podido observar que las secreciones hormonales propias de cada sexo producen sutiles diferencias entre el cerebro femenino y masculino, **no revelándose en cuanto al coeficiente intelectual en sí**, sino más bien en ciertas capacidades cognoscitivas. En la mujer, estas capacidades se evidencian en un mejor desempeño en fluidez verbal, velocidad perceptual, cálculo matemático y en el reconocimiento de detalles, como también la mujer es más hábil en realizar diversas tareas simultáneamente.

CUADRO DE SÍNTESIS DE LA CORRELACIÓN HORMONAL (VARÓN- MUJER)



En tanto, en el caso del varón, se observa un mejor desempeño en tareas que requieren ubicación espacial, o bien situaciones que exigen imaginar la rotación de un objeto y/o situarlo en el espacio. También suelen tener mejor performance en el razonamiento matemático.

Sin embargo, debemos destacar que lo expresado hasta aquí no es absoluto, ya que a las diferencias propias de género se les debe añadir la influencia que el medio ambiente, tanto físico cuanto sociocultural ejerce sobre cada individuo, generando fenotipos diversos que van más allá del determinismo genético.

En cuanto a la acción que resulta específicamente de las hormonas relacionadas con los ciclos femeninos, podemos decir que varían sus efectos según la fase del ciclo ovárico que esté transcurriendo, resultando en diversos estados anímicos (que pueden incluir tristeza, irritabilidad, apatía, somnolencia, y otros síntomas), por lo que se puede decir que hay en la misma un estado de ánimo cíclico en concor-

dancia con el ciclo ovárico. También se han mencionados los efectos que la PROL produce durante el embarazo y la lactancia.

Asimismo, son conocidas ciertas alteraciones en la conducta emocional de la mujer en el climaterio y en la menopausia, relacionadas con la disminución y/ o ausencia de estrógenos en dichas etapas. En algunas de ellas producen síntomas más graves, tanto físicos cuanto psíquicos, que hasta pueden alterar el funcionamiento psicosocial de la persona.

Respecto del rol de los esteroides sexuales en el varón, el tema ya fue descrito anteriormente en este mismo capítulo.

Glándula pineal

Esta glándula, llamada también epífisis, forma parte del diencefalo; es un pequeño órgano adherido al techo del tercer ventrículo. Sus células se denominan **pinealocitos** y poseen funciones secretoras de tipo endócrino, si bien con características particulares

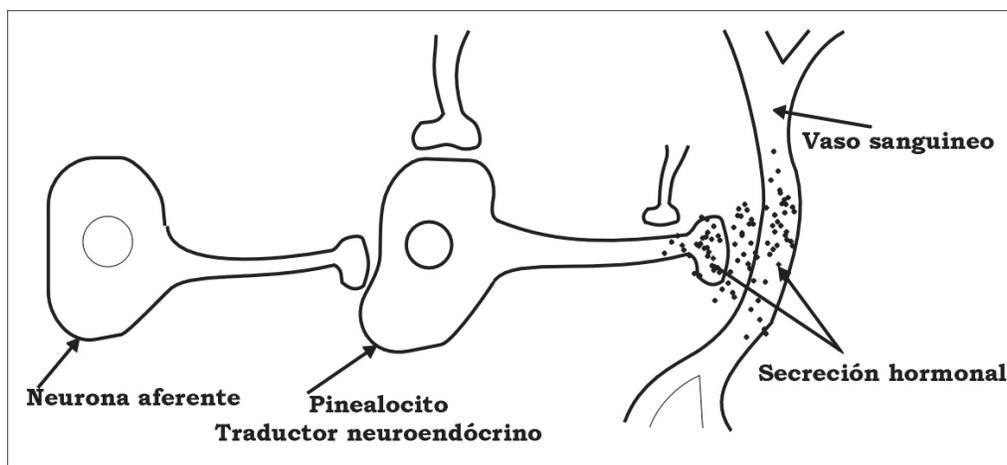


Figura 10 Glándula Pineal

que se pasan a detallar.

La propiedad fundamental del pinealocito es la de **“transformar o traducir un impulso nervioso en otro impulso de tipo endócrino”**. Por eso se lo reconoce también como transductor neuroendócrino. Al finalizar este proceso, tal como se puede observar ilustrado en figura 18, el pinealocito secreta diversas sustancias, entre las cuales se destaca la **melatonina (MEL)**.

Esta glándula es responsable de regular y adecuar los ritmos biológicos endógenos (circadianos o biorritmos) con los ritmos externos.

Los ritmos son procesos que varían periódicamente en el tiempo. Ya se ha descrito, por ejemplo, el ritmo ovulatorio de la mujer, conocido como ciclo menstrual, habiendo otros de menor duración, tales como el ritmo **“circadiano”** (alrededor de un día o 24 horas) que incluye variaciones rítmicas del sueño-vigilia, temperatura corporal, volumen urinario, ciclos hormonales. Otros ritmos se asocian en animales con estaciones reproductoras, tal como sucede en aves y mamíferos. En los seres humanos, las principales hormonas revelan ritmos de secreción, tanto internos cuanto externos (ej: hormona del crecimiento, prolactina, tirotrófina, etc.).

El principal sincronizador endógeno -pero no el único- que poseemos es el que está representado por un centro hipotalámico (el núcleo supraquiasmático), el cual integra un circuito que se inicia en la retina del ojo humano, llega al hipotálamo y de allí a la glándula pineal. Así pues se puede considerar que la pineal es

parte de las vías visuales, siendo capaz de convertir la información lumínica en secreción hormonal. Esta glándula fue llamada **“tercer ojo”** por el genial Descartes, quien intuía su papel relacionado con la intensidad luminosa del **“poder ver”**.

Mecanismo de la secreción de melatonina y funciones

El principal (pero no el único) producto de la pineal es la **melatonina (MEL)** que deriva de la serotonina, importante neurotransmisor cerebral. Es secretada por todas las especies de vertebrados, incluido el hombre y su concentración en la sangre muestra un marcado ritmo diario, con máxima concentración durante el período de luz y caída abrupta al llegar la oscuridad, reconociéndole funciones básicamente activadoras.

La MEL también sigue un *ritmo circadiano*, pero a la inversa, con niveles mayores de secreción durante la noche y bajas concentraciones en el día: su pico máximo se produce entre las 2 y 6 de la mañana: de esta manera facilita el sueño y desciende por la mañana, para contribuir al despertar. Por lo tanto, es la oscuridad que, a través de la retina humana, envía señales al hipotálamo y de éste a la pineal para incrementar la secreción de MEL.

Como principal conclusión, se puede decir que los **pinealocitos actúan como traductores químicos** (producen o no MEL) **de estímulos físicos** (la luz o la oscuridad) **para permitirnos vivir en consonancia con las modificaciones propias del medio ambiente.**

Glándula pineal y conducta

Así como se ha observado la influencia de la pineal en la regulación del ciclo vigilia-luz ----- sueño-oscuridad ambiental, también se ha comprobado, en humanos normales, su relación con la variación de los estados anímicos durante el día o las estaciones, actuando como un calendario interno frente a acontecimientos estacionales. La MEL ha sido usada para tratar ciertas situaciones en las que se producen alteraciones del ritmo biológico natural, tales como trabajadores en horarios nocturnos, “jet lag” de viajes transoceánicos, astronautas y otras alteraciones del sueño.

Asimismo, en diversas patologías psiquiátricas y endócrinas se ha podido establecer variaciones circadianas referidas al sueño que revelan modificaciones ligadas al ciclo luz-oscuridad.

En las depresiones: Wartemberg y col. (1979) ya habían demostrado valores nocturnos de MEL descendidos durante episodios depresivos con intento de suicidio. Asimismo, en estos pacientes, que revelan profundos trastornos del sueño, se ha podido observar mejoría en la sintomatología a través de administración de terapias lumínicas.

También en otras patologías, tales como los trastornos de ansiedad, ataques de pánico y esquizofrenia se encuentran severas alteraciones del sueño que pueden manifestarse como dificultad para iniciar el mismo, múltiples despertares nocturnos, eficacia del sueño disminuida o ausencia total de sueño.

En el caso de las demencias, el insomnio se torna un problema grave en el ámbito del enfermo, manifestándose ya sea como sueño fragmentado, despertares precoces, que suelen asociarse con el delirio y la confusión crepuscular (por la tarde), así como también desorientación témporo-espacial, agitación extrema y desasosiego, señales que se inician generalmente cuando

comienza la noche. Estos cuadros, llamados “delirios nocturnos” podrían correlacionarse con desórdenes del ritmo circadiano que padecen estos enfermos.

En esta breve síntesis, se ha querido destacar el papel fundamental que cumple la glándula pineal en nuestro biorritmo. Surge así una nueva especialidad, la cronobiología, que intentará dar respuesta a una serie de interrogantes acerca de nuestros relojes biológicos, con el fin de permitirnos una mejor adaptación al mundo físico en permanente cambio.

Otros tejidos endócrinos

Además de las glándulas y hormonas descritas, existen otras estructuras con función endócrina parcial, añadidas a su función característica, que secretan sustancias en la sangre. Poseen agregados de células aisladas, especializadas en secreciones hormonales que responden ante estímulos específicos. Citamos como ejemplo dentro de este grupo al corazón, riñón, timo, estómago, páncreas y duodeno entre otros.

Para citar el ejemplo más conocido del páncreas, el mismo, en su función endócrina produce dos hormonas, la **insulina** y el **glucagón**, que regulan

el nivel de glucosa en la sangre y su consiguiente uso por las células.

Defectos en estas hormonas producen uno de los cuadros conocidos como **diabetes**.

También debemos destacar el papel que cumple la **placenta** como órgano endócrino, secretando gonadotrofinas, hormona del crecimiento, tiroxina y otras, durante el período gestacional, para el crecimiento y desarrollo del feto. Concluido el parto, la misma se expulsa normalmente a través del alumbramiento.

Las **angiotensinas** son hormonas secretadas por el riñón y ayudan a mantener la presión arterial normal, interactuando con la hormona antidiurética y la aldosterona.

Las **prostaglandinas** son sustancias producidas en diferentes partes del cuerpo (originariamente descubiertas a nivel de la próstata, de allí su nombre); son ácidos grasos producidos por las membranas celulares de diversas partes del cuerpo y presentan variadas funciones, entre ellas la de coadyuvar en las contracciones uterinas durante el parto, la regulación hipotalámica de la temperatura y la respuesta inmune.

Asimismo, podemos citar al tejido adiposo, que funciona también en parte como órgano endócrino. Sus células, los adipocitos, segregan **leptina**, hormona responsable de la saciedad, la cual tendría acción sobre la zona hipotalámica regulando la ingesta de alimentos. También tendrían acción sobre el eje gonadal, especialmente en la pubertad, acelerando la secreción de gonadotrofinas y el tamaño de las gónadas.

Es de destacar por otra parte su rol fundamental en los desórdenes alimentarios (bulimia, anorexia, obesidad), con lo cual se concluye **que el tejido graso o adiposo no sólo es una almohadilla protectora y aislante del cuerpo, o capa pesada y ya fuera de moda que hay que descartar, sino que es un órgano endócrino esencial, responsable de funciones vitales para el individuo.**

Sin duda, somos concientes de que el tema no se agota en estas breves páginas, pero se han intentado destacar los aspectos más relevantes que puedan ser de interés y aplicación para el alumno de psicología en su proceso de formación.

CAPÍTULO 10

- **Embriología.**
- **Fecundación. Segmentación. Migración.
Implantación. Gastrulación.**
- **Derivados de las hojas germinativas.**
- **Período Fetal.**
- **Anexos extraembrioanrios.**
- **Gemelaridad.**
- **Clonación.**

AUTORA: Méd. Liliana Maulini

Embriología

Es el estudio de las transformaciones que sufre el óvulo fecundado hasta el momento del nacimiento. Las etapas que ocurren son :

- 1.- Gametogénesis y Fecundación - Segmentación - Implantación.
- 2.- Gastrulación.
- 3.- Formación del embrión y anexos.
- 4.- Desarrollo del SN.

Gametogénesis

La formación de los gametos incluye, como ya se explicó en los capítulos anteriores, un proceso de *meiosis* que origina células con la mitad del número de cromosomas de una célula somática.

También, en cada gameto se producen modificaciones citoplasmáticas: en el óvulo, que aumenta el volumen celular (llega a medir 100 μ) mientras que el espermatozoide forma una célula con una cabeza, cuya mayor superficie está ocupada por el núcleo y que además posee un largo flagelo que la impulsa y mueve.

El óvulo lleva todo el citoplasma y las mitocondrias, mientras que el espermatozoide lleva sólo el núcleo.

Aparato Reproductor Masculino

Está formado por un par de testículos, que son los *órganos sexuales primarios o gónadas*, y por conductos (vías genitales) y glándulas anexas.

- 1.- TESTÍCULOS (1.1. Estructura; 1.2. Funciones).
- 2.- CONDUCTOS (Vías genitales).
- 3.- GLÁNDULAS ANEXAS.

1. Testículos

Los testículos se encuentran en el interior de la bolsa escrotal, fuera de la cavidad abdominal; esto es importante para la maduración completa de los espermatozoides, ya que en el interior del abdomen (que posee mayor temperatura) produciría una esterilidad debido a que los espermatozoides no se desarrollan a temperaturas elevadas).

1.1. Estructura:

Los testículos están formados por conductillos tortuosos, enroscados como ovillos, que son los *túbulos seminíferos*, en cuyo interior se forman los espermatozoides a partir de células germinativas (espermatogonia). Además, se encuentra un segundo tipo de células, las de *Sértoli*, cuya función es sostener y nutrir a los espermatozoides (células sustentaculares). Los espermatozoides tienen cerca de 65 micras de largo y hay alrededor de 100.000.000 por mililitro de semen. La cabeza mide alrededor de 10 X 4 micras y la cola tiene entre 45-50 micras.

1.2. Funciones:

Los testículos cumplen las siguientes funciones:

a) Función ligada a la reproducción: consiste en la formación de gametos masculinos.

b) Función hormonal: Producción de hormonas sexuales masculinas (por ejemplo, la testosterona y otras), que regulan las características sexuales masculinas secundarias.

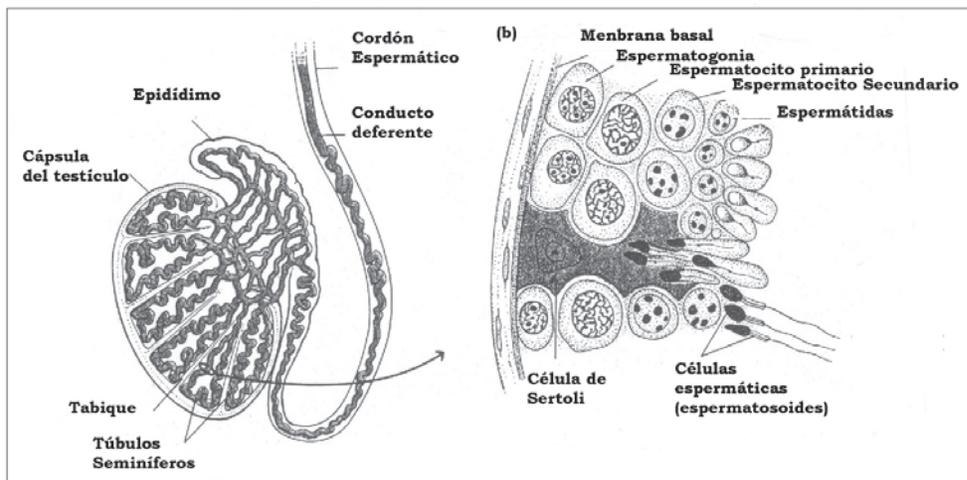


Fig.9.1. Estructura interna del testículo, en a) se puede apreciar los túbulo seminíferos completamente enrollados y en b) el proceso de espermatogénesis.

2.- Conductos O Vías Genitales:

- 2.1. Túbulo seminíferos.
- 2.2. Epidídimo (conducto donde maduran los espermatozoides).
- 2.3. Conducto deferente.
- 2.4. Uretra (conducto ligado al aparato excretor que elimina orina).

3.- Glándulas Anexas:

Las glándulas que se encuentran formando parte del aparato genital masculino son:

- Vesículas Seminales y Próstata, cuya función es secretar líquidos que fluidifican la secreción del semen, lo transforman en un líquido alcalino y le dan viscosidad al mismo. Este líquido es rico en una sustancia hidrocarbonada, la fructosa, que nutre a las células espermáticas.

La secreción espermática también contiene una elevada concentración de *prostaglandinas*, que participan de contracción de la musculatura

uterina durante el acto sexual.

La concentración de espermatozoides por centímetro cúbico es de alrededor 100 millones, y una eyaculación normal contiene entre 3 y 4 centímetros cúbicos de semen.

Aparato Reproductor Femenino

Aquí también podemos distinguir que el aparato femenino está conformado por las siguientes estructuras:

- 1.- OVARIOS (gónadas femeninas): constituyen los órganos sexuales primarios.
- 2.- VÍAS GENITALES.

1.- OVARIOS:

Los ovarios o gónadas femeninas son los órganos primarios de la reproducción, en los que se cumplen dos funciones:

a) Función reproductora: a través de la formación del **óvulo** (gameto femenino) llamada también **ovogénesis**.

b) Función hormonal: Productora de estrógenos y progesterona (que son las hormonas sexuales femeninas) de las que dependen las características sexuales femeninas secundarias y regulan el ciclo sexual femenino y el embarazo.

1.2. Estructura:

El ovario presenta una región central, la médula, y otra periférica, la corteza, donde existen gran número de estructuras llamadas *folículos ováricos* o *folículos de Graaf*.

Al contrario de la espermatogénesis, que se inicia en la pubertad con la formación de espermatozoides,

en la hembra la ovogénesis se inicia ya durante el período embrionario. Al término del 3º mes, las ovogonias entran en meiosis y generan ovocitos, los cuales entran en profase.

Allí se interrumpe el proceso meiótico y los ovocitos así formados (llamados ovocitos I o de primer orden) permanecen inactivos hasta la pubertad, que es cuando comenzarán a madurar a un ritmo de 1 ovocito por mes.

Descripción del Folículo "De Graaf"

Los folículos de "De Graaf" contienen un ovocito en fase I (ovocito primario) el cual se halla rodeado por una capa de células foliculares llamada corona radiada.

Se piensa que hay aproximadamente 300.000 folículos en los ovarios

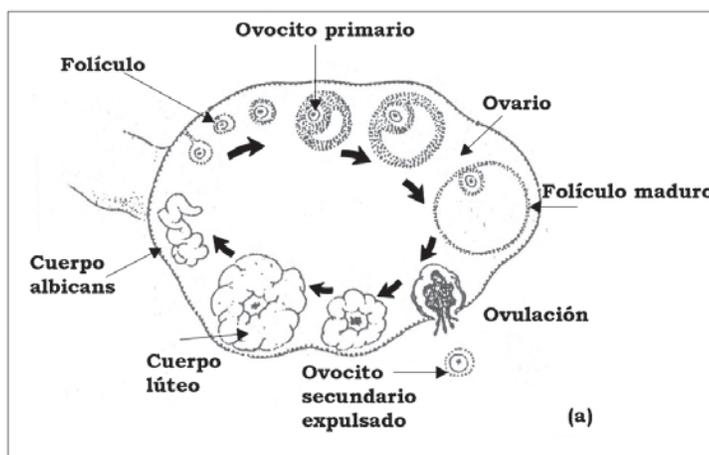


Fig.9.2. Distintos estadios de desarrollo del óvulo. Los oocitos se desarrollan cerca de la superficie ovárica dentro de los folículos. Algunas de estas etapas ocurren antes del nacimiento en el humano de sexo femenino. Luego de ser expulsado el ovocito, el resto de células dan lugar al cuerpo lúteo, que secretan estrógeno y progesterona. Si no hay fecundación el cuerpo lúteo es reabsorbido en 2 ó 3 semanas, pero si hay fecundación secreta estrógeno y progesterona durante el embarazo

de la mujer, y sólo uno de ellos llegará a su madurez cada mes, toda vez que se haya iniciado el proceso de la pubertad y hasta la menopausia.

1.3. Ovulación:

El folículo de Graaf que madura produce un óvulo completo por mes en la mayoría de las mujeres, que tiene aproximadamente 1,5 mm de diámetro, y que se dispone formando una saliente en el ovario hasta llegar a romper la capa superficial del mismo y así salir del ovario. Este proceso ocurre alrededor de la mitad del ciclo femenino (14° día) y se denomina **ovulación**.

El ovocito primario expulsado se encuentra en la meiosis I y tiene aproximadamente 130-150 micras.

2. Vías Genitales:

Se componen de:

2.1. Trompas de Falopio: (con sus extremos dilatados como una corola o radar. Pabellón: para aspirar el óvulo liberado).

2.2. Útero: órgano único, musculoso, encargado de anidar al nuevo ser.

2.3. Vagina: conducto único que recibe al órgano fecundador, el pene, y donde son depositados los gametos masculinos.

3. Glándulas Anexas: entre ellas se citan las de Bartolino y otras, cuya función es humedecer las vías genitales.

Fecundación

Al liberarse el ovocito primario del ovario, el mismo se encuentra en

la segunda división meiótica, que completa al entrar a la trompa, absorbido por el pabellón de la trompa (en el 1/3 superior y externo de la trompa de Falopio).

Al terminar la división, se desprende el glóbulo polar y se transforma en ovocito II, el cual es viable y permanece vivo por 24-48 hs. Si es penetrado por un espermatozoide, se forma el **huevo o cigoto**, proceso llamado **Fecundación**, lo cual ocurre en el 1/3 externo de la trompa de Falopio.

Consecuencias de la fecundación:

1.- *Restauración del número diploide de cromosomas:* (2n): la fusión de los núcleos de ambos gametos produce un cigoto de 46 cromosomas (Anfimixis).

2.- *Determinación del sexo:* Dependiendo del espermatozoide fecundante, se establecerá el sexo del individuo (XX o XY).

3.- *Inicio de la segmentación* (llamada también **Clivaje**): al unirse ambos gametos, se inicia un fenómeno de rápidas divisiones celulares, que permite el crecimiento y desarrollo del cigoto. Estas divisiones ya son *mitosis* y ocurren, en términos generales, cada 24 horas.

4.- *Variación de la especie:* ocurre en el cigoto una nueva combinación de características, con $\frac{1}{2}$ de características paternas y $\frac{1}{2}$ maternas, que se han distribuido al azar. Por eso la enorme variedad, que se puede observar ya entre los propios hermanos, porque en cada fecundación hay una recombinación

del material genético de los padres en forma diferente.

5.- **Formación de los anexos:** a partir del proceso de fusión de los gametos, en una secuencia posterior se originarán las estructuras anexas para el normal desarrollo del embarazo.

Velocidad de Segmentación (ej: Macaco Rhesus)

OVULACION 1 célula huevo o cigoto

24-46 hs 2 células

36-48 hs 4 células

48-72 hs 8 células

72-96 hs (4 días) 16 células

Desarrollo Embrionario

La fecundación marca el comienzo del embarazo; ello ha ocurrido en el 1/3 externo o superior de la trompa de Falopio y los fenómenos que se registran según su secuencia inicial (o sea desde el comienzo) pueden ser resumidos en las etapas que se detallan a continuación.

- **Gametogénesis**
- **Fecundación**
- **Segmentación y migración**
- **Implantación**
- **Gastrulación**
- **Formación del embrión y de los anexos**

Los dos primeros pasos ya han sido detallados, continuaremos con los siguientes.

- Segmentación

Alrededor de 30 horas después de fecundado, el cigoto se divide por un proceso de mitosis y constituye dos blastómeras, así llamadas porque

ya son células del nuevo individuo, las que cuentan con un número diploide de cromosomas, en tanto que alrededor del 4° día hay un total de 16 blastómeras, todas ellas células que se han dividido por sucesivas Mitosis: la **mórula**, que recibe este nombre porque la estructura formada tiene el aspecto externo de una mora.

Esta formación es una estructura de tipo esférico, macizo y con prominencias en la superficie. A medida que se ha ido dividiendo, también se ha ido desplazando a lo largo de la trompa de Falopio hasta llegar finalmente al útero, lugar donde ocurrirá la *implantación*.

El tránsito por la trompa lleva entre 4 y 5 días y es posible gracias a la agitación ciliar y a los movimientos peristálticos de este órgano; durante este período, las blastómeras en división son nutridas por los líquidos existentes en la trompa, ya que sus reservas de vitelo son mínimas.

La mórula, al llegar a la cavidad uterina es invadida por el líquido que allí existe, provocando la aparición de un espacio en su interior y desplazando a las blastómeras hacia la periferia.

Este desplazamiento ocurre de manera irregular, ya que en una parte de los polos queda un conjunto de células que sobresalen en la cavidad recién formada, y que recibe el nombre de *polo* embrionario, presentando semejanza con un anillo con la piedra vuelta hacia adentro.

Esta formación recibe el nombre de **Blastocisto** (o fase de blástula). El

polo se denomina **embrioblasto**, y dará origen posteriormente al embrión, en tanto que la cavidad recibe el nombre de **blastocelo**; las células que revisten por dentro la cavidad pasan a llamarse **trofoblasto**.

- Implantación

Alrededor del 7° día de desarrollo el blastocisto, a través de su polo embrionario, se adhiere a la mucosa uterina, iniciándose la *implantación*, siendo en el ser humano de tipo “*interrsticial*”, ya que se hunde en la mucosa uterina.

a) Las células del embrioblasto, a partir del 8 día, se organizan en dos capas: una, que contacta con el trofoblasto, es cilíndrica y constituye el *ectodermo*, y la que está hacia la cavidad o blastocelo, formada por células cúbicas, constituye el *endodermo*. La estructura germinal o *disco germinativo* es *BILAMINAR* y consta de dos capas.

b) Simultáneamente, el trofoblas-

to también se diferencia en dos capas; la más externa, en contacto con la mucosa uterina, constituye el *sincitiotrofoblasto*; no tienen límites definidos, porque se mezcla con digitaciones en el interior de la mucosa uterina.

c) La otra capa, la interna, inicialmente en contacto con el ectodermo, está más delimitado: es el *citotrofoblasto* (1° semana de gravidez).

d) Entre el citotrofoblasto y el ectodermo del disco germinativo aparecen pequeños espacios o lagunas que confluyen, formando una cavidad única, que posteriormente será la cavidad amniótica, y el citotrofoblasto se diferencia en células que tapizan la *cavidad amniótica* y que forma el *amnios* (membrana que tapiza por dentro la cavidad amniótica).

e) La cavidad del blastocisto, que ya no contacta más con el citotrofoblasto ni con el amnios, constituye el *saco vitelino primitivo*.

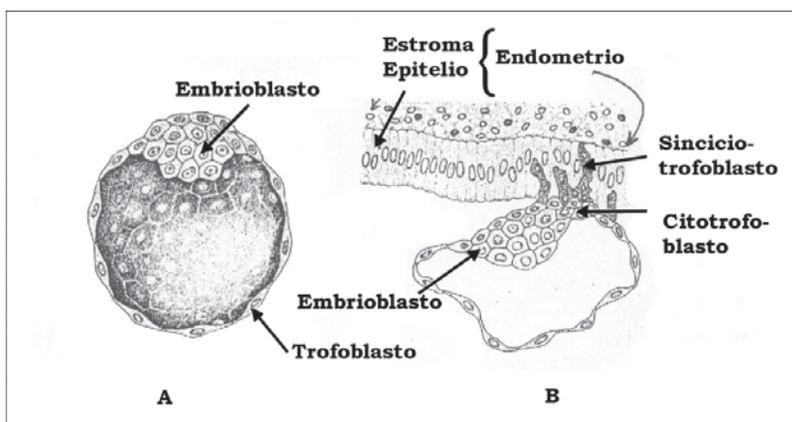


Fig.9.3. Blastocisto. El embrioblasto está representado por una masa de células hacia el polo embrionario, la que se encuentra cubierta por el trofoblasto. Esta última delimita toda la cavidad del blastocisto. B, Comienzo de la implantación, las células trofoblásticas del polo embrionario forman el sincitiotrofoblasto que por acción enzimática, penetra en la mucosa uterina.

f) El trofoblasto crece, aumentando su número de células y penetra en el útero y a partir de allí se organiza posteriormente la placenta; de la superficie interna del citotrofoblasto se forma una membrana de células aplanadas, la *membrana de Heuser*, que tapiza por dentro el saco vitelino primitivo, continuándose a nivel del disco embrionario con el endodermo.

g) Otra parte del citotrofoblasto forma un tejido laxo, llamado *mesodermo extraembrionario*, que se encuentra por fuera de la membrana de Heuser y que rodea a la cavidad amniótica y al saco vitelino: así, el citotrofoblasto queda por fuera del mesodermo extraembrionario.

Estamos al final de la 2° semana. ¡Todavía la mujer no sabe que está embarazada, porque no ha sucedido

la 1° falta menstrual!

Sitios de Implantación

En la mayoría de los casos, el útero es el sitio donde normalmente ocurre la implantación, situándose el blastocisto en la parte superior del mismo.

Pero en algunos casos, el lugar de implantación es otro, pudiendo estar en el mismo útero o fuera de él. Mencionaremos entonces los sitios no frecuentes de implantación, que serán:

Implantación uterina:

- a) próximo al orificio interno del cuello uterino
- b) en el cuello uterino (implantación cervical)

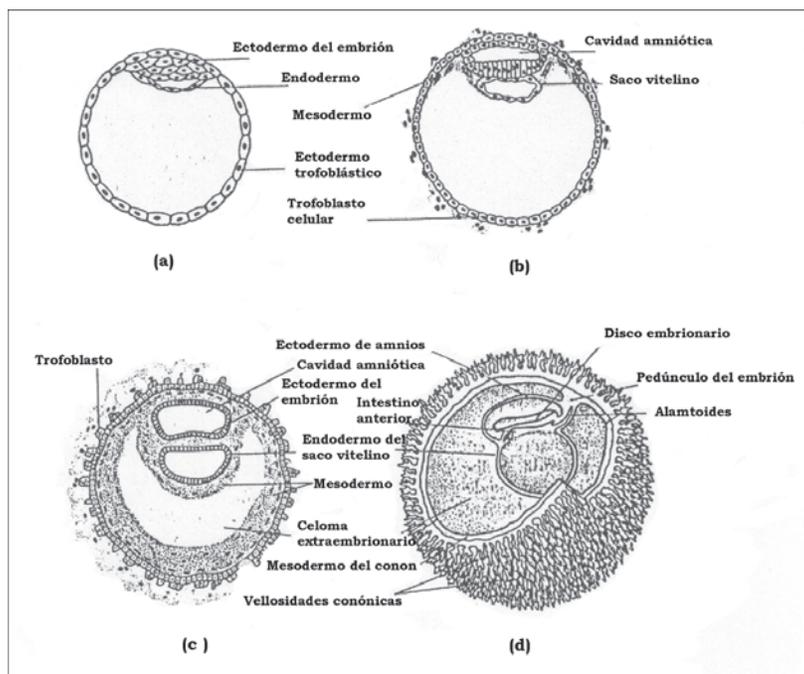


Fig.9.4. Embriones de diez (a) y veinte (b) días donde se aprecia la formación del amnios y del saco vitelino, al igual que la formación del embrión.

Implantación extrauterina o embarazo ectópico:

- a) en la trompa de Falopio, llamado embarazo tubario (porción media, externa o interna)
- b) en el abdomen
- c) en el ovario

Estos embarazos ectópicos, que representan alrededor del 0.25 de todos los embarazos, no progresan, ya que se encuentran en órganos que no están preparados para el crecimiento y desarrollo que presentará el embrión.

Si no son diagnosticados a tiempo, pueden ocurrir graves accidentes, con rotura de los órganos y hemorragia severa, que pone en peligro la vida de la gestante.

Excepcionalmente, algún embarazo ectópico abdominal puede llegar a término y el feto debe ser extraído a través de una operación; sin embargo, la situación es grave, ya que la placenta invade los tejidos vecinos, provocando

trastornos múltiples. La mayoría de los fetos nacen con malformaciones y hay grave peligro de la vida de la gestante.

- Gastrulación

Durante la segunda semana del desarrollo, se puede observar que el disco germinativo, de forma aproximadamente circular, está organizado en dos capas:

- a) Ectodermo (constituye el piso de la cavidad amniótica)
- b) Endodermo (es el techo del saco vitelino)

La gastrulación se inicia alrededor del día 13° del desarrollo; es una etapa crítica en el desarrollo, ya que las proliferaciones celulares llevan a la formación de la tercera hoja germinativa, llamada *mesodermo*, que se ubican insinuándose entre el ectodermo y el endodermo.

Esta etapa, que coincide con la primera falta menstrual se caracteriza

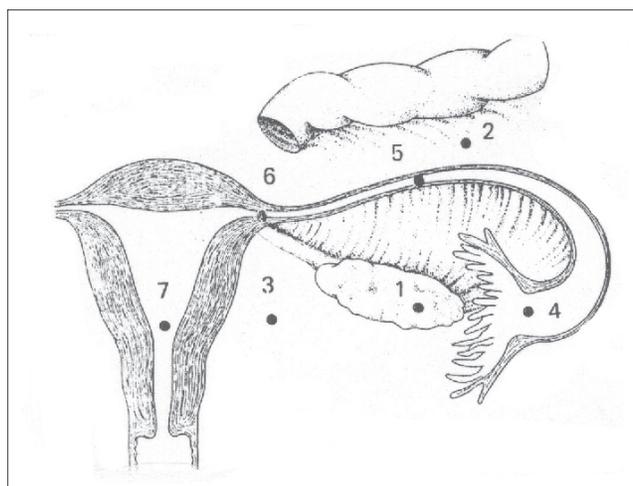


Fig.9.5. Sitios de implantación anormal. 1 Implantación ovárica, 2 implantación pélvica, 4 a 6 implantación tubárica, 7 implantación en la región del orificio interno del útero.

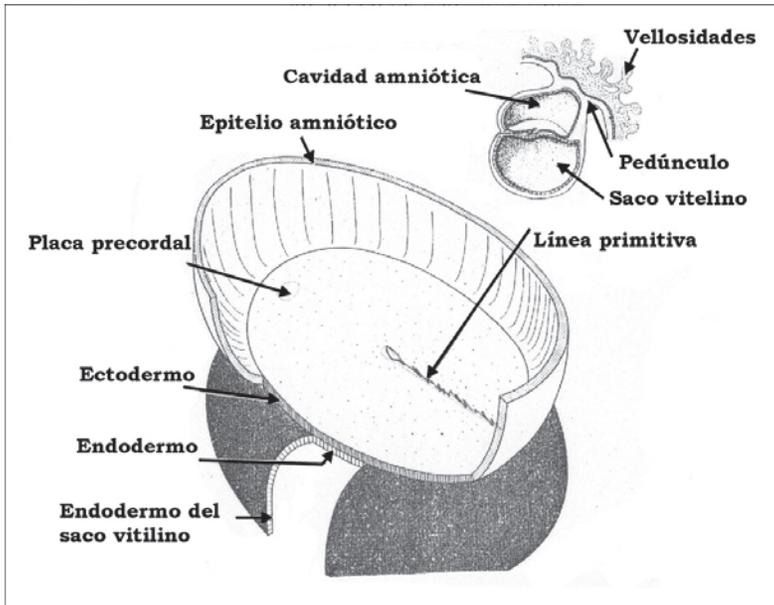
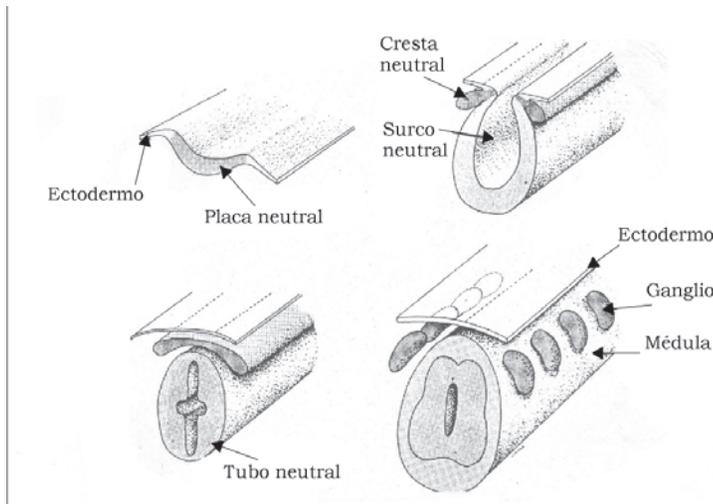


Fig.9.6. Comienzo de la gastrulación. El ectodermo continúa con el epitelio amniótico y el endodermo reviste el saco vitelino. La línea primitiva se forma en el lado opuesto a la placa precordial. Arriba y a la derecha, corte longitudinal del disco germinativo que pasa por la línea primitiva.

por la formación de los órganos y los principales fenómenos son:

1.- Formación de la 3ª capa del disco germinal: (Mesodermo intraembrionario) a partir de proliferación del ectodermo, con la constitución de un disco *trilaminar* al finalizar esta etapa.

2.- Formación del tubo neural y sistema nervioso central. A partir del ectodermo, las células del mismo desarrollan el tubo neural, el cual se presenta más desarrollado en su porción anterior (porción cefálica).



En esta región el tubo se dilata, formando las tres vesículas encefálicas primitivas, a saber:

- **prosencefalo**
- **mesencefalo**
- **rombencefalo**

Posteriormente, se dividirán y aparecerán hasta 5 vesículas encefálicas.

En el esquema siguiente, se muestra el desarrollo del tubo neural y de las crestas neurales. Con el cierre del tubo neural se fusionan en la línea media, posteriormente se separan y se fragmentan en bloques que van a formar los ganglios cerebrospinales.

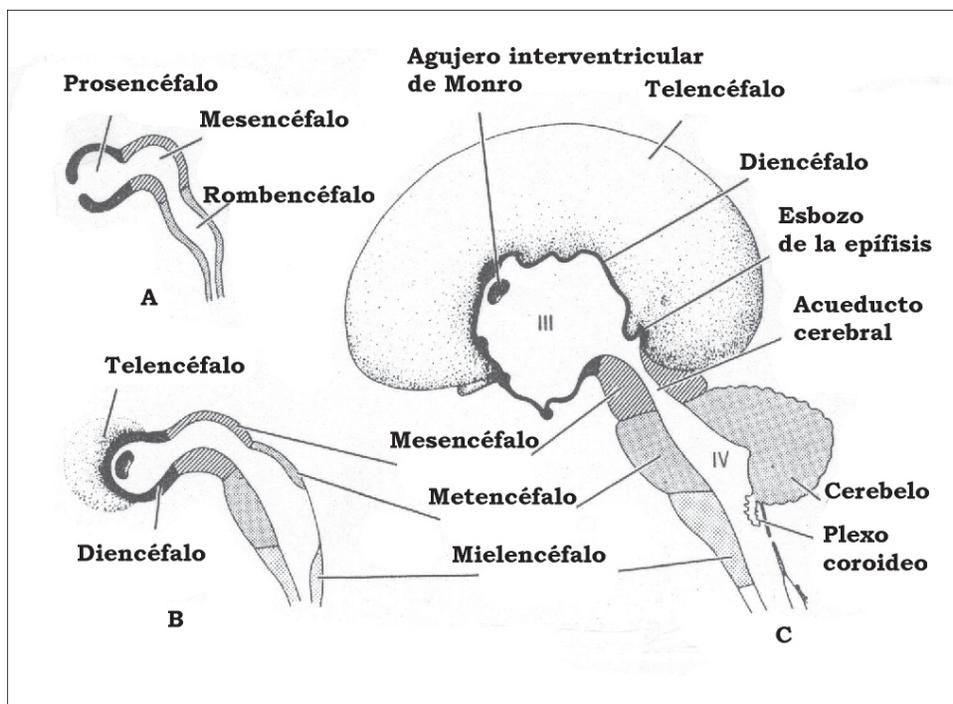
A continuación, en un esquema se representa la evolución de las vesículas encefálicas. A, embrión de 4 semanas, el tubo neural presenta

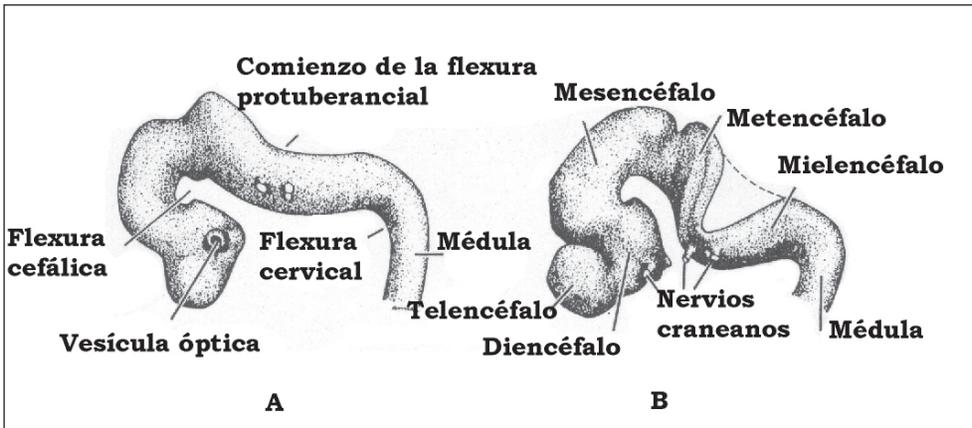
todavía el neuroporoanterior. B, El prosencefalo y el romboencefalo se subdividen y originan así 5 vesículas, la primera de las cuales ya muestra la formación de las vesículas telencefálicas que constituirán los hemisferios cerebrales (al comienzo del segundo mes). C, Encéfalo de embrión humano alrededor del cuarto mes.

Ahora representamos la incurvación ventral de la porción cefálica del tubo neural que da lugar a las flexuras cefálicas y cervical. La flexura protuberancial es la tercera en aparecer, entre el mesencefalo y el mielencefalo. A, al término de la quinta semana, y B, comienzo de la sexta semana.

Derivados de las hojas germinativas:

La gastrulación marca el comienzo de la formación de los órganos (organogénesis) a partir de las tres hojas, por medio de desplazamientos, migración, invaginación, etc., de los





grupos celulares. Veamos los tejidos derivados de cada lámina:

1.- Ectodermo:

Epidermis, pelos, uñas, anexos.
Hipófisis anterior y posterior
SNC y periférico (excepción

microglia y los vasos sanguíneos).

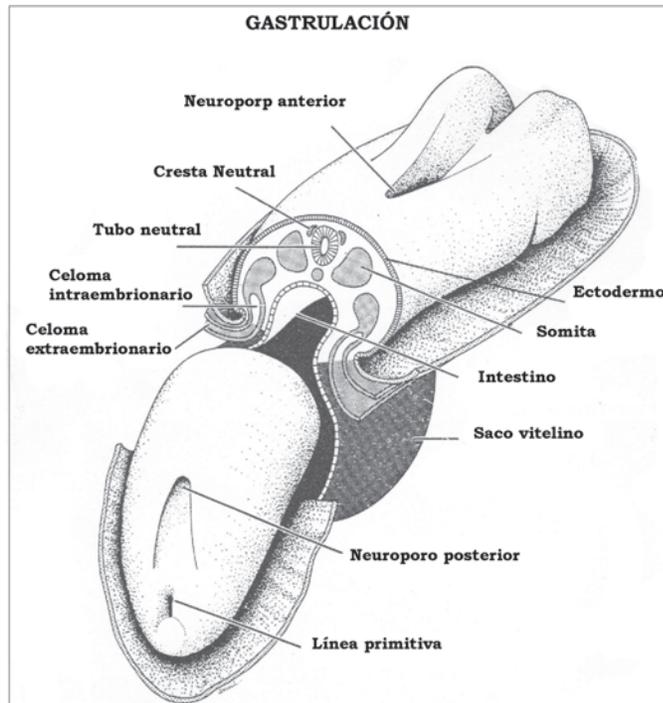
Cristalino - retina.
Esmalte dentario.

2.- Mesodermo:

Huesos - músculos - músculos

Lámina embriónSomatotipo Temperamento

1. EndodermoEndomorfoViscerotónico
2. MesodermoMesomorfoSomatotónico
3. EctodermoEctomorfoCerebrotónico



del ojo - esclerótica.
Tejido conjuntivo.
Sistema cardiovascular y células sanguíneas.
Dermis.

3.- Endodermo:

Epitelio del tubo gastrointestinal.
Glándulas anexas aparato digestivo (hígado - páncreas).
Aparato respiratorio.
Células germinativas (ovogonias y espermatogonias).

Físico y temperamento (Sheldon y Stevens).

Sheldon (Universidad de Harvard, 1940) estableció un paralelo entre físico y temperamento del individuo, siendo Stevens su colaborador.

Basándose en las láminas embrionarias (ecto, endo y mesodermo) estos investigadores propusieron que el predominio de una de estas capas formaría un somatotipo que se correspondería a un temperamento determinado.

Generalidad

En el género humano, lo fisiológico es que haya una fecundación única y que genere un nuevo ser por vez.

Pero, en ciertas circunstancias, ocurre más de una fecundación, generando la aparición de gemelaridad, pudiendo ocurrir:

a) A partir de dos cigotos (dici-gótica, mellizos o bivitelinos): ocurre cuando dos óvulos son fecundados cada uno por un espermatozoide. En

este caso hasta podría haber más óvulos también.

Estos son los *gemelos fraternos*, que no son idénticos, y tienen las mismas semejanzas que dos hermanos entre sí (aire de familia).

Pueden presentar el mismo sexo o pueden ser de sexos diferentes.

b) A partir de un solo cigoto (monocigótico): Son los *gemelos idénticos* o univitelinos y siempre son del mismo sexo; además tienen carga cromosómica idéntica, ya que por haber sólo un huevo, estaban destinados a formar un solo individuo.

- Ocurrencia y Mecanismo de los Gemelos.

Se producen gemelos en un porcentaje de uno en cada 80 - 90 gestaciones. Alrededor de 2/3 del número total (más de la mitad), son fraternos o dici-góticos.

La repetición de gemelos fraternos en una misma familia prueba la "*influencia hereditaria*", que es netamente de origen materno, ya que es debida a un accidente femenino de ovulación múltiple.

En virtud de resultar de la fecundación de dos óvulos por dos espermatozoides, los gemelos fraternos pueden ser del mismo sexo o diferente; por la misma razón, no son parecidos genéticamente más de lo que son dos hermanos gestados en épocas diferentes.

Los gemelos monocigóticos son generados a partir de la fecundación normal de un óvulo por un espermatozoide; *son genéticamente idénticos* y

Cuadro comparativo de Gemelaridad

Gemelos fraternos	Gemelos idénticos	
dos o más	Óvulo	uno
dos o más	Espermatozoide	uno
diferentes	Genes	iguales
igual o diferente	Sexo	iguales
diferente	Personalidad	semejante
“aire de familia”	Apariencia física	muy semej.

muy semejantes en la apariencia física, siendo siempre del mismo sexo.

El mecanismo de ocurrencia es debido a la separación del botón embrionario en etapa de blastocisto: en lugar de implantarse un grupo de células en un polo del mismo, se fragmentan y separan, situándose en dos porciones del blastocisto, quedando formados posteriormente dos discos germinativos.

Otros nacimientos múltiples:

a) Trigémos: Ocurre 1 en 7.600 gestaciones. Puede ser debido:

- un solo cigoto fecundado que se divide tres veces, siendo idénticos en sexo y apariencia.
- dos cigotos fecundados, uno de los cuales se divide, dando lugar a 2 gemelos idénticos y uno fraterno.
- de tres cigotos fecundados, siendo en este caso gemelos fraternos.

b) Cuádruples, quintillizos, séxtuples, etc: Esto comienza a verse más frecuentemente en los últimos años, debido a las técnicas de fertilización artificial, que producen ovulaciones múltiples, resultando todos gemelos fraternos.

Superfetación:

Es la implantación de un cigoto en el útero que ya contiene un embrión en desarrollo. Este fenómeno, bastante común en los animales (ej: perros), fue descrito en el ser humano pero no comprobado.

Gemelos Interligados (Siameses).

Si el botón embrionario, al dividirse para producir gemelos no lo hace completamente, se pueden formar gemelos conectados o unidos por alguna parte del cuerpo, piel o órgano, debiendo ser separados quirúrgicamente si ello es posible, o debiendo permanecer unidos si no es viable la operación.

Formación de los Anexos Embrionarios:

1.- Concepto:

“Los anexos embrionarios son estructuras derivadas del cigoto, pero que no contribuyen a la formación del cuerpo del embrión, sino desempeñan funciones de protección y nutrición, siendo todos expulsados en ocasión del parto”.

2.- ¿Cuáles son los anexos embrionarios?

Amnios - saco vitelino - alan-

toides - corion (incluye la parte fetal de la placenta) - placenta y cordón umbilical.

El **amnios** ya fue descrito; es una cubierta epitelial que delimita una cavidad la cual se halla por encima del disco embrionario, siendo el ectodermo su piso.

La cavidad amniótica, que es la cavidad delimitada por el amnios, cuando el embrión sufre los respectivos plegamientos, se expande hasta envolver totalmente al mismo. Es la “**bolsa de aguas**”, ya que las células segregan un líquido, el líquido amniótico, que será expulsado durante el parto.

El líquido amniótico es de alrededor 500 ml; es engullido constantemente por el feto, y a través de este mecanismo, se mantiene hidratado por fuera y por dentro.

Podemos mencionar que cumple con las siguientes funciones:

- Es el amortiguador frente a los choques o desplazamientos bruscos que pueden impactar sobre el feto, y también le permite moverse como si estuviera en una bañera.
- Sirve al feto como protección, evitando la desecación de la piel del mismo y manteniéndole constante la temperatura.
- Sirve para el diagnóstico: las células que se descaman de la piel del feto quedan incluidas en el líquido amniótico y de allí pueden ser extraídas por punción y estudiadas (ej: estudio cromosómico celular para determinar el síndrome de Down).

Saco vitelino: Es la cavidad ori-

ginada a partir del crecimiento del endodermo el cual forma una cavidad en región ventral del feto; este saco desempeña una función importante en los peces, reptiles y aves, ya que allí se acumula el vitelo o alimento del cual se nutre el feto del animal, ya que no hay circulación y contacto con la madre. Lo mismo ocurre con el vitelo del huevo de gallina.

Como la función trófica o nutricia en los mamíferos es asumida alrededor del tercer mes por la placenta, este anexo se atrofia finalmente en el feto humano.

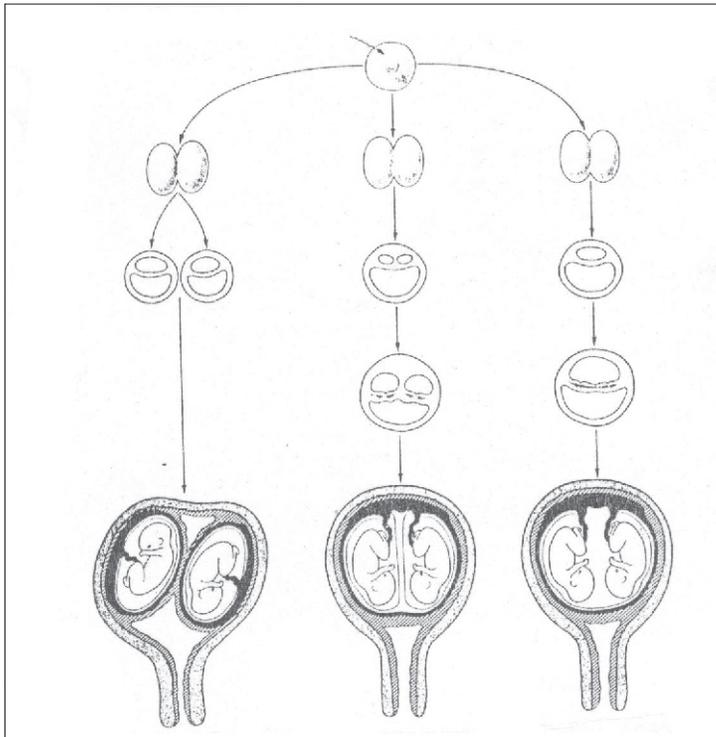
Entre sus funciones podemos destacar que, en el embrión humano lo *nutre* durante el primer mes, antes de que se forme la circulación placentaria.

Mencionaremos a continuación la **alantoides**, que es de origen endodérmico, (techo del saco vitelino). Tiene destacadas funciones en las *aves y reptiles*; en el hombre degenera, formando finalmente *la vena y las dos arterias umbilicales*, que realizan la circulación entre el feto y la placenta; es decir que a partir de la alantoides se forma el cordón umbilical, siendo que el amnios recubre totalmente esta formación.

El cordón umbilical une al feto con la placenta, recibiendo a través de ésta los nutrientes necesarios para su desarrollo.

Placenta: este anexo aparece en los mamíferos y es la estructura que permite el desarrollo interno (en el vientre materno) del embrión en forma completa además de permitirle

Esquema de Gemelaridad



prolongar el período de desarrollo. Los animales que poseen placenta son llamados *placentarios*, pasando así a ser el anexo más importante.

La placenta está formada por dos partes:

a) Un componente fetal, que es el corion (sincitio trofoblasto) que se forma de la unión del mesodermo extraembrionario y del trofoblasto.

b) Un componente materno, que es el epitelio del útero. Ambas capas se unen y constituyen el órgano placentario, siendo que del lado materno presenta vellosidades.

Al tercer mes, la placenta ya está totalmente formada. En condiciones normales, (embarazo normal) no se

mezclan las sangres fetal y materna, sino que salen de la circulación materna ciertas sustancias y pasan a través del filtro que es la placenta. Por eso se llama también *barrera placentaria*.

Funciones de la placenta:

a) Transporte de materiales: Esto se realiza entre la sangre materna y fetal y viceversa, gracias a los mecanismos ya estudiados tales como difusión pasiva, activa, facilitada, pinocitosis, etc.

Desde la madre al feto pasan: gases (O_2), agua y electrolitos, glúcidos, lípidos, proteínas, hormonas, vitaminas, anticuerpos, drogas (sedantes, anestésicos, antibióticos, etc.), virus (rubéola, varicela, sarampión, etc.) y eventualmente también toxinas, así como el germen de la sífilis y si la madre fuera portadora del mismo, del

SIDA, del Chagas, toxoplasmosis y otros. Desde el feto a la madre pasan: gases (CO₂), agua y electrolitos, productos de desecho del metabolismo.

c) Secreción endócrina: El sincitotrofoblasto de la placenta humana forma:

- estrógenos y progesterona
- gonadotrofina coriónica
- somatotrofina coriónica
- tirotrófina

Como hemos visto, la placenta realiza funciones *respiratorias* (intercambio de gases), *nutritiva* (producción y transporte de sustancias), *endócrina* (elaboración y síntesis de hormonas) y *excretora* (eliminación de productos del metabolismo).

Desarrollo Prenatal

El desarrollo es un proceso continuo, que se inicia cuando un óvulo es fecundado por un espermatozoide, formando el huevo o cigoto. Consta de un proceso continuo de crecimiento y diferenciación que transforma al cigoto (única célula) en un ser humano adulto multicelular.

Períodos del crecimiento y desarrollo prenatal

- Los períodos del desarrollo pueden ser divididos en:

a) **Período prenatal**: Comienza en la fecundación y termina con el nacimiento, durando un total de 40 semanas (280 días) o 9 meses lunares. Este período presenta además tres etapas bien definidas: germinal, embrionaria y fetal.

b) **Período posnatal**: Transcurre desde el nacimiento hasta el fin de la vida. Se divide en: infancia, adolescencia, adultez, vejez.

Clasificación del período prenatal:

Podemos dividir a este período en tres etapas o subperíodos:

3.1.- Período germinativo (o pre-embrionario): dura aproximadamente 14 días (2 semanas). Se extiende desde la concepción hasta la implantación del blastocisto, y la estructura germinal tiene en torno de 2 mm de longitud.

Principales ocurrencias:

- El cigoto se divide o segmenta en blastómeras (segmentación).
- Forma la mórula (16 células).
- Se produce el descenso al útero (migración).
- Ocurre la implantación.
- Se forma el blastocisto y el disco bilaminar.

En este período, muy sensible, debe destacarse que la mujer no sabe aún que está embarazada, y ocurren a veces abortos en este período y el producto se elimina con la menstruación.

Causas: medicamentos, desnutrición, enfermedades, traumatismos, radiación, defectos de implantación, Rh, etc.

3.2.- Período embrionario: Ocurre desde la 3^o semana hasta la 8^o semana (2 meses). Son sus principales consecuencias:

- Gastrulación y formación del disco trilaminar, con diferenciación de

los órganos.

- Formación anexos y cordón umbilical y placenta (5° semana).

Esta es una etapa muy delicada del desarrollo, ya que innumerables factores pueden afectar la normal formación de los órganos, como se verá más adelante.

3.3.- *Período fetal:*

Desde la 9° semana hasta el nacimiento. Período caracterizado por la diferenciación y crecimiento de tejidos y órganos del feto, que adquiere aspecto humano.

Se caracteriza por la formación definitiva de la placenta, al tercer mes, y el inicio de funcionamiento de los principales órganos, tal como el sistema nervioso y el corazón.

Al final del tercer mes el feto mide alrededor de 9 cm, desde la cabeza a las nalgas, y su peso es de unos 15 gs. Los genitales todavía no están bien definidos aún.

Ya en el cuarto mes, la madre puede sentir bien los movimientos de su hijo y al finalizar el 6° mes de embarazo el feto ya es viable, o sea, puede sobrevivir por sí mismo si ocurriera un nacimiento prematuro. Tiene una talla de 30 a 36 cm y pesa alrededor de 680-700 gs.

Sus reflejos son más vigorosos y se distingue claramente el sexo de la criatura.

En la semana 28° (7° mes) el peso

es de aproximadamente 1000 gs. y en este último trimestre de vida intrauterina el feto aumenta mucho de talla y peso, de tal modo que casi duplica su tamaño en este último período.

En esta etapa se forman muchos tractos nerviosos y la cantidad de células cerebrales aumenta con gran celeridad.

Para el 7° mes, ya se registran ondas eléctricas de la corteza cerebral fetal a través del abdomen de la madre.

En el último mes del embarazo el feto comienza a recibir los anticuerpos de su madre, los cuales, a pesar de su gran tamaño molecular, son llevados por transporte activo selectivo. La inmunidad que le confieren es temporaria, pero cumplen la función de proteger inmunológicamente al niño hasta que el propio sistema inmune del bebé pueda reemplazarlos.

El peso al nacer es un factor primordial que evidencia si el desarrollo ha sido el adecuado: los niños, en general, nacen con un peso promedio de 3 a 3.5 kg. y una talla entre 48 y 52 cm de media.

Los niños con un bajo peso al nacer (menor a 2.500 gs) tienen más probabilidades de morir en el primer mes de vida que los que nacen con pesos superiores, en las mismas semanas de gestación.

Por último, la placenta inicia su involución hacia el fin del 9° mes, poniéndose más dura y fibrosa, y dando inicio al parto. La fecha de nacimiento

se calcula en unos 266 días después de la fecundación, o 280 desde el último período menstrual.

El parto se cumple en tres períodos o momentos: **la dilatación**, que se acompaña de contracciones, permite el descenso del niño; **la expulsión**, debido a las contracciones más potentes del útero, se produce cuando se ha dilatado totalmente el cuello del mismo y permite la salida del feto y por último, la fase de expulsión placentaria, llamada de **alumbramiento**, que ocurre después del nacimiento del niño.

En ciertos casos, debido ya sea a problemas en el tamaño de la cadera o bien a trastornos en el trabajo de parto, el feto nace a través de una interven-

ción quirúrgica llamada cesárea, así llamada debido a que de esta manera nació el romano César.

Se deben destacar los grandes cambios que ocurren en esta nueva etapa de la vida extrauterina del bebé: durante la etapa prenatal el feto recibía alimento y oxígeno a través de la placenta y del cordón umbilical, así también por esos medios eliminaba los desechos producidos por su metabolismo; luego del nacimiento tanto el aparato respiratorio cuanto el aparato digestivo deberán comenzar a funcionar.

Normalmente, el neonato comienza a respirar a los pocos segundos de haber nacido y llora casi inmediata-

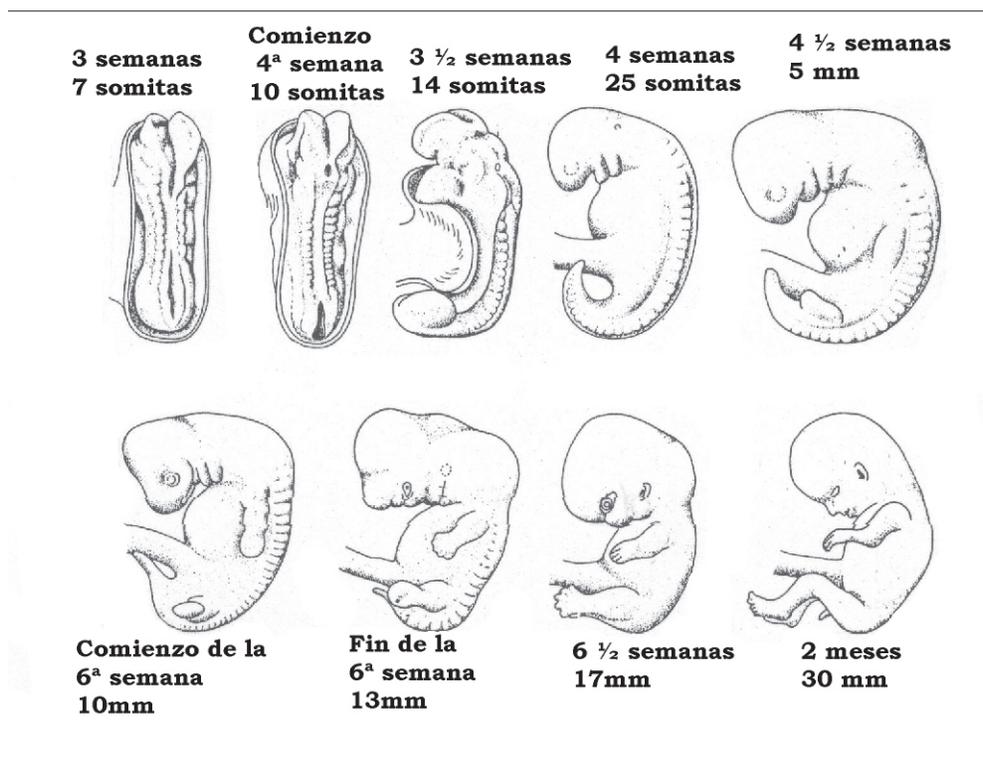


Fig.9.7. Esquema del desarrollo de las formas exteriores del embrión desde la 3 semana al 2 mes.

mente, señal de que respira sin dificultad. En cuanto a la alimentación, será la madre quien proveerá con su lactancia para satisfacer las necesidades nutritivas de su niño siendo la glándula mamaria la que tiene tal función.

Teratología

El desarrollo embrionario normal comprende una serie de procesos que, como se ha visto, se suceden ordenadamente, de modo que al nacer, el niño es semejante a los demás de su especie.

Durante el desarrollo embrionario, sin embargo, pueden ocurrir alteraciones de mayor o menor gravedad, y el recién nacido presentará diferencias o anomalías que pueden comprender desde anomalías a nivel molecular y celular hasta formación defectuosa o aun falta de formación de uno o más órganos.

Las deficiencias enzimáticas (por ejemplo, la ausencia de lactasa a nivel intestinal) es una *deficiencia a nivel molecular* y es el resultado de la inactividad o inexistencia del gen estructural correspondiente.

En cambio, cuando la anomalía consiste en un defecto en los órganos, se habla de una *malformación*, pudiendo ser ésta genética (heredada a través del patrimonio genético) o *congénita*, cuando la misma es causada durante la gestación del niño, la cual puede ser leve o grave y aun a veces ser incompatible con la vida.

Algunas de estas malformaciones no afectan en general al individuo (ej: dedos supernumerarios o carencia

de algún dedo; otras, como la cabeza y el cerebro pequeño -microcefalia- o defectos en el corazón u otros órganos causan la muerte del recién nacido o le producen graves alteraciones en su vida posterior.

La *Teratología* es el área que estudia la prevalencia, origen y diagnóstico de las anomalías que se pueden dar en la evolución de los seres humanos.

Es difícil precisar la frecuencia de las malformaciones, pero se calcula que entre el 2 y 3% de los neonatos tiene algún tipo de malformación, siendo que a veces no se presentan en el momento de nacer sino más adelante, así que tal vez, incluyendo esta circunstancia, la cantidad de malformaciones deba ser más numerosa.

Entre algunos datos conocidos se puede mencionar que:

- 15% de las muertes en el período neonatal se deben a malformaciones
- 6% de los bebés de hasta un año de edad tienen malformaciones congénitas
- 0.5% de los recién nacidos tiene anomalías cromosómicas

Agentes teratogénicos

Se llaman así a aquellos factores responsables de la aparición de una anomalía y pueden ser de origen *genético*, *ambiental* o debido a la *interacción de ambos*.

1. Factores genéticos:

1.1. Factores génicos (dependen de los genes):

Ocurren cuando uno o ambos padres son portadores de genes que

causan la anormalidad, siendo que los genes defectuosos pueden estar en los autosomas o en los cromosomas sexuales; muchas veces los padres no presentan dicha anormalidad, pero sufren algún tipo de mutación genética en sus células sexuales y así pueden transmitir el trastorno sin padecerlo.

Ejemplos:

- Polidactilia -más dedos que lo normal-.
- Acondroplasia -extremidades cortas y cabeza grande-.
- Microcefalia -cabeza de poco desarrollo, con cerebro pequeño-.

1.2. Factores cromosómicos (dependen de problemas en los cromosomas):

* *Aneuploidías* (por cualquier desviación del número diploide de cromosomas de la especie humana)-triploidías: $3n$; cuatriploidías: $4n$, etc., o bien por desviación en más o menos del número de cromosomas, tal como en las trisomías (síndrome de Down, Triple X, síndrome de Klinefelter, etc.), en las monosomías (síndrome de Turner), en los mosaicismos o en las cuatrisonomías.

También debemos mencionar los casos muy raros de hermafroditismo, donde el individuo tiene los dos pares sexuales conjuntamente: $XX+XY$.

* *Anomalías cromosómicas estructurales* (no génicas), muy probablemente originadas por radiaciones ionizantes y por acción de diferentes sustancias químicas. Estas son:

Translocación: transferencia de

una parte del cromosoma a otro no homólogo.

Supresión: pérdida parcial de un trozo de cromosoma.

Duplicación: se le agrega a un cromosoma una parte duplicada.

Inversión: el cromosoma gira y queda cabeza abajo.

Fractura: rotura de un cromosoma y el segmento se pega invertido.

2. Factores ambientales:

Los factores teratogénicos ambientales actúan tanto a nivel génico cuanto a nivel cromosómico; si impactan sobre las células germinales de un individuo, producirán una alteración en el patrimonio genético del mismo que será transmitido a los descendientes, en tanto que si afecta al embrión o feto durante la gestación sólo producirá anomalías en ese niño.

Si bien el embrión humano presenta una relativa independencia con el medio exterior, porque está protegido por el útero, la bolsa de aguas y la placenta, muchas veces éstas no son suficientes, ya que actualmente se sabe que la placenta no es tan impenetrable cuanto se creía.

Los factores ambientales, por su gran diversidad, pueden ser clasificados en:

2.1. Sustancias químicas:

Alcaloides: las sustancias contenidas en el cigarrillo, principalmente la nicotina, puede producir malformaciones. Se ha observado que, en las gestantes que fuman alrededor de 20 cigarrillo diarios, el parto prematuro es más frecuente, así como el "bajo peso" del niño al nacer, lo que indica trastor-

DIVISION GENERAL DEL S.N.C.

Vesículas	Vesículas	Estructuras	Cavidades (ventrículos)
Prosencéfalo (Cerebro Anterior)	Telencéfalo	* Hemisferios cerebrales y límbico. * Ganglio basales (en c/ hemisferio). * Bulbo olfatorio y fascículos (cintillas olfatorias).	Ventrículos Laterales (2)
	Diencéfalo	* Hipotálamo (1) * Hipófisis (parte nerviosa) * Tálamo (1 en c/ hemisferio) * Subtálamo * Quiasma óptico	Tercer Ventrículo
Mescencéfalo (Cerebro Medio)	Mesencéfalo	* Pedúnculos cerebrales Tubérculos cuadrigéminos	Acueducto De Silvio
Romboencéfalo (Cerebro posterior)	Metencéfalo	* Cerebelo * Protuberancia	4° Ventrículo
	Mielencéfalo	* Bulbo raquídeo	
	Médula	* Médula	Conducto del Epéndimo

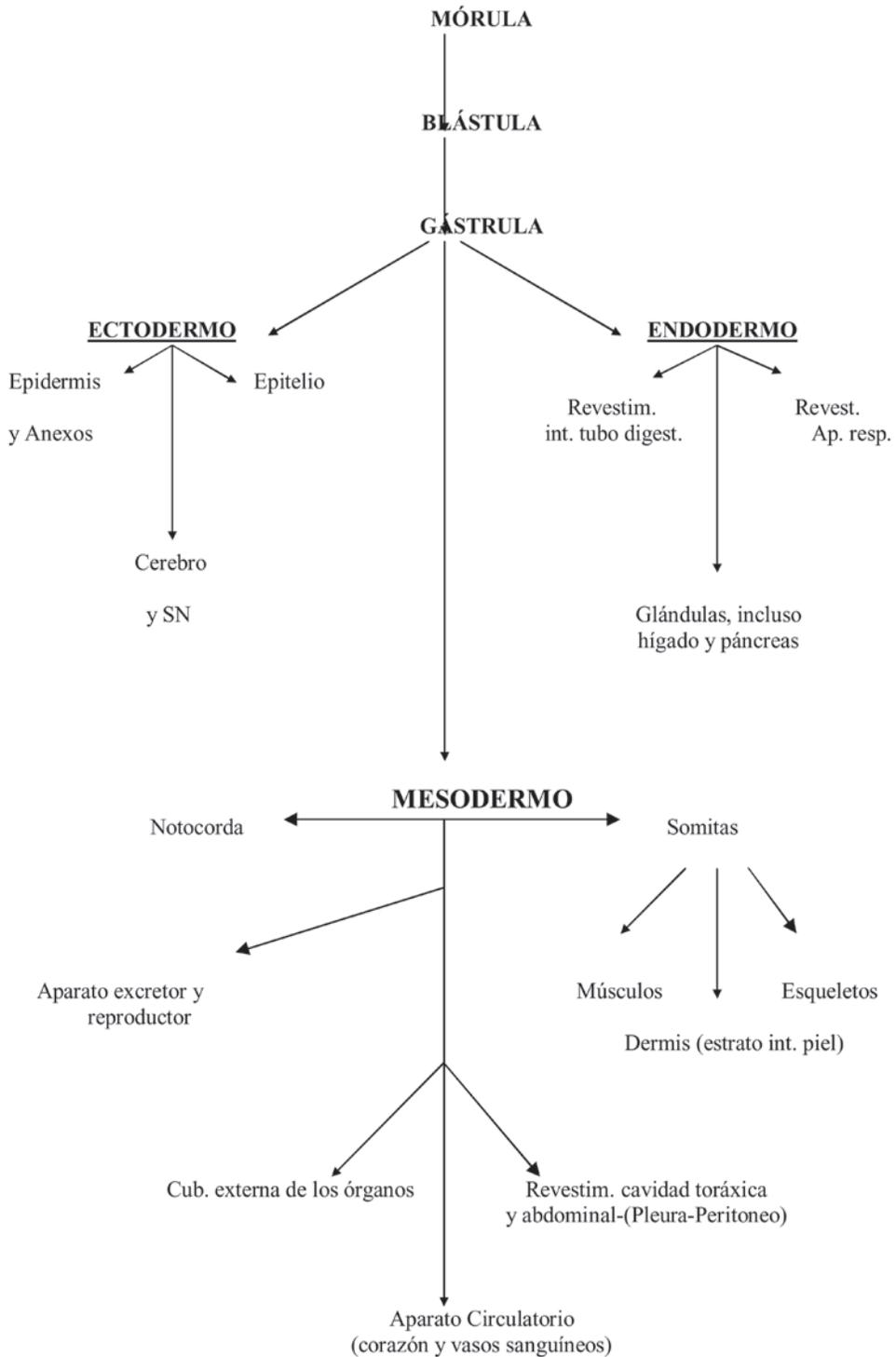
nos en el crecimiento del mismo.

Antibióticos: el tratamiento con "Tetraciclina" durante los primeros meses de embarazo produce trastornos dentales en el feto y eventualmente trastornos óseos y cataratas oculares; la "Estreptomicina" puede producir sordera, etc.

Sustancias hormonales: la administración de hormonas para prevenir el aborto pueden "masculinizar" a los fetos femeninos. Idem con hormonas tiroideas o medicamentos conteniendo yodo.

Sustancias antiepilépticas y antitumorales: Son altamente teratogénicas, pudiendo generar labio leporino, paladar hendido, etc.

ÓRGANOS DERIVADOS DE LAS HOJAS EMBRIONARIAS



Drogas: entre las mismas mencionaremos el LSD, marihuana, cocaína, etc. Las drogas alucinógenas y estimulantes provocan a menudo daños irreversibles sobre el sistema nervioso del feto si son usadas durante la concepción. Además, el niño nace con adicción a las drogas y se lo debe someter a tratamiento desintoxicante para recuperarlo, porque presentará el síndrome de abstinencia que le provoca múltiples trastornos de tipo psicofísico.

También se mencionarán algunos *pesticidas*, cuyo contenido incluye metales pesados y sustancias del tipo de la *Dioxina*, reconocida sustancia teratogénica a nivel de muchos órganos.

Historia de la Talidomida

Esta sustancia medicamentosa fue usada con mucho éxito en la década del 50 y del 60 para combatir las náuseas y los vómitos de las embarazadas; sin embargo, debido a su precoz lanzamiento al mercado y a una insuficiente investigación de sus efectos colaterales, el efecto teratogénico que no había sido detectado hasta ese momento produjo el nacimiento de niños con graves malformaciones, especialmente a nivel de los miembros superiores (trastorno conocido como *focomelia*) con ausencia de todo el miembro superior o de alguna parte de él, junto con malformaciones en oído, vista y otras.

2.2. Agentes infecciosos:

* Virus de la Rubéola: si bien la rubéola es una enfermedad benigna de la infancia, si ocurre durante el primer trimestre del embarazo es altamente

teratogénica, debido a que el embrión se halla en pleno período formativo de órganos.

Un alto porcentaje de lactantes nacidos de madre que padecieron rubéola presentan cataratas oculares, malformaciones cardíacas, sordera, microcefalia, y deficiencia mental entre otros trastornos. Estos pueden ser únicos o múltiples, siendo muy común la asociación entre cataratas y sordera.

La época de mayor riesgo es entre la 4° y 5° semana de gestación.

* Citomegalovirus: puede producir microcefalia con consecuente deficiencia intelectual, hidrocefalia, etc.

* Toxoplasmosis: es una infección producida por un parásito, el toxoplasma gondii, que es capaz de atravesar la membrana placentaria e infectar al feto.

Este parásito es habitual de hallar en la carne cruda o mal cocinada, y también puede ser adquirido a través del ocasional contacto con los gatos, que son portadores del mismo. Produce hidrocefalia, microcefalia y otras malformaciones, así como aumenta la posibilidad de producir abortos.

* Sífilis: infección que puede producir en el embrión malformaciones dentales, meningitis fetal, etc.

2.3. Radiaciones ionizantes

En este grupo se incluyen los Rayos X, recibidos por ejemplo a través de las radiografías, las radiaciones de tipo alfa, beta y gamma y de otro tipo, como por ejemplo, las resultantes de

accidentes nucleares como Chernobyl, que impactan directamente sobre el ADN celular no sólo de la gestante sino también del feto, con graves mutaciones irreversibles.

Muchas veces causan abortos espontáneos o malformaciones graves, con mayor manifestación a nivel del sistema nervioso central, que se traduce por deficiencias múltiples, tanto físicas como intelectuales, como asimismo malformaciones esqueléticas y leucemias.

A pesar de lo mucho que se ha investigado acerca de las causas de las malformaciones, los conocimientos con que se cuenta son aún bastante incompletos, teniendo en cuenta que aproximadamente el 80% de las malformaciones registradas son de origen desconocido, no pudiéndose establecer la causa.

Se sabe que en torno del 5 al 10% son de origen genético, y por lo tanto son transmisibles de padres a hijos como caracteres dominantes o recesivos.

Los defectos cromosómicos inciden en una tasa del 3 al 5% y las infecciones maternas y otras enfermedades son responsables apenas del 1 al 2% de los casos.

“Es importante destacar que la mayor sensibilidad a los teratógenos se produce durante el período embrionario, entre la 3° y 7° semana de gestación, siendo que los trastornos ambientales durante fases más tempranas ocasionan normalmente la muerte prematura del embrión y su aborto.”

El factor *cronológico* debe también ser tenido en cuenta en lo que se refiere a que un mismo agente agresor podrá producir diferentes trastornos según la etapa del desarrollo en la que actúe, de tal manera que, por ejemplo, la rubéola adquirida durante la sexta semana de gestación, podrá producir defectos oculares, en tanto que contraída en la octava semana causará sordera congénita en el feto.

Clonación

A fines de febrero de 1997, una bomba estalló en los titulares de los principales diarios y revistas científicas: un grupo de investigadores del Instituto Roslin de Edimburgo (Escocia) había anunciado en la prestigiosa revista *Nature* la clonación de una oveja a partir de células extraídas de la glándula mamaria de un ejemplar adulto.

Esto significaba que se había realizado algo sin precedentes: lograr reproducir una copia exacta de un mamífero adulto. Durante años, especialistas famosos habían negado la posibilidad de llevar esto a cabo.

Sin embargo, nacen cuatro mil niños clonados por día y nadie se preocupa ni es tapa de periódicos; son los *gemelos idénticos*, que son clonados espontáneamente en el vientre materno.

¿Pero qué es un **clon**? En el caso de individuos, dicese del sujeto que es genéticamente idéntico a otro, o sea, que comparte todos sus genes con él.

Existen clones naturales, como ya

hemos apuntado, que son los gemelos idénticos, donde el proceso de clonación se efectúa cuando el incipiente embrión se divide en dos y también en las plantas que se multiplican por reproducción asexual (un gajo de malvón que origina otro idéntico y del mismo color).

Sin embargo, en esta experiencia, se siguió un camino totalmente diferente a la de la clonación natural: se utilizó lo que se denomina *transferencia nuclear*, que consiste en transferir el núcleo de una célula adulta (extraída en este caso de una célula de la glándula mamaria de una oveja adulta) a un ovocito de una segunda oveja, al cual se le ha eliminado el propio núcleo.

Si recordamos la constitución celular del núcleo de un ovocito, veremos que éste posee sólo un juego de cromosomas (n), o sea es una célula *haploide*.

Al transferirle a un ovocito un núcleo de una célula somática, lo transformamos automáticamente en una célula *diploide*, con $2n$ cromosomas, en un paso que saltó la fecundación, y que ha recompuesto así el número diploide en forma artificial.

Esta nueva célula así formada (citoplasma de ovocito de una oveja y núcleo con todos los cromosomas de una célula somática de otra oveja) empezó a dividirse por *mitosis*, hasta formar un embrión que los investigadores implantaron en el útero de una tercera oveja.

Al cabo de 5 meses nació una ovejita perfectamente normal y de apariencia exacta con la oveja que donó

sus cromosomas a través de su célula mamaria, a la que se llamó Dolly.

Técnica de la Clonación

Si bien el asunto de la clonación artificial es bastante viejo (desde hace algunos años se están clonando algunos mamíferos tales como vacas y ovejas), el método usado es a partir de embriones. Una forma es tomando un embrión de pocas células -eventualmente en período de mórula y obtenido a partir de un óvulo fecundado por espermatozoide- y separar las células implantándolas en vientres diferentes.

Así se obtienen muchos individuos gemelares idénticos: cada uno de ellos es idéntico a su hermano pero diferente a sus progenitores.

¿Qué tiene de distinto Dolly? La diferencia reside en que ella ha resultado ser ¡un gemelo idéntico de su madre!

No bien se supo de la oveja clonada estalló el escándalo, ya que la primera pregunta a hacerse fue: ¿es entonces posible clonar seres humanos?

Aunque en un principio esto fue negado, uno de los “padres” de Dolly aseguró que se podrían obtener clones humanos dentro de algunos años, tal vez antes de que termine el milenio.

Y aquí es que comienza el verdadero escándalo: en esta horripilante galería de fantasías o posibilidades, ¿por qué razones habría de clonarse un ser humano?

Una de las primeras apunta a una

cuestión de narcisismo, como una necesidad de recrearse viéndose repetido en “el otro”. La clonación se convertiría así en una forma de eternidad, y de seguir existiendo a través de los propios genes *implantados* en el otro.

También están los que no aceptan la muerte de un ser querido, tal es el caso de un hijo, y quieren volver a tenerlo bajo la forma de un clon del pequeño muerto. Nuevamente retorna la cuestión del principio del placer, el “otro” en tanto me da placer con su existencia.

No hay quien falte que sostenga que la clonación se podría convertir en una fuente de órganos para trasplante: en esta aterradora proposición, los clones nacerían sólo para morir, donando sus órganos a un cruel gemelo idéntico, o bien para aportar algunos tejidos, tales como la médula ósea para un gemelo enfermo de leucemia nacido con algunos años de diferencia.

La fantasía no se detiene allí. Clonar una estrella como Maradona, Gabriela Sabatini o Claudia Schiffer, o bien un genio de las ciencias o un excelso bailarín puede resultar una tentación, pero ¿la nueva réplica tendrá las mismas habilidades que el original? ¿Será realmente igual en todo?

En 1911 Johannsen introdujo dos importantes conceptos en genética: la del *genotipo* y *fenotipo*.

El genotipo es la carga genética y por lo tanto heredable de un organismo vivo. Cada célula de un ser humano tiene un núcleo con 46 cromosomas que conforman su genotipo, excepto

los gametos, que sólo tienen 23.

En esos cromosomas se almacena todo el programa de construcción y funcionamiento de la persona y todas sus células lo tienen.

Pero ese *genotipo* interactúa con el ambiente durante toda la vida del individuo, desde el vientre materno -que es en ese momento el ambiente para el feto- hasta la vejez, configurando sucesivos *fenotipos*. Todos nosotros somos fenotipos moldeados por el ambiente, de tal modo que hasta los gemelos idénticos siempre difieren por comportamientos y elecciones distintas.

Aunque crecemos y nos desarrollamos en base a un *mapa genético*, almacenamos en la neocorteza importantes “paquetes” de información adquirida a través de la cultura que nos hace diferentes cada día y que, lamentablemente, no podremos transmitir genéticamente a nuestros descendientes.

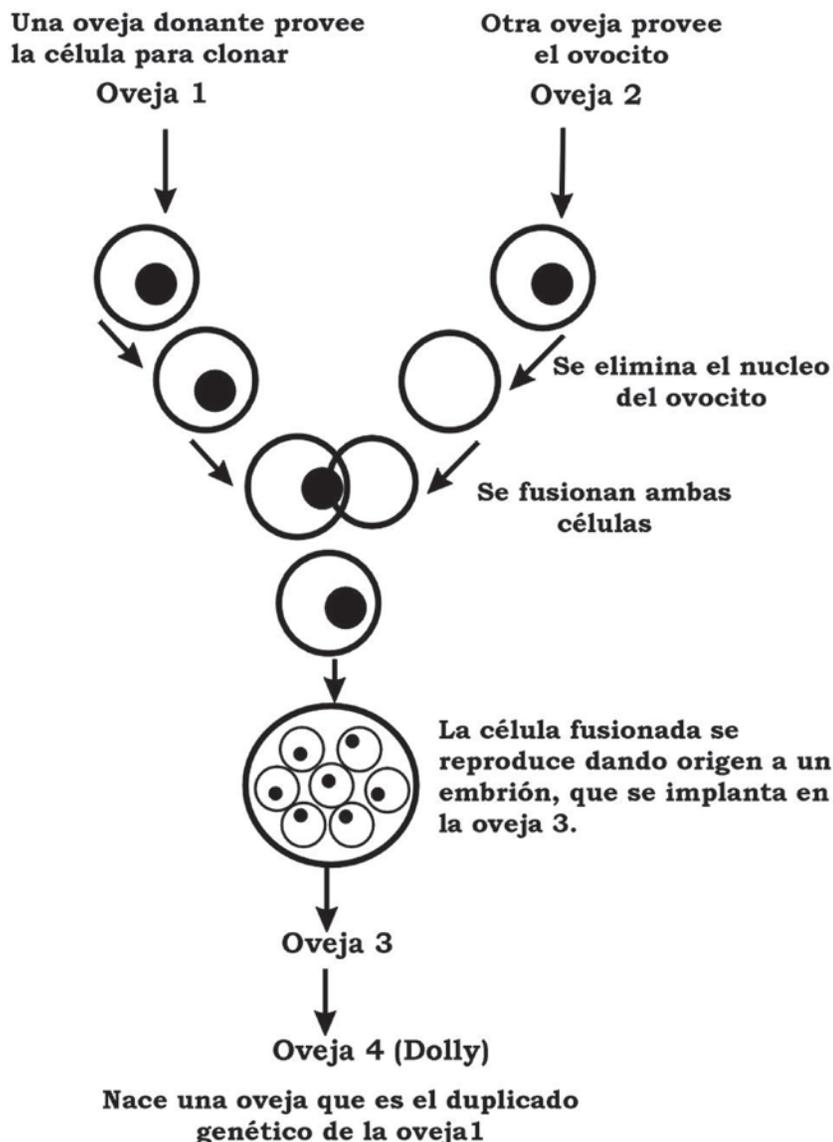
El futuro clon humano llevará por lo tanto el mapa genético del donante, o sea, su genotipo, pero nunca su cultura ni el desarrollo que alcanzó en su particular y única relación con el ambiente que *en su momento* compartió (fenotipo), debido a que ningún clon podrá reconstruir las mismas condiciones socioculturales y ambientales que “moldearon” a su progenitor.

Por eso, nunca un clon humano podrá ser fenotípicamente igual al original; nuestro cerebro nos protegerá de los clones perfectos.

Sin embargo, aterrados por esta posibilidad que ofrece la ciencia, mu-

chos gobiernos, a través de informes de expertos en bioética, se han apurado a legislar prohibiendo realizar experiencias en el área de la clonación humana, entre ellos la Argentina. La posibilidad de jugar a ser Dios se ha tornado inso-

portable y en este patético escenario de niños hambrientos y países cada vez más pobres, nos debatimos inermes sin hallar los límites de la ética que debe marcar el rumbo de la vida del hombre.



CAPÍTULO 11

- **Evolución.**
- **Agentes de cambio.**
- **Mecanismo de la evolución.**
- **Pruebas y evidencias de la evolución.**
- **Genética y evolución.**
- **Evolución del hombre.**

AUTORA: Med. Liliana Maulini

Introducción

Hace muchos años, en el siglo XIX, en la ciudad de Manchester, Inglaterra, ocurrió un fenómeno interesante que abrió los ojos a los investigadores de la biología.

En esas regiones abundaba un tipo de mariposa clara, de una variedad llamada "*Biston Betularia*", conocida vulgarmente como polilla moteada, muy conocida por los naturalistas británicos, quienes señalaban que éstas solían posarse sobre los árboles y las piedras cubiertas de líquenes.

Los líquenes son musgos blancos que resultan de una combinación de un hongo particular y un alga verde. Los mismos crecen en la tierra, adheridos al tronco de los árboles, rocas, etc., absorbiendo agua y minerales para su nutrición; sobre este fondo, las polillas claras se tornaban prácticamente invisibles a sus naturales predadores, o sea las aves. Hasta mediados del siglo XIX, todos los ejemplares de *Biston Betularia* descritos por los naturalistas eran de color claro.

En cierto momento, se capturó un ejemplar de polilla negra en el centro de Manchester, causando gran sorpresa entre los estudiosos.

Simultáneamente, Inglaterra iba marchando aceleradamente hacia la industrialización, con gran producción de partículas de hollín que las chimeneas de las fábricas eliminaban y que comenzaron a contaminar el paisaje, matando a los líquenes y dejando desnudos los troncos de los árboles y ennegreciendo las piedras, casas y tierra en

la cercanía de las zonas industriales.

Este fenómeno, llamado *melanismo industrial*, hizo que las mariposas claras resaltaran sobre el fondo ennegrecido, por lo tanto fueron depredadas con mayor facilidad.

Durante este período, y a medida que iban desapareciendo las polillas claras, se hallaron cada vez más ejemplares negros, de tal manera que esta variedad se propagó hasta alcanzar a representar casi la totalidad de los ejemplares de *Biston Betularia* existentes.

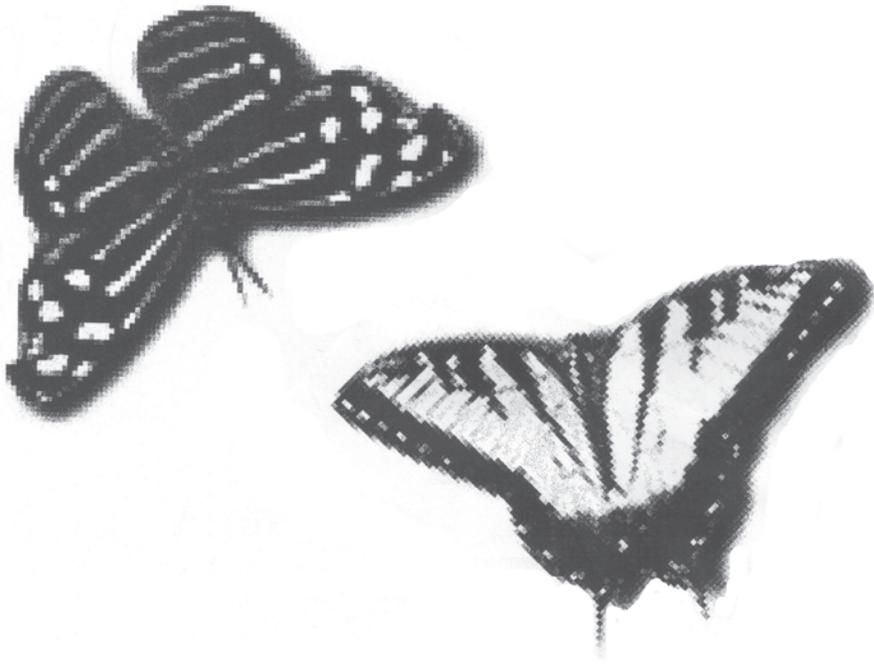
Actualmente, después de que en los países industrializados se ha creado la necesidad del cuidado del ambiente e innumerables medidas se han aplicado para su preservación a través de la eliminación del hollín, se observa que la cantidad de polillas claras está volviendo a aumentar con relación a las negras.

Innumerables interrogantes surgen de estos acontecimientos: ¿de dónde vinieron las polillas oscuras?; ¿por qué proliferaban tan aceleradamente?; ¿por qué sobrevivieron las negras y no las blancas?; ¿qué hubiese ocurrido si no hubiera habido polillas negras?

Es de destacar que después de leer este capítulo, el estudiante estará en condiciones de responder a estos interrogantes.

Hacia una Idea de Cambio

Siguiendo el razonamiento dado por las evidencias que se habían acumulado desde hacía bastante tiempo, resultaba evidente la existencia de una



Mariposa Biston Bittularia

enorme cantidad de especies vivientes, que según distintas teorías, podrían haber existido desde siempre, o bien como sostenían algunos, entre ellos el eminente científico francés George Leclerc de Buffon, haber experimentado algunos cambios con el correr del tiempo, lo que haría más diversas las criaturas vivientes.

Si bien éste no fue mayormente preciso en sus aportes, intentó explicar de alguna manera la desconcertante variedad de seres vivos que se hallan en nuestro mundo.

Otro científico entre los que dudaban de la fijeza de las especies fue Erasmus Darwin (1731-1802), abuelo de Charles, quien siendo médico, naturalista y fecundo escritor, sugería que las especies vivientes podrían tener

vínculos entre sí y que los animales podrían cambiar como respuesta a su ambiente, pudiendo su prole heredar estos cambios.

Estas ideas, que no fueron desarrolladas con claridad, tuvieron, sin embargo, gran influencia sobre Charles Darwin, a pesar de que éste había nacido después de la muerte de su abuelo.

Evolución

Uno de los conceptos que introdujo modificaciones profundas en la ciencia de la biología fue el de evolución, que modificó la visión que hasta ese entonces se tenía acerca del mundo, la naturaleza y los seres vivientes, incluido el hombre.

Entiéndese por **EVOLUCIÓN** a los cambios ocurridos en los seres vivos a lo largo del tiempo, desde la aparición de las primeras formas vivientes y hasta el presente.

La evolución debe ser entendida como un atributo de la **Población** y no del individuo, ya que la conservación hereditaria de los genes es propia de las poblaciones, las cuales mantienen la frecuencia génica constante; la evolución representa un cambio en la composición genética de una población, con alteración del equilibrio génico.

Equilibrio génico o genético es la condición del genotipo donde las frecuencias génicas se mantienen constantes de generación en generación, por ello mismo el genotipo se mantiene constante, sin cambio o variación.

POBLACIÓN: para la genética, representa un grupo de individuos que se reproducen entre sí y comparten un reservorio génico común que consiste en la suma de todos los alelos de todos los genes de los individuos que componen la población.

Por lo tanto, la población está definida por un **contenido génico constante** lo cual hace que, de no actuar factores que alteren este equilibrio, *“la frecuencia de genes se mantendrá constante de generación en generación a través del tiempo, y si el apareamiento se cumple al azar (aleatorio) las proporciones de cada genotipo se mantienen invariables.”* (Principio de Hardy-Weimberg).

Por lo tanto, se podría definir como **ESPECIE** a *“un conjunto de seres*

que presentan un patrimonio genético cerrado, al que no pueden penetrar genes extraños en el apareamiento normal, los cuales se interfecundan y producen descendientes fértiles, o sea, aptos para la reproducción.”

En cuanto a lo que se entiende por **ESPECIACIÓN**, debe definirse como la *“formación de una subespecie, debido a algún tipo de aislamiento reproductivo entre los componentes normales de una especie, de tal manera que los nuevos individuos presentan cambios que no les permite aparearse”*.

Este concepto será ampliado en temas sucesivos referentes a aislamiento geográfico.

Sin embargo, los mecanismos tan conservadores a los cuales se aludía en el principio de Hardy-Weimberg, sumamente importantes para la supervivencia de los organismos que componen una población, no permiten ninguna variación o cambio, o sea, no hay evolución.

En cuanto al concepto de evolución, se pueden distinguir dos tipos que ocurren en los seres vivos.

Cuando las frecuencias génicas que acontecen dentro de las poblaciones varían, se habla de que ha ocurrido una **microevolución**; y en un sentido más amplio, el término evolución sirve para referirse al concepto de que todas las formas de vida existentes descendieron de uno o unos cuantos ancestros y que por lo tanto, están genéticamente emparentadas: a esto se denomina **macroevolución**.

Agentes de Cambio

Los mecanismos que pueden producir cambios en la frecuencia génica de las poblaciones pueden ser resumidos en los siguientes agentes: *mutación, migración, deriva genética, selección natural y en algunos casos, apareamiento no aleatorio*, tal como la autopolinización, siendo que este último mecanismo introduce cambios en las proporciones de los genotipos pero no necesariamente en las frecuencias de los alelos. Por ello, se considerarán solamente los cuatro primeros mecanismos.

MUTACIÓN: cambio espontáneo, brusco e irreversible, total o parcial, que ocurre en los seres vivos, afectando el patrimonio genético de las células de un individuo, de tal manera que este cambio produce una nueva característica, que será transmitida a la descendencia si esta mutación ocurriera en las células germinales del mismo.

Las mutaciones suelen considerarse como la materia prima de la evolución, ya que introducen variaciones en los individuos, o sea, fuente de nuevas formas alélicas que producen variabilidad. Se suceden en forma totalmente aleatoria y en forma constante, representando no sólo un cambio en la constitución del ADN, sino una pérdida del mismo.

Con respecto a la frecuencia con que ocurren las mutaciones, ésta se mide en tasas o razones, siendo la tasa media de las mismas comprendidas entre 1 en 1.000 y 1 en 1.000.000, según del alelo que se trate.

MIGRACIÓN: denominada también flujo génico, representa el movimiento de los alelos hacia o desde una población como consecuencia de la inmigración (llegada) o emigración (partida) de individuos reproductivos que puede alterar las proporciones de los alelos ya existentes. Es de poca importancia en la evolución de poblaciones medianas o grandes.

En el caso de las plantas, la migración está representada por la introducción de gametos (por medio del polen) procedentes de otras poblaciones, en cuyo caso se habla de hibridación.

DERIVA GENÉTICA: es la pérdida de algunos alelos que ocurre en poblaciones pequeñas en ocasión de la reproducción aleatoria, alterando así la frecuencia génica; es importante como fuerza evolutiva en poblaciones pequeñas, si bien ha suscitado algunas polémicas que se explicarán bajo el tema "efecto fundador".

Se puede ejemplificar diciendo que si en una pequeña población, un único individuo portador del alelo "a" no se aparease o fuese destruido antes de tener descendientes, el alelo mencionado se perdería completamente en esa población.

Efecto del fundador

Cuando una población pequeña se separa de otra más grande, lleva consigo algunos alelos los cuales podrán estar representados en exceso o perderse por completo según la deriva génica. Cuando esta población se reproduzca y se torne más numerosa,

tendrá obviamente una composición genética distinta -un repertorio génico diferente- respecto del grupo originario. Éste es un tipo particular de deriva génica llamada efecto o principio fundador.

Esto se ha observado entre los Old Order Amish de Pennsylvania, grupo fundado por unas pocas parejas hace alrededor de 200 años.

En esta comunidad, se presenta en una frecuencia sin precedentes un alelo recesivo que, en su forma homocigota, produce combinación de enanismo genético y polidactilia, o sea, dedos supernumerarios.

Al aumentar el número de individuos, se propaga con mayor frecuencia esta rara combinación en esta comunidad, representando un exceso en la proporción de un alelo en comparación con otras comunidades de la región e inclusive respecto a la comunidad de la cual son originarios.

SELECCIÓN NATURAL: representa la presión o fuerza que ejerce el medio ambiente sobre la reproducción de combinaciones genéticas. Modela la variación genética, sin producir “per se” nuevos genes. El medio favorece ciertas combinaciones de patrimonios genéticos, eliminando otros menos convenientes.

A Darwin se le ocurre, en 1838, el concepto de selección natural cuando para entretenerse, lee las sombrías conclusiones de Malthus que aludían a la desproporción entre el aumento geométrico poblacional y el incremento lineal de los recursos para su manutención.

La conclusión malthusiana era catastrófica: la humanidad excedería sus recursos y tendería a su desaparición. Sólo unos pocos podrían sobrevivir, aquéllos que por alguna razón se vieran más “favorecidos” que otros.

A este proceso de supervivencia de los favorecidos Darwin lo denominó “**selección natural**”, por analogía con la selección artificial que practican los criadores de animales y plantas, práctica ya descrita por él mismo en su libro “El origen de las especies” referente a la cría de palomas.

Para él, la selección natural es la fuerza principal de la evolución, ya que entiende que los individuos de una especie que poseen ciertas características que les permiten sobrevivir y reproducirse satisfactoriamente son considerados en mejores condiciones que otros que no lo logran; en definitiva, la selección natural habla de los mejores **adaptados**, resaltando la capacidad adaptativa de estos individuos.

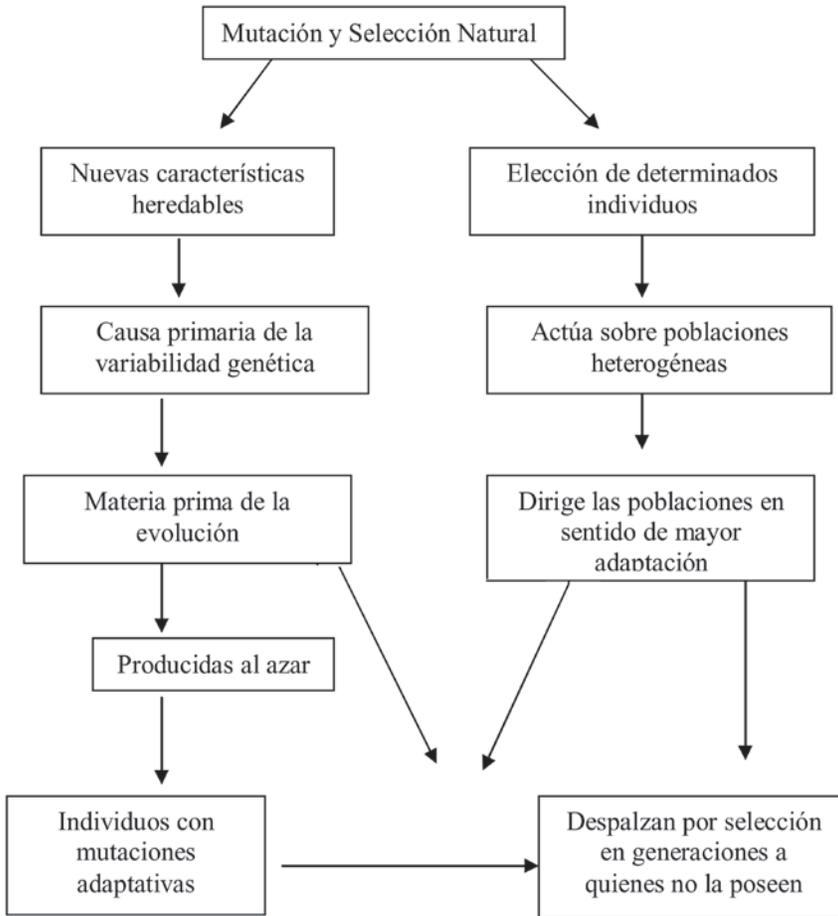
Un buen ejemplo de selección natural es la descripción que se hizo en la Introducción acerca de la situación de la polilla *Biston Betularia* en Manchester.

La característica “**adaptación**”, que es una capacidad importantísima de los seres vivos, decidirá, en parte (en el curso de la selección natural) el destino de los mismos.

Las Mutaciones y la Selección Natural

Se puede decir que las mutaciones aportan la materia prima para la evolución. Sin formas alternativas

Mecanismo de la Evolución



de genes no habría base sobre la cual pudiera actuar la selección. Una tasa de mutación continua y baja, aun contando con que la mayoría sean desventajosas, termina produciendo pequeñas fracciones ventajosas en ambientes cambiantes y conduce a adaptaciones evolutivas.

La **selección natural** permite que los más aptos sobrevivan y produzcan más descendencia.

Sin embargo, a primera vista, parecería poco probable que la gran diversidad de formas vivientes que

ahora existen en la Tierra se hayan originado por mutación y selección de los organismos simples, semejantes a bacterias que habitaban los océanos primitivos. Pero hay un detalle a tener en cuenta: ¡transcurrió mucho tiempo en este proceso evolutivo, cerca de 3 ó 4 mil millones de años!

La acción de la mutación y de la selección natural es necesaria no solamente para la formación de nuevas especies, sino también para que las que ya existen continúen existiendo.

Muy pocas especies permanecen

estáticas; o continúan evolucionando o se extinguen definitivamente.

EL hombre no está exceptuado de esta norma; ha podido llegar hasta el presente gracias a un riguroso proceso de selección, donde los genes “menos aptos” han sido de algún modo eliminados.

Sin embargo, debido a que el hombre es capaz debido a sus capacidades intelectuales de adaptarse a su medio ambiente a través de la modificación del mismo para tornarlo más adecuado a sus necesidades, se observa que en el caso humano se disminuye el impacto de la selección natural.

A su vez, este aprendizaje que el ser humano realiza es transmitido a través del lenguaje a sus descendientes y es posible así la protección de la vida de muchos individuos que de otra manera no podrían sobrevivir. Pero ello conlleva inexorablemente a la preservación y propagación de genes “no aptos” que proponen nuevos desafíos al intelecto y creatividad humanos para el futuro que ya es hoy.

Modalidades de la Evolución

A los efectos de intentar una explicación de cómo la selección natural produce evolución, se ha postulado que necesariamente debe haber una separación o aislamiento de un grupo de individuos de otros, de tal modo que ocurran los siguientes mecanismos:

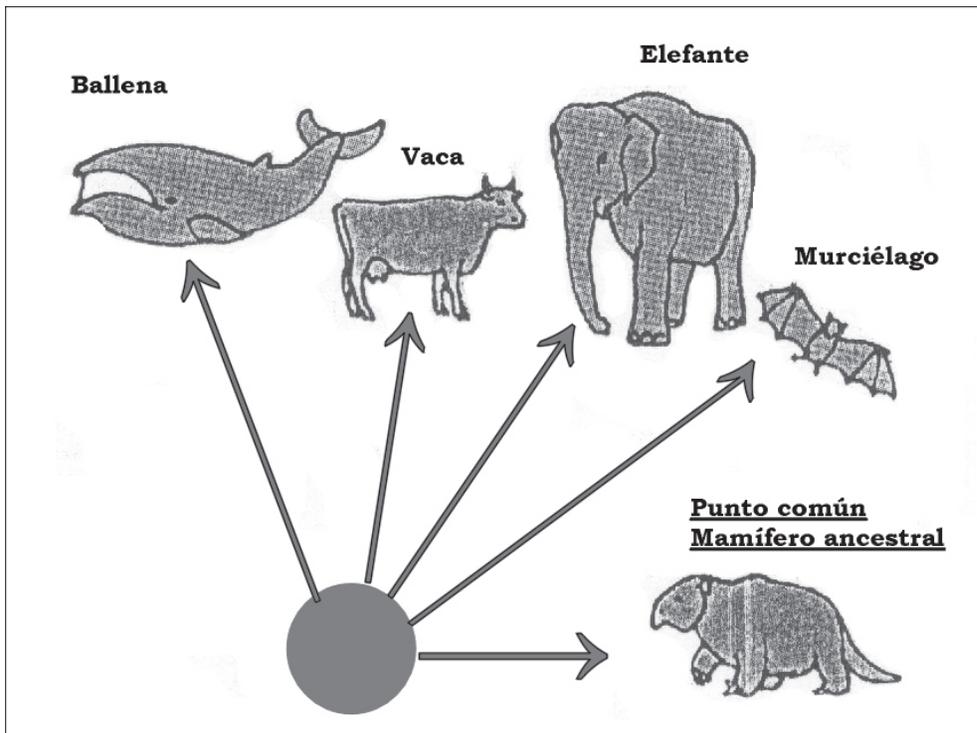
- **Aislamiento geográfico**, tales como ríos, montañas, mar, etc., de tal manera que los individuos quedan separados por estas barreras geográficas y cada grupo evoluciona en

forma distinta, ya que queda sujeto a presiones diferentes. A su vez, las mutaciones y recombinaciones genéticas que sufran cada grupo serán disímiles, ya que surgen al azar.

- Si este aislamiento persiste por mucho tiempo y se llevan a cabo cambios muy radicales, es posible que estas especies lleguen a formar **subespecies** y posteriormente una nueva especie.
- **Radiación adaptativa**: se trata de un tipo de evolución llamada *evolución divergente*, que ocurre en el caso en que una población queda aislada del resto de la especie, tal como se mencionó anteriormente, y sigue un curso evolutivo distinto. Se menciona que, a partir de unos pocos ancestros, el resto de los descendientes se adaptan de maneras diferentes a los nichos ecológicos y resultan una variedad de conductas y particularidades físicas.

Un ejemplo de radiación adaptativa con evolución divergente es el caso de los pájaros pinzones, estudiados por Darwin en su viaje a las Galápagos, que habrían seguido el siguiente proceso:

- Llegan los pinzones a Sudamérica (Ecuador) ocupan las islas y se distribuyen en ellas (se aíslan) en cada isla predomina un alimento y hábitat diferente, se producen mutaciones diferentes en los pobladores de cada isla se modifica su pico y sus costumbres alimentarias se originan variedades y especies diferentes.
- **Radiación convergente**: este mecanismo produce un proceso de *evolución convergente* que ocurre cuando organismos que ocupan ambientes similares vienen a asemejarse entre sí, aunque filogenéticamente tengan un parentesco lejano.



Ejemplo de radiación adaptativa

Este proceso exige la adaptación sucesiva entre dos o más líneas vivientes que se dirigen a un punto común.

Las adaptaciones se refieren al comportamiento: son casos de órganos diferentes pero con características semejantes por adaptación a una función idéntica. Por ejemplo, el caso tanto de las alas de murciélagos y aves, aletas de peces y ballenas, alas de los insectos, etc., son órganos distintos, de seres no relacionados, pero que muestran comportamientos idénticos, tales como volar o nadar.

Pruebas y Evidencias de la Evolución

Las pruebas y evidencias ofrecen argumentos a favor de la evolución

biológica; según expresaba Darwin, “los organismos evolucionan por un proceso de descendencia a partir de otros que se han modificado”. Los cambios o diferencias se van acumulando gradualmente a lo largo de las generaciones.

Para llegar a estas expresiones, los científicos compararon las estructuras de algunos animales entre sí, para luego poder establecer conclusiones. Éstas se basan en:

1. Anatomía comparada:

Busca demostrar la evolución a través del estudio de órganos presentes en diferentes especies. Así se expresa que “*órganos o partes presentes en diferentes tipos de organismos pueden estar relacionados*”, debido a que presentan la misma estructura básica y se

desarrollaron en forma parecida.

Todos los mamíferos, sea jirafa o ratón, poseen 7 vértebras cervicales; todos los vertebrados tienen 4 extremidades, nunca 6 u 8.

Esto se denomina **homología**, y se entiende por tal a *“la relación entre distintas estructuras, que poseen un origen común, pero que no cumplen necesariamente la misma función.”*

Así, el ala de un ave, la aleta de una ballena, la pata delantera de un caballo y la mano humana cumplen funciones muy distintas, pero el estudio pormenorizado de la disposición de los huesos constituyentes revela la misma estructura básica, de tal modo que son designados como **órganos o caracteres homólogos**.

Homología de las extremidades

anteriores (pierna, brazo, ala) de: 1. lagarto; 2. Perro; 3. Brazo humano; 4. Cerdo; 5. Caballo; 6. Rinoceronte; 7. cocodrilo; 8. Ballena; 9. Pingüino; 10. Pterosaurio (reptil volador ya extinguido); 11. Murciélago; 12. Ave. Aquí el arreglo de los huesos sigue un mismo plan e indica que probablemente estos organismos evolucionaron a partir de un ancestro común.

Sin embargo, tanto las aves, los murciélagos, los insectos, etc., poseen alas; éstas tienen la misma función (están adaptadas para volar) y sin embargo revelan antecedentes evolutivos diferentes. Por lo tanto, las alas de estos dos tipos de organismos no son homólogas, son **análogas**, ya que se corresponden en ciertos comportamientos, debido a la **semejanza funcional** pero no a un origen común.

FORMA	FUNCIÓN	HABITO ALIMENTICIO
	TRITURACIÓN	VEGETARIANO
	EXPLORACIÓN	CARNÍVORO
		PRINCIPALMENTE
	APREHENSIÓN	

Picos de los pinzones

La **analogía**, por ende, es la correspondencia entre dos individuos basada en la semejanza funcional pero no en un origen común. Las alas, en el caso descrito, no son versiones modificadas de una estructura presente en un ancestro, sino que se forman como una adaptación a una función específica como es la de volar.

2. Órganos vestigiales o rudimentarios:

Su denominación proviene de la palabra “**vestigios**” que significa restos. Son estructuras sin uso y de tamaño reducido en algunas especies; su presencia no tiene una explicación satisfactoria.

Sin embargo, se piensa que en el aspecto evolutivo, esos órganos, que hoy se hallan en proceso de atrofia debido a la falta de uso, fueron necesarios y funcionales en antepasados de

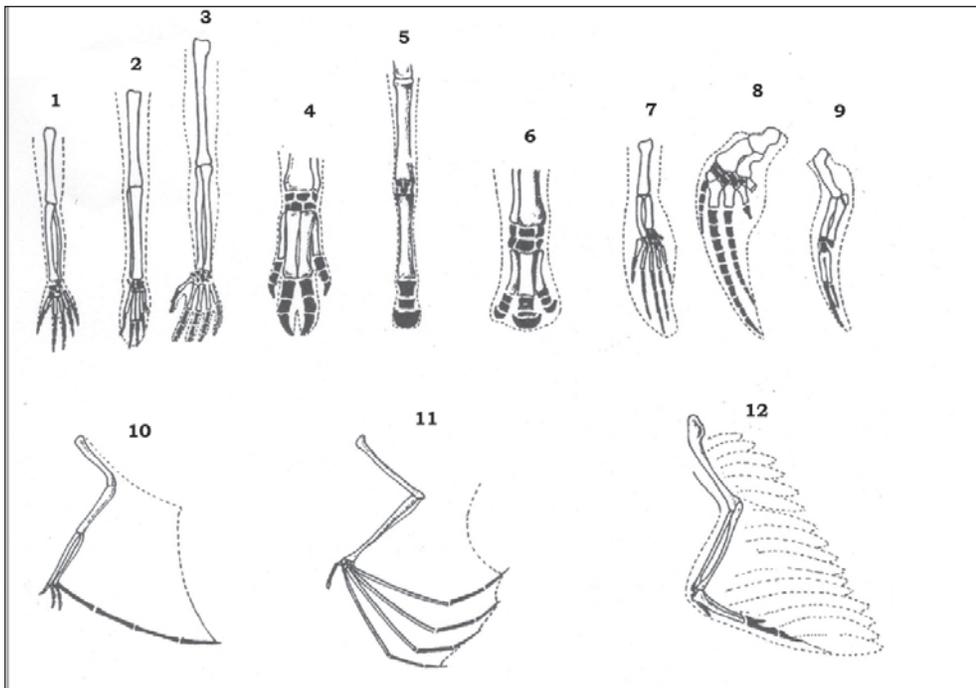
animales hoy existentes.

Se mencionan como órganos vestigiales el apéndice, que en los ruminantes herbívoros es una cavidad digestiva importante, las vértebras del coxis, el tercer molar, el diente canino puntiagudo, los pelos corporales, los músculos que mueven las orejas, etc.

Embriología comparada:

La homología a la que nos referimos anteriormente se pone de manifiesto en el estudio embriológico comparativo.

Analizando la secuencia en el mismo en diversos animales, se puede observar la semejanza entre los embriones de peces, aves, reptiles, mamíferos y entre ellos, el hombre, por lo menos hasta algunos estadios de desarrollo. Posteriormente, comienzan a diferenciarse.



Debe destacarse también la formación de estructuras tales como la notocorda, los arcos aórticos, alantoides, saco vitelino amnios, etc., común a todos estos animales.

4. Paleontología (del gr. Palaios = antiguo):

Es el estudio científico del registro de los fósiles, entendiéndose por tal a células y restos de seres vivos conservados en la arena, tierra o rocas. Son los fósiles que, prácticamente por sí solos, constituyen las pruebas más positivas a favor de la evolución.

A través de ellos el hombre puede reconstituir, en parte, la historia evolutiva o filogenia de los seres vivos a lo largo de los tiempos y fijar los períodos en que éstos vivieron y se desarrollaron, tanto en las plantas cuanto en los animales.

Contribuciones de la Genética y Evolución

Como ya se señaló en el capítulo de Genética, los principios de Mendel fueron redescubiertos a comienzos del siglo XX, teniendo gran trascendencia por los aportes que hicieron a los conocimientos acerca de la evolución; esto permitió cerrar un eslabón que el propio Darwin había soslayado, tal era el por qué los rasgos no se mezclaban entre sí y que a su vez podían aparecer o no en sucesivas generaciones.

El pensar que las características hereditarias no se transmitían a través de una sustancia continua, como la sangre u otra, sino a través de entidades particulares, los genes, posibilitó entender los procesos de segregación

y recombinación de genes, corolario inevitable de la reproducción sexual, que originan una inmensa variedad de individuos.

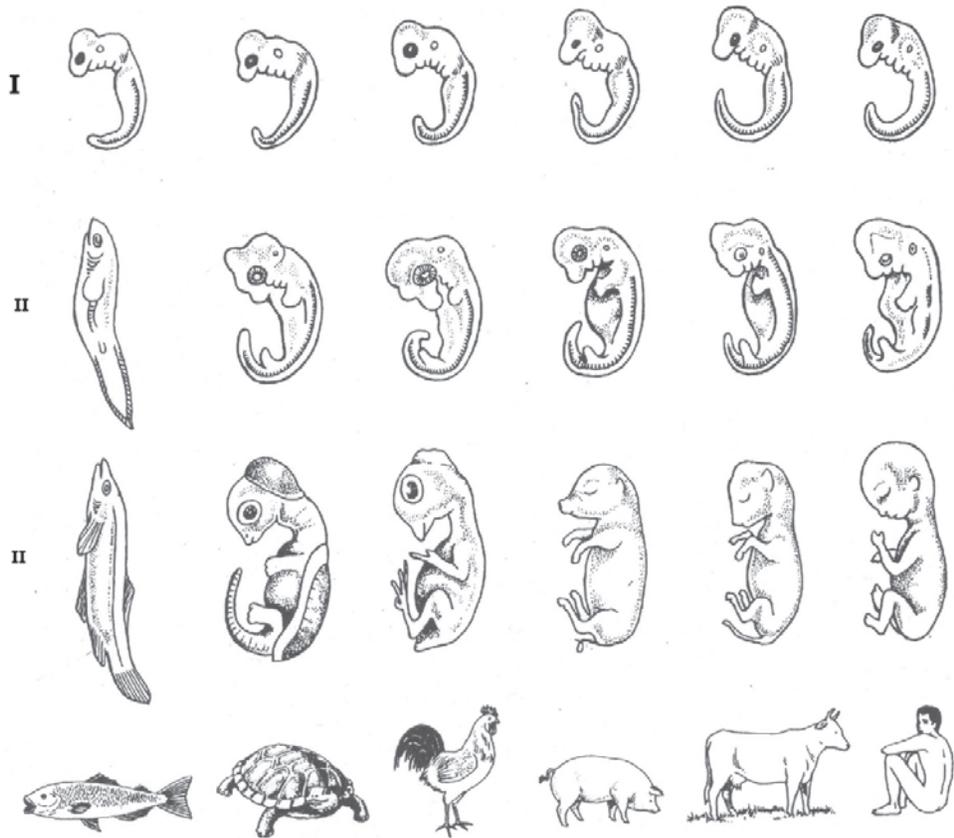
Estas características son confrontadas permanentemente por la selección natural, y las que se muestran adecuadas dentro del contexto ambiental son perpetuadas en sus descendientes y se establecen eventualmente como condiciones normales para esa raza o especie.

Las combinaciones de genes menos adecuadas desaparecen gradualmente debido a la incapacidad de perpetuarse en la misma proporción que las más convenientes.

Por último, y como corolario de este apartado, se hará un breve comentario acerca de algunos aportes realizados por Stephen Gould, eminente paleontólogo de la Universidad de Harvard y destacado

autor de innumerables tratados. En su libro "La falsa medida del Hombre" introduce un concepto que merece ser apuntado: *el cerebro humano escapa a la evolución*. Sostiene que, en la medida en que el cerebro no está programado, nos permite hacer libres elecciones y darle un sentido a la vida fuera del proceso de selección natural, con lo cual el hombre escapa a esa ley para entrar en un nuevo orden, el de la *cultura*.

Admite que la selección natural explica la evolución, pero que resulta inútil para comprender la historia, la cultura y la sociedad. Sostiene que a diferencia de las características naturales, "**la cultura se adquiere, se adapta**



Cuadro comparativo de los esquemas de desarrollo embrionario de diferentes animales

y se transmite”, con lo cual el hombre es capaz de liberarse, como ningún otro ser viviente, de las presiones naturales, imaginando soluciones y comportamientos que puede transmitir a sus descendientes sin afectar con ello su patrimonio genético.

EVOLUCIÓN DEL HOMBRE

A orillas de un estanque de agua dulce, un mono descubrió de pronto que empuñando un hueso podía usarlo como arma y vencer fácilmente a sus enemigos y se dedicó con esmero a romperles la cabeza. Esta escena se hizo famosa con la película **2001, Odi-**

sea del Espacio: era el comienzo de la humanidad.

Sin embargo, la transición del mono al hombre no fue tan sencilla, ¿en qué momento una criatura deja de ser animal y se convierte en ser humano?

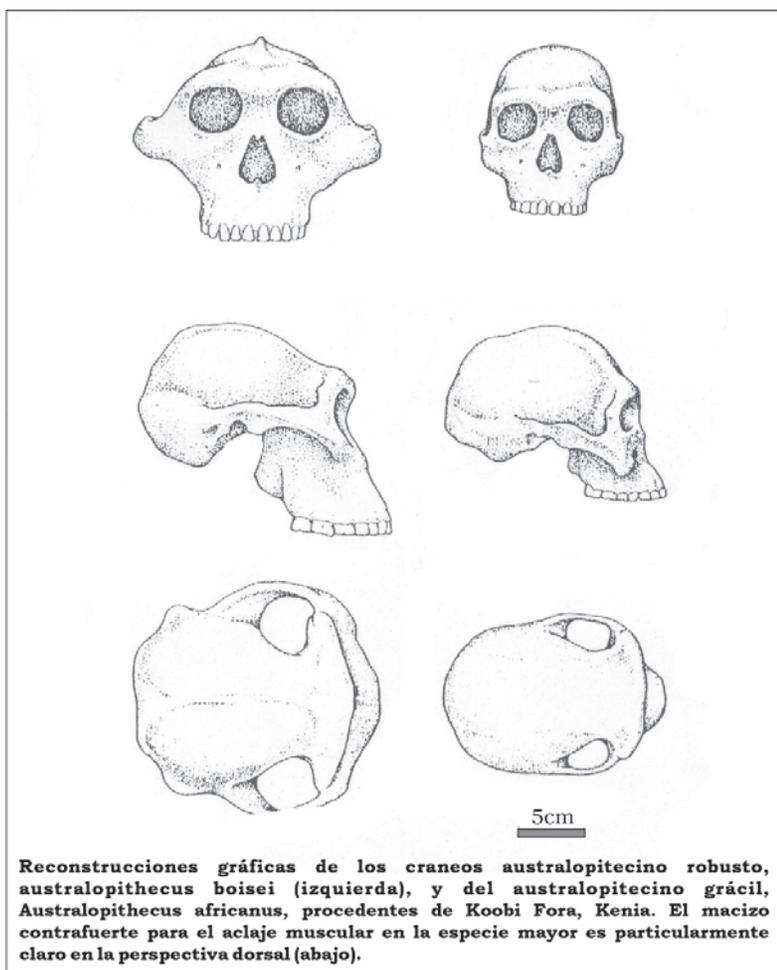
Hace millones de años un primate bajó de los árboles e inauguró la humanidad; los antecesores de los primates fueron arborícolas e insectívoros. A partir del paleoceno, se diferencian los primeros primates los que evolucionaron en varias líneas, una de las cuales, independientemente de las otras, incluye al grupo *hominoideo*.

“PRIMATE: miembro del grupo de los mamíferos que comprende a los antropoides y prosimios, caracterizados por cinco dedos y uñas planas y un pulgar capaz de realizar el movimiento divergente”.

El grupo hominoideo apareció hace aproximadamente 30 millones de años e incluye a los antropomorfos (gibones, orangutanes, chimpancés y gorilas) y a los humanos o línea homínida, la cual abandonó definitivamente los árboles y se adaptó a la vida terrestre.

Hace más de tres millones de años, los bosques tropicales que cu-

brían buena parte del planeta comenzaron a desaparecer y fueron reemplazados por praderas y pastizales secos. Muchas especies se extinguieron, pero otros lograron adaptarse e iniciaron el complejo camino de la *hominización*. Estas criaturas iniciales, bautizadas como *australopitecos* eran bípedas y el volumen de su encéfalo no superaba al de un chimpancé actual. Sin embargo, sus manos libres pronto evolucionaron para la construcción y el uso de herramientas a la par que sus dientes caninos se hicieron más pequeños, ya que parte del trabajo de desgarrar los alimentos lo realizaban las manos. Todo esto contribuyó al desarrollo



Reconstrucción gráfica de los cráneos del australopitecus robusto

del cerebro y ofreció nuevas estrategias de supervivencia, en particular con respecto a la caza y recolección de plantas; las carreras de caza en los ardientes desiertos le hicieron perder peso, el pelo corporal y los llenaron de glándulas sudoríparas.

El esqueleto más viejo de esta especie que se conoce perteneció a una hembra que habitó el África Oriental hace alrededor de 3 a 3,5 millones de años. Los antropólogos que la descubrieron (Donald Johanson y otros) en el desierto de Afar (Etiopía) la llamaron **Lucy**, ya que estaban escuchando una famosa canción de Los Beatles titulada "*Lucy in the sky with diamonds*". Este ejemplar pertenece al grupo de australopitecinos, de los cuales se proponen distintas especies, tales como *Australopithecus Africanus* (Lucy), *Robustus*, *Afarensis*, y otros. Poseían una talla muy pequeña, con alrededor de 1,20 cm y un peso de 22 kg.

El recorrido que llega hasta nosotros incluye una cantidad de años en los cuales se desconocen los sucesos, ya que no se encontraron registros fósiles; pero hace aproximadamente 1,5 millones de años habrían surgido los primeros ejemplares del género *Homo*, del cual el primero de esta cadena fue *homo habilis*, todavía situado en territorio africano. Junto con sus huesos se encontraron instrumentos de piedra y probablemente era capaz de construir refugios para protegerse.

En este período, nuestros antepasados empezaron a migrar

hacia Asia y Europa; este ejemplar fue llamado *Homus erectus*, por su

posición decididamente erguida. Su cráneo siguió creciendo y sus herramientas se hicieron más sofisticadas: ya era capaz de dominar el fuego, cocinar sus alimentos y elaborar complicadas estrategias de caza.

Homus erectus, en plena Edad del Hielo, pudo conquistar los fríos territorios del norte: las construcciones, el fuego y una alimentación basada en carnes (y tal vez hasta el uso de pieles para abrigarse) se lo permitieron.

Y en este punto hay un cambio fundamental en el proceso de hominización: a partir de este período, la evolución cultural comienza a ser más importante que los cambios biológicos.

"CULTURA: en el sentido antropológico, es la suma de lo que los miembros de una comunidad han aprendido a través de generaciones de experiencia social acumulada, e incluye así costumbres, gustos, habilidades, lenguaje, creencias, tabúes y todos aquellos padrones de conducta que forman parte de una sociedad organizada."

El cráneo de *Homus Erectus* habría tenido entre 700 y 1.100 cm³, habiéndose encontrado fósiles en Java, China (hombre de Beijing), Heidelberg (Austria) y Hungría.

Sus características lo definen como netamente cazador: siendo un individuo carnívoro, era capaz de cazar grandes y feroces animales, tales como rinocerontes, antílopes, osos e hipopótamos. Se piensa que los cercaban con fuego y los empujaban a los pantanos y acantilados; usaban lanzas con puntas de piedra o metal.

Vivieron en comunidades usando las cavernas para refugiarse; sabían hacer herramientas, tales como hachas talladas en piedra, las cuales eran talladas en una forma muy definida; esto indica el surgimiento de una *tradición cultural* que transmitían de generación en generación, demostrando la existencia de comunicación entre diferentes grupos humanos, debido a que se encontraron estas armas en zonas muy alejadas unas de otras. Se sostiene entonces que posiblemente ya dominaban formas rudimentarias de lenguaje, lo cual destaca la ventaja para la acción comunitaria de la caza, entre otras.

El dominio del fuego

Es probable que el primer fuego que pudo usarse fue aquél producido por las erupciones volcánicas o bien espontáneos incendios en praderas muy secas, pero hay más registros de que éste comenzó a ser usado por nuestros antepasados hace aproximadamente 500.000 años. Su importancia fue enorme: a la par que permitió usar su calor para mitigar las inclemencias climáticas, posibilitó la cocción de los alimentos, lo que llevó a una mayor facilidad de masticación y mejor digestión, permitiendo asimismo eliminar muchas veces el sabor amargo o la toxicidad de algunos de ellos.

El fuego también habría ayudado a mejorar la vida social, promoviendo el acercamiento en torno del agradable elemento; con ello, nuestros ancestros pudieron ocupar las cavernas y usarlas como moradas.

Hace 200.000 años, unos tipos musculosos, no muy altos, bastante

peludos, sin mentón y con grandes arcos superciliares dominaron la escena mundial: había aparecido el *Hombre de Neanderthal*, que para los antropólogos, ya pertenece a la especie de **Homo Sapiens**. Hace su aparición en el valle de Neander, Alemania de allí su nombre.

Los primeros fósiles se encontraron en Inglaterra y Alemania (en la zona de Dusseldorf) pero también se hallaron sus huellas en zonas del Asia y África. Estos señores se cubrían con pieles, que obtenían de los cueros raspados con piedras filosas, organizaban partidas de caza, almacenaban sus alimentos y enterraban a sus muertos con ofrendas de flores, armas, alimentos y pinturas de ocre en entierros rituales.

Es probable que se comunicaran mediante gestos en combinación con un vocabulario muy reducido.

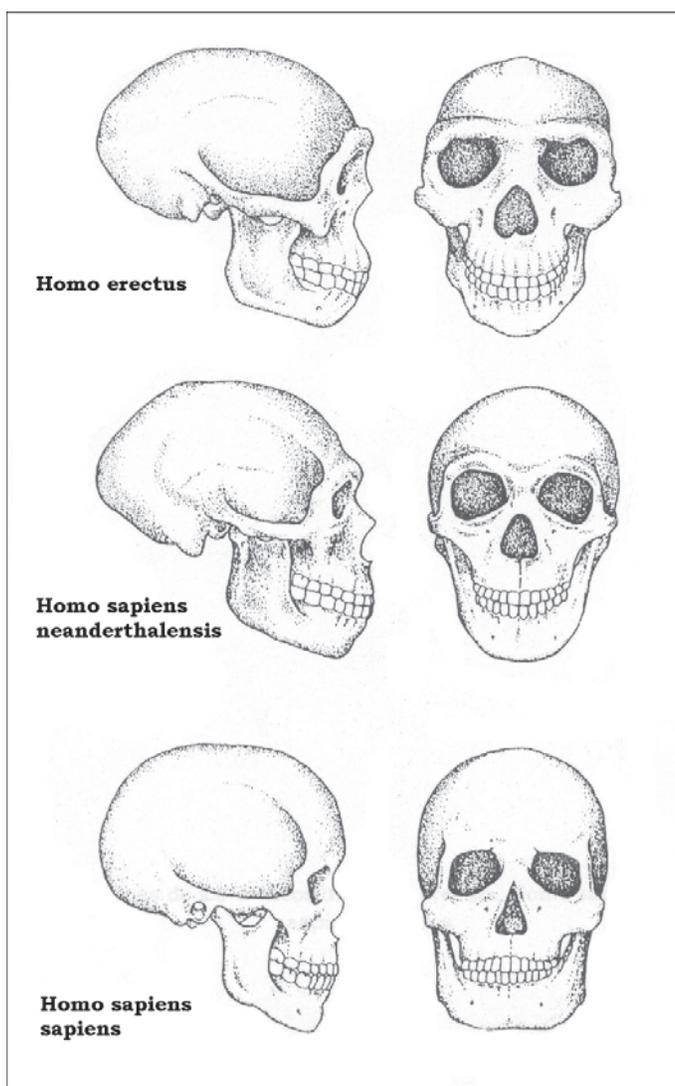
Pero hace aproximadamente 20.000-30.000 años los Neanderthales desaparecen y son reemplazados por especímenes de hombres llamados *Cro-Magnon*, los cuales se expanden por toda Europa, Asia y África. Fueron hallados en Francia y España, donde dejaron sus huellas artísticas en las famosas cavernas de Niaux, Lascaux y Altamira.

¿Qué produjo la desaparición de los neanderthales y su reemplazo por los Cro-Magnones? Se piensa en primer lugar que la competencia por el alimento llevó al enfrentamiento de estos grupos en luchas armadas, pero la mejor técnica armamentística y combativa de estos últimos, borró de la faz de la tierra a los anteriores. También se sospecha que enfermedades infec-

ciosas diezmaron a los neanderthales, posiblemente contagiadas por los cromagnones.

Los hombres del Cro-Magnon contaban con herramientas mejores, hechas con lascas de piedra de mayor tamaño, munidas de punzones, que les servían no sólo para su defensa, sino también para la caza y pesca, ya que fueron encontradas lanzas, espadas, arpones, anzuelos y agujas.

La vida se tornó más fácil para ellos y sus descendientes: hombres altos, bastante parecidos en su conformación con el hombre actual; la humanidad se estableció en poblados, domesticó animales e inició la agricultura. También dejaron sus huellas artísticas, que han sido halladas en cuevas, hoy famosas, como las de Altamira (en España) y Lascaux (en Francia); los dibujos rupestres que representan animales de caza, algunos heridos con



Reconstrucciones gráficas de los cráneos de Homo erectus, Homo sapiens neandertalensis, homo sapiens sapiens

dardos y flechas, generaron no pocas controversias acerca de su significado. Una teoría sostiene que podrían representar una suerte de magia o forma de ejercer el control sobre otro ser vivo a través de acciones simbólicas contra su imagen, tal como sucede con la magia de los muñecos atravesados por agujas que muchos pueblos han usado y siguen usando.

El arte rupestre paleolítico habría finalizado hace unos 8.000 a 10.000 años, y marcó una nueva era en la evolución del hombre: las glaciaciones comenzaron a retirarse y aparecieron entonces las fértiles praderas en Europa y América del Norte, juntamente con animales herbívoros, de tamaño más pequeño que los anteriores, muchos de los cuales no resistieron a los glaciares y sucumbieron. Es indudable que la caza y recolección de animales pequeños -en lugar de los grandes migratorios- condujo al hombre a una existencia menos nómada y fue el inicio de la revolución agrícola, cuyos indicios más antiguos señalan que habría ocurrido hace 11.000 años, en regiones fértiles hoy pertenecientes a Irán, Irak y Turquía, o sea, en el Cercano Oriente. Sin embargo hay registros de actividad agrícola con una antigüedad de 8.000 años en Europa Oriental y en la cuenca del Mediterráneo.

“El acontecimiento más importante en el proceso de la evolución cultural humana fue el inicio de la agricultura, hace más de 10.000 años”.

Y así llegamos al **Homo Sapiens Sapiens**, la especie más moderna y que nos comprende: esqueleto erguido, manos hábiles, visión tridimensional (este-

reoscópica) en largo, ancho y profundidad, en colores, y cerebro complejo son sus principales características. Además, posee una larga niñez que le permite desarrollarse física y mentalmente, lo que le permite entrenarse y aprender mejor; la mujeres pueden aparearse todo el año, en lugar de hacerlo sólo en épocas de celo; se forman uniones de pareja y una familia que representa la unidad básica de la mayoría de las sociedades humanas.

La mano humana presenta un cambio importante respecto de los ancestros: hay oposición del pulgar con todos los otros dedos, permitiendo un mejor desarrollo de la coordinación mano-ojo que facilita movimientos más delicados y perfectos.

Debido a nuevas etapas evolutivas, se inicia una expansión cerebral mayor: la selección natural favoreció a los individuos poseedores de mejores cerebros, los cuales pudieron almacenar mayor información (información cultural) lo que resultó en mayor y mejor inteligencia. Asimismo, como resultante de los cambios, también se desarrollaron otras funciones inherentes al **área lingüística, emocional y del aprendizaje**.

Seguramente la clave esté en el impresionante desarrollo de los lóbulos frontales del cerebro que acompañó a todo el proceso de hominización: con ello aparece la capacidad de simbolizar y de anticipar lo que va a suceder, la toma de conciencia de sí y la idea de la muerte como destino inexorable e inevitable del hombre y de todo lo viviente. Todas las especies, tarde por temprano, se extinguen: sus

poblaciones van disminuyendo hasta desaparecer.

Al hombre lo amenaza, paradójicamente la superpoblación asociada a su consecuencia cruel, el hambre. Todo lo que se pueda hacer para combatir este flagelo hará a la supervivencia humana.

Fósiles Humanos

A lo largo de la bibliografía se han visto y estudiado los aparatos, sistemas, órganos y tejidos de los humanos comparados con los que poseen los animales; sin embargo, así como existen semejanzas, también hay varias diferencias que hacen del hombre algo distinto.

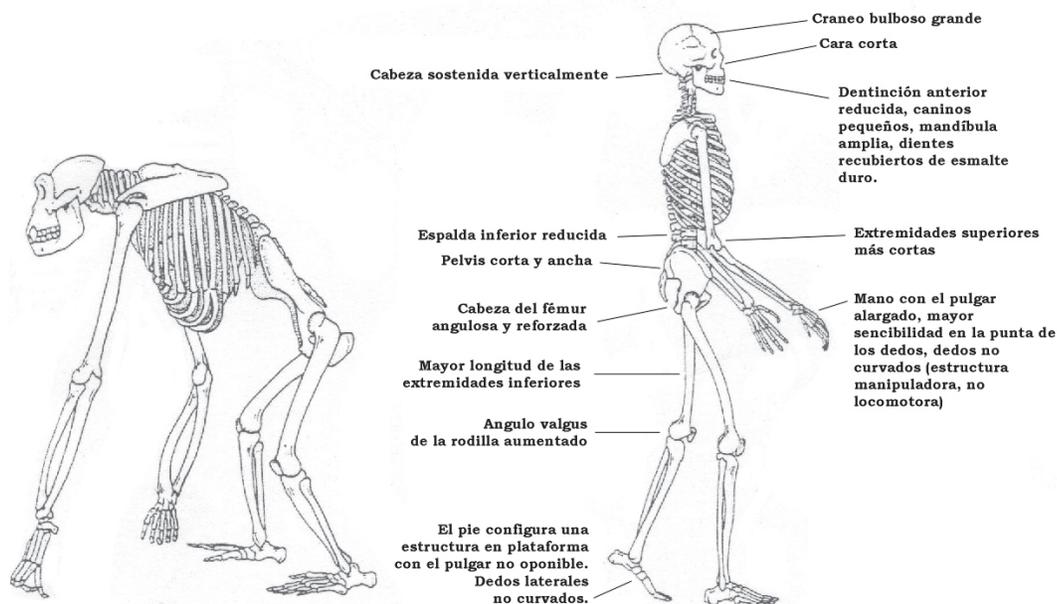
Si tomamos a los grandes simios como animales que nos son próximos,

entre ellos el chimpancé y el gorila, veremos, a través de la anatomía comparada, que las diferencias están básicamente referidas a proporciones diferentes entre las partes del cuerpo.

Algunas características son:

1. - Un encéfalo que mide dos y media a tres veces más que el del gorila.
2. - Nariz con puente prominente y punta alargada.
3. - Labios que pueden volverse hacia afuera, revelando las membranas mucosas.
4. - Un labio superior con un surco en la mitad.
5. - Barbilla prominente.
6. - Dedo gordo del pie no oponible a los otros y alineado con ellos.
7. - Piel relativamente libre de pelo.

Adaptaciones a la locomoción bípeda



Adaptaciones a la locomoción bípeda.

8. - Caninos que se proyectan muy poco y una arcada dentaria en forma de U, en vez de V, como se observa en los simios.

9. - Postura erecta y piernas más largas que los brazos, buena adaptación a la locomoción bípeda.

Entre las principales adquisiciones de los humanos cabe destacar que, al no usar las manos para ayudarse a caminar, sólo las usaron para la manufactura y manipulación de instrumentos y herramientas; así se da lugar a una **adaptación humana distintiva de formas de sujeción de la mano humana**, fácil de observar en el desarrollo evolutivo de un bebé.

Las pruebas de antígeno-anticuerpo para determinar las semejanzas entre las proteínas del suero sanguíneo indican que, de todos los simios y monos, los chimpancés y gorilas tienen el mayor parecido con el ser humano. La secuencia de aminoácidos de la hemoglobina del chimpancé es idéntica a la del ser humano; la del gorila y del mono Rhesus se diferencia de la hemoglobina humana en 2 y 15 aminoácidos respectivamente.

Estas semejanzas han llevado a los evolucionistas, entre ellos Darwin, a proponer que de todos los animales inferiores, los primates, y en especial los simios, son los que están más íntimamente emparentados con los humanos, siendo como unos *primos* del hombre, al decir de Stephen Gould, quien sostiene que un primate simiesco habría sido el ancestro común de todos los miembros de la superfamilia Hominoidea.

EL hombre como producto de la cultura

El desarrollo social y cultural de la humanidad está dividido en varios períodos que, estrictamente hablando, no se refieren a un lapso determinado, sino a etapas evolutivas por las cuales atraviesan, en esta época, ciertos pueblos en distintas regiones del globo.

Estos períodos se pueden agrupar esencialmente en:

1.- Período antiguo de la edad de piedra o Paleolítico. Se inició cuando el primer hombre hizo por primera vez un utensilio, hace aproximadamente 650.000 años y terminó hace 10.000 años.

En este largo período, cuya duración se aprecia mejor si se lo compara con el período histórico, el hombre desarrolló la inventiva y la habilidad manual necesarias para fabricar instrumentos y valerse de ellos. Comenzando por fragmentos burdamente afilados de cuarzo o de roca volcánica, aprendió la fabricación de hojas de pedernal y de la lanza con punta de piedra, que le permitieron defenderse mejor de los animales feroces y obtener la carne necesaria para su alimentación. Hacia la terminación del Paleolítico, el hombre había ya inventado la aguja de ojo, de la que se valió para coser sus vestiduras y había aprendido a labrar el cuerno y el hueso. También había aprendido a hacer uso del fuego para enfrentarse a las inclemencias del frío y cocinar sus alimentos.

Durante el Paleolítico el hombre fue predominantemente cazador. El es-

tudio de pueblos primitivos que viven actualmente en esa fase de desarrollo, tales como los aborígenes de Australia, hace pensar que la sociedad paleolítica consistió en pequeños grupos familiares reunidos en hordas de cazadores y tal vez, también, con el propósito de celebrar reuniones religiosas.

Se piensa que el hombre ha tenido siempre alguna forma de organización familiar y que la familia es la unidad nuclear de la sociedad humana. Sus orígenes son pre humanos y su forma más simple de vínculo alimenticio transitorio entre la cría y la madre se encuentra en los vertebrados superiores. En los primates, en respuesta a la condición indefensa de la cría que perdura por años y al interés sexual no estacionario del macho, las ligas familiares se hacen perdurables. En el ser humano el vínculo se ve reforzado por otros factores, tales como la necesidad de compañía, la división de labores y la responsabilidad de educar a la prole.

2.- Período Mesolítico. Cuando el manto de hielo empezó a retroceder y el clima se hizo más benigno, el hombre salió de las cavernas e inició una nueva existencia a la orilla de los lagos, de los ríos y de los bosques; existencia que ofreció mejores oportunidades de contacto social. En este período de transformación cultural que se inició en Europa hace 10.000 años, el hombre, aunque siguió dependiendo en una buena parte de la caza y de la pesca, construyó chozas temporales de cañas y de corteza de árboles y completó su alimentación con raíces y frutas silvestres. Habiendo descubierto las ventajas de la cooperación, las familias se unieron formando clanes y tribus.

La vida comunal trajo consigo el desarrollo de preceptos sociales, éticos y religiosos, porque en tanto se aunaban las fuerzas para satisfacer necesidades, la regulación de la conducta de los individuos se hizo más imperiosa.

En los grupos de parentesco o clanes, los bienes eran probablemente de la comunidad. Descubrimientos importantes realizados en antropología hacen pensar que hace 10.000 años los hombres eran capaces de trabajar “en equipo” en la fabricación de armas de pedernal y cuero.

En el Mesolítico, el hombre continuó haciendo invenciones útiles, tales como la embarcación, que le permitió cruzar lagos y ríos, el arco y la flecha, en respuesta a la necesidad de atrapar aves para su alimentación; el pico, el hacha, etc. Entre los pueblos actuales que viven la etapa mesolítica de su desarrollo, un buen ejemplo lo constituyen los esquimales caribúes.

3.- Período Neolítico: Es el último período de la prehistoria, que se extiende hasta hace aproximadamente 5.000 años AC, cuando **el hombre hizo el descubrimiento de que la palabra puede representarse y conservarse por medio de símbolos visuales**. En este momento es cuando **termina la prehistoria y se inicia la historia**

El Neolítico se caracteriza por el crecimiento de la agricultura y el pastoreo y con ella la aparición de la aldea. El hombre construyó habitaciones permanentes, domesticó a la vaca y a la oveja y también inventó el telar. La vida comunal se hizo más intensa: la seguridad que ofrece el cultivo de alimentos y el poder disponer a volun-

tad de provisiones y de abrigo, permitieron al hombre utilizar sus energías para algo más que la satisfacción de su necesidad de subsistir. Cuando el hombre dispuso de tiempo, dio también el paso definitivo para alcanzar el plano de las grandes civilizaciones (de 3.500 a 2.500 AC).

La cultura como producto del hombre

En el proceso de satisfacer sus necesidades y en el ejercicio de sus capacidades específicamente humanas, el hombre ha transformado su ambiente natural, sin cambiar ostensiblemente

en su estructura orgánica (**el hombre no ha cambiado biológicamente, por lo menos durante los últimos 250.000 años**). Ha creado modos de organización de sistemas de pensamiento y de acción, cuyo resultado son las sociedades y las culturas. Las culturas son creadas para el logro de fines individuales, biológicos y sociales en la vida común; sus modalidades dependen en parte del ambiente natural y geográfico, pero la gran variedad de culturas, sus instituciones de lujo, sus artefactos sofisticados, hacen aparente la presencia de un factor esencialmente

CLASIFICACIÓN DEL HOMBRE

CATEGORÍA	TAXÓN	CARACTERÍSTICAS
1. REINO	Animalia	Organismos multicelulares.
2. FILO	Chordata	Con columna vertebral.
3. CLASE	Mamífero	La prole se nutre de las mamas.
4. ORDEN	Primate	Organismo arborícola (o sus descendientes) con dedos opositores y uñas planas.
5. FAMILIA	Homínidos	Cara plana - visión de los colores, locomoción bípeda y erguida.
6. GÉNERO	Homo	Encéfalo grande - lenguaje -niñez prolongada.
7. ESPECIE	Homo	Habilis (1) 2 mill. años Erectus (2) 1,5 mill. años Sapiens (3) 200.000 ac. Sap-sapiens (4) 20.000 ac. Moderno (5) 5.000 ac.

creativo, imprevisible y seleccionador; en otras palabras, hablan de la capacidad para la invención y comunicación culturales, características exclusivas de la raza humana.

El hombre no es sólo producto, sino también agente de los procesos socio culturales. Es él, como miembro concreto de una sociedad y como portador de una cultura, el único capaz de causalidad eficiente y poder dinámico.

Fuerzas culturales, ideológicas y socioeconómicas pueden estudiarse como condiciones objetivas, pero no debe olvidarse que son efectivas, en tanto sean actualizadas por los individuos en el ejercicio de las tareas que otros individuos les señalan.

Destacamos entonces que la capacidad original de aprender y enseñar es la responsable de la evolución cultural del hombre y gracias a que el hombre es capaz de seguir aprendiendo, la evolución cultural continúa.

¿Y hacia dónde vamos? La humanidad ya tomó en sus manos su destino como especie: la evolución cultural ha amortiguado la presión de la naturaleza que antes desechaba a los más débiles. Las herramientas, la ropa, las computadoras, la medicina y todos los avances tecnológicos han cambiado las reglas del juego: ya no es una ventaja decisiva el haber heredado ciertos genes que determinen físico poderoso, agudeza visual o resistencia a las enfermedades. El hombre ha podido, gracias a su intelecto, borrar en cierta medida las fuerzas del puro azar y tomar el futuro en sus propias manos, convirtiéndose así en artífice de

su propio destino.

Desarrollo histórico del pensamiento sobre la evolución

La enorme diversidad de los organismos vivientes conduce al planteamiento de muchas preguntas. ¿Por qué son tan diferentes los organismos? ¿Cómo adquirieron las características que poseen cada uno de ellos? ¿Si cada organismo está adaptado a su ambiente, ¿qué sucede si cambian las condiciones del ambiente o cambia de medio? ¿Pueden los organismos cambiar simultáneamente con su ambiente? ¿Cómo pueden vivir en un mismo hábitat muchas plantas y animales diferentes?

Otras tantas preguntas se suceden acerca de si los organismos han existido desde siempre, si el ambiente fue siempre como lo es actualmente y si dentro de millones de años seguirán existiendo estas formas de vida, tal cual lo son ahora.

Como resultado de las investigaciones realizadas, de las pruebas evidentes, del estudio de los fósiles, los biólogos han concluido que los organismos han cambiado con el tiempo; estos cambios que han ido ocurriendo en los mismos se llama *evolución* y es prueba de que los seres vivos se van transformando a lo largo de los tiempos.

Evolución: Algunas Explicaciones

Muchos científicos creyeron en la evolución, pero muy pocos dieron una explicación de *cómo* ésta se verificaba.

En 1809, un naturalista francés, estudiante de Buffon, llamado **Jean Baptiste de Lamarck**, publicó un libro titulado "*Filosofía Zoológica*". A las ideas sobre la evolución presentadas en este libro se las conoció como **transformismo**.

Lamarck había estudiado la evolución y estaba seguro de su existencia e importancia. Graficó a la misma como una *escalera* de la vida, desde los animales más simples hasta los más complejos (como los humanos) a los cuales situó en el escalón más alto de la misma. Lamarck no consiguió explicar fehacientemente el origen de la escalera, pero logró elaborar una explicación para el origen de las adaptaciones.

El pensamiento de Lamarck giró alrededor de dos suposiciones. La primera de ellas fue la **ley del uso y de la falta de uso (desuso)**. De acuerdo con la misma, un organismo puede cambiar ciertas características corporales durante el período de su vida; él pensó que por el uso de su cuerpo, un ser vivo puede cambiar la parte que mejor se ajuste al ambiente, a través del uso continuado e incrementado de esa parte.

Por otro lado, debido a la falta de uso, eventualmente puede atrofiarse o hasta incluso desaparecer partes de su cuerpo: en cada caso, al cambió él lo denominó "*característica adquirida*".

La segunda idea de Lamarck se denominó la **herencia de las características adquiridas**. A través de este postulado, pensó que las características que el viviente hubiese adquirido a lo largo de su vida pasaban (o se hereda-

ban), sucediendo esto de generación en generación, así los individuos podrían capacitarse mejor para sobrevivir.

Para ilustrar esta hipótesis de Lamarck se recurre con frecuencia al clásico ejemplo del cuello de la jirafa. Él pensó que el cuello largo de la misma evolucionó a partir del cuello corto de sus ancestros, los cuales, debido a esta característica pudieron pastar por las praderas pero cuando las hierbas comenzaron a desaparecer (por cambios climáticos o por agotamiento debido a la competencia), no pudieron acceder a las hojas de los árboles, único sustento que quedaba. De acuerdo a su teoría, estos ejemplares de cuello corto debieron estirarlos para alcanzar las hojas superiores.

Cuando estos individuos se reprodujeron, los resultados de haber estado estirando su cuello fueron que una nueva característica había aparecido, el *cuello estirado* o más largo, siendo que, en virtud del segundo postulado, esta característica era transmitida a los descendientes, los que nacieron con cuellos ligeramente más largos que sus padres; por tanto evolucionaron así las jirafas de cuello largo.

Las hipótesis de Lamarck fueron criticadas en varios de sus puntos; la ley del uso y falta de uso es en sí una idea pobre, que hace referencia a que un individuo debería realizar un esfuerzo determinado para cambiar parte de su cuerpo para adaptarse a las necesidades que le impone el ambiente. ¿Cómo puede aceptarse esta idea referida a las plantas y animales? Implicaría que cada organismo debería "**sentir**" sus necesidades y por lo tanto,

tratar de cambiarse a sí mismo.

Respecto a la herencia de las características adquiridas, sugiere que estos cambios, que ocurren en las células somáticas, podrían pasar a la descendencia.

Se sabe que la información genética puede pasar de generación a generación a través de los **gametos**, por lo tanto, debido a que esta información no puede fluir desde las células somáticas a los gametos, ninguna característica adquirida puede pasar a la descendencia. Asimismo se conoce que una *mutación* de las células del cuerpo no altera a las células sexuales.

La información genética “fluye” del cigoto a las células somáticas, pero no de éstas al cigoto; los cambios producidos en las células del cuerpo, debido a mutaciones o al aprendizaje, no pueden pasar a los descendientes.

Otra crítica a la teoría expuesta por Lamarck es que nunca hubo un experimento que apoyara tal versión; para que una hipótesis sea aceptada como cierta, debe ser confirmada a través de la experimentación, lo cual nunca ocurrió.

Sin embargo, rescatamos el intento de este gran científico en su esfuerzo por explicar los cambios evolutivos, aunque las conclusiones por él elaboradas fueron incorrectas.

Darwin. Recolección de la evidencia

Charles Darwin, en el año 1831, sin haber cumplido 23 años todavía, zarpa de Inglaterra a bordo del barco topográfico H.M.S.BEAGLE en un viaje

histórico para él y para la ciencia.

El joven Darwin, hijo y nieto de médicos famosos, ya había desistido de estudiar medicina -se dice que se había escapado de un quirófano donde se estaba operando a un niño sin anestesia- siendo un estudiante mediocre.

Sin embargo, era un ardiente cazador y jinete y coleccionaba escarabajos, moluscos y conchas, además de ser botánico y geólogo aficionado.

Cuando el capitán del Beagle ofreció llevar a cualquier joven que quisiera viajar sin paga como naturalista, Darwin aprovechó encantado la oportunidad de escapar de Cambridge; este viaje, que duró cinco años, trazó el curso de su futura labor y allí se convirtió en naturalista.

Cuando se inició el viaje, Darwin tenía muy poco conocimiento acerca de la evolución, pero durante la travesía leyó un libro de Charles Lyell, que afirmaba que la tierra era muy antigua y que había atravesado por grandes cambios durante su historia. Este libro era el primer volumen de “*Principles of Geology*” que influyó notablemente en su pensamiento.

Según Lyell, el efecto lento, incessante y acumulativo de las fuerzas naturales había producido un cambio continuo en el curso de la historia de la tierra.

Éste era entonces el clima intelectual que prevalecía cuando Darwin se hizo a la mar: a medida que el viaje avanzaba, tenía mejores oportunidades para explorar las costas de América del

Sur y recoger especímenes de muchas formas nuevas de plantas y animales.

En este largo y lento viaje, recorriendo de arriba abajo las costas, lo impresionaron profundamente las variedades siempre cambiantes de organismos; las aves y otros animales de la costa occidental, por ejemplo, eran por completo distintos de los de la costa oriental.

Más interesantes aún fueron los animales y plantas encontrados por Darwin en las **Galápagos**, conjunto de islas que se encuentran a unos 950 km de Ecuador, y que deben su nombre a sus habitantes más notables, las tortugas gigantes (galápagos en español), algunas de las cuales llegan a pesar 100 kg o más.

Allí estudió estas formas de vida así como también las iguanas marinas que no se encuentran en ninguna otra parte del mundo; a pesar de su calidad de únicos, Darwin vio que estos animales eran similares a las formas más comunes, con lo cual se convenció de que los animales de las Galápagos se relacionaban con las tortugas e iguanas comunes.

Para el final del viaje, Darwin creía que la evolución era cierta o sea que una forma de vida pudo haber evolucionado a otra.

La explicación de Darwin: la selección natural

Durante los siguientes veinte años, dos clases de evidencias parecieron explicar algunas de las cosas vistas por Darwin en su viaje. La primera fue un ensayo acerca del crecimiento

de la población humana por Thomas Malthus. Este autor aseguró que la población estaba creciendo más rápidamente que la dotación de alimentos para darles de comer. Esto inició el pensamiento de Darwin acerca de todas las formas de vida. Comprendió que en la naturaleza hay una sobreproducción de organismos en la que muchos de los descendientes no sobreviven.

Por tanto, dedujo que *entre los organismos debe haber una lucha por la existencia*. Darwin imaginó muchos tipos de lucha, tales como la competencia por el alimento, el escape de los predadores y la capacidad para encontrar abrigo y que solamente una parte de todos los organismos que nacen pueden sobrevivir.

La segunda línea de evidencia es la cría selectiva; Darwin conocía que los criadores podían “*crear*” las plantas y animales deseados, seleccionando a los padres que ya poseían dichas características. Conocía que en cualquier población, los organismos tienen variaciones que pueden ser heredadas. Características tales como color, tamaño, número de semillas o cantidad de leche producida por las vacas pueden variar de individuo a individuo, pero estas variaciones pueden heredarse.

Los criadores de animales seleccionaban a los progenitores y obtenían gran cantidad de descendientes con las mismas características, en tanto que los organismos con menos características que las deseadas no se utilizaban como padres, en un procedimiento que podría llamarse de “*selección artificial*”.

Darwin se preguntó si habría

alguna fuerza en la naturaleza similar a esta selección artificial empleada por los criadores de animales y así las piezas del rompecabezas comenzaron a ajustar en su lugar.

Entre los diversos organismos existen variaciones; aquellos con variaciones que les ayudan a adaptarse al ambiente tienen una mejor oportunidad para sobrevivir y, por tanto, estos dejan más descendientes.

Es frecuente que los descendientes presenten las mismas variaciones que sus progenitores y que también estén mejor dotados para sobrevivir, en tanto que aquellos organismos con rasgos que no sean los adecuados para el medio ambiente dejan menos descendientes o no logran sobrevivir: *ellos pierden en la lucha por la existencia.*

Darwin llamó a esto **supervivencia del mejor adaptado**, que en realidad es un tipo de **selección natural**.

Los organismos mejor adaptados (los más aptos) sobreviven y se reproducen, en tanto que los menos adaptados no se pueden reproducir y también pueden morir más pronto.

De acuerdo con las teorías de Darwin, **la evolución es una interacción de los organismos con el medio ambiente**, donde la selección opera en función de las variaciones que los organismos heredan: aquéllos que presenten variaciones convenientes para su medio ambiente podrán sobrevivir y generarán descendientes mejor dotados, en tanto que aquellos individuos que no reunieran estas condiciones serían eliminados.

Darwin y Lamarck: comparando sus teorías

¿Cómo hubiera explicado Darwin el largo cuello de la jirafa?

De acuerdo con él, la población de ancestros de la jirafa pudo haber incluido animales con diferentes longitudes de cuello, en tanto el pasto fue suficiente, la longitud del cuello no tuvo importancia, pero cuando comenzaron a escasear las pasturas, los animales de cuello largo pudieron alcanzar las hojas de las ramas altas de los árboles y así tuvieron oportunidad de sobrevivir y reproducirse.

Los animales con cuellos no tan largos fueron incapaces de sobrevivir debido a la imposibilidad de alcanzar las hojas de los árboles; muchos no sobrevivieron y los que quedaron dejaron menos crías, lo que a lo largo de los años eliminó a los animales de cuello corto: *toda la población de jirafas tuvo cuello largo.*

Una importante diferencia entre las ideas de Lamarck y Darwin es la concerniente a *cuándo* aparece una variación; Lamarck pensaba que los organismos mejoraban o perdían estructuras *después* que ha cambiado el medio ambiente, o sea *un cambio en el ambiente causa un cambio en el organismo.*

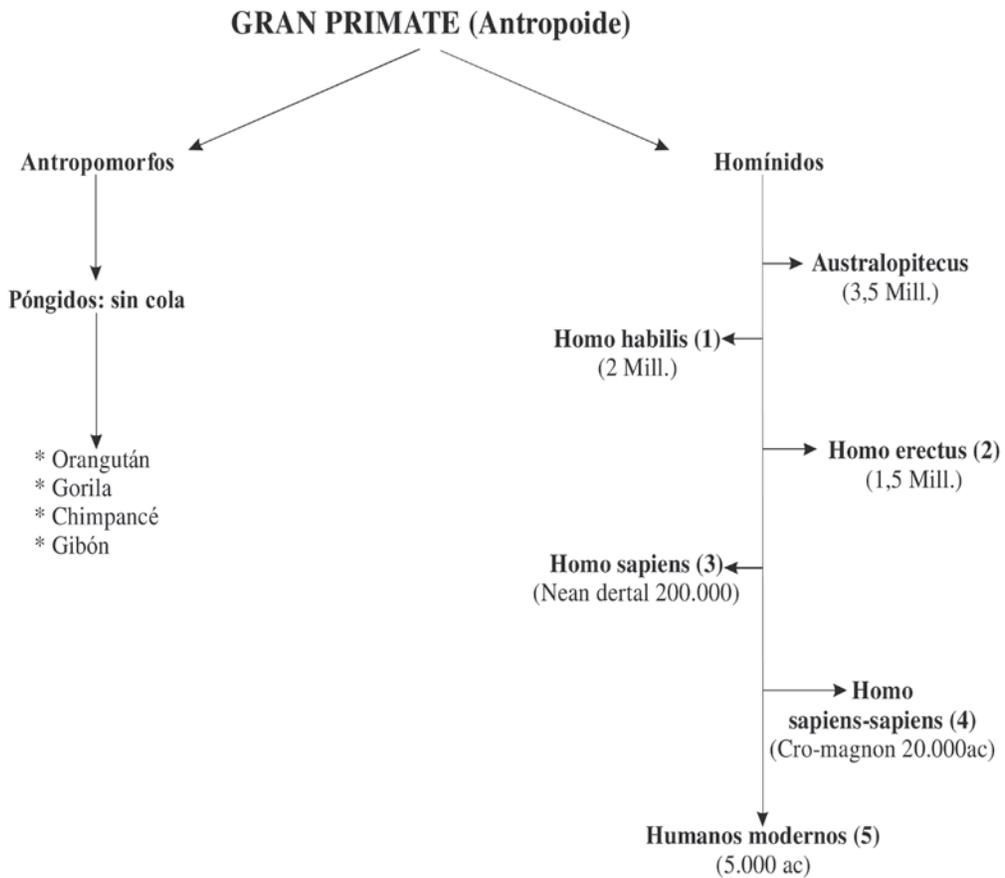
Darwin en cambio observó que en las poblaciones ya están presentes una variedad de características *antes* que cambie el medio ambiente, de tal modo que al llevarse a cabo una modificación en el mismo, algunos organismos consiguen sobrevivir porque ya están preparados.

Lamarck contempló la evolución en términos de *individuos*, en tanto que Darwin la abordó en función de las *poblaciones*.

nes fueron el resultado de la **mutación y de la recombinación genética**; esto lo acredita el conocimiento moderno de la genética, lo que vigoriza la teoría de la evolución por la selección natural.

Tampoco supo que las variacio-

ARBOL GENEALÓGICO DE LA FAMILIA DE LOS HOMÍNIDOS



CAPÍTULO 12

- **Ecología.**
- **Ecosistemas: Estructura, Funcionamiento, Regulación y Evolución.**
- **Ecosistemas ajustables.**
- **Ecodiversidad.**
- **Ecología Humana.**
- **Nicho Ecológico Flexible.**
- **Límites de la Adaptación Biológica y Cultural.**
- **Hacia Conductas Humanas Sostenibles.**

Autor: Biol. Raúl Montenegro

Ecología y Conductas Humanas

Las crisis ambientales se desarrollan y combinan en todas las regiones y países de la Tierra con características propias. Algunas crisis son violentas, como la explosión del reactor 4 en Chernobyl (1986) o los incendios de Galápagos en el año (1994). Otras son insidiosas, como la rápida contaminación de los ecosistemas con plaguicidas, residuos industriales y basura. Todas tienen sin embargo un factor en común: surgen porque nuestras actividades no se adaptan a las reglas básicas de la supervivencia terrestre.

Para vivir y poder seguir viviendo como especie humana es indispensable que nuestras conductas y productos sean social y ecológicamente digeribles, tanto en calidad como en cantidad, y que paguemos puntualmente nuestras cuotas sociales y ecológicas. Cuando no lo hacemos sobrevienen a plazo variable esas crisis.

La digeribilidad de nuestras conductas y productos ha sido violentamente alterada con las revoluciones industriales y el consumismo. Utilizamos los suelos olvidando que fueron el producto de los bosques que tenían encima y que nosotros talamos, o descargamos dióxido de carbono a una tasa muy superior a la que pueden fijar los ecosistemas acrecentando así, peligrosamente, el efecto invernadero.

Este proceso adquiere características especiales en los ecosistemas urbanos. Las ciudades suelen degradar los ambientes circundantes, incluidos otros asentamientos humanos, cuando les extraen materiales para construcción, energía, fibras y alimentos (impacto por extracción); sobrecargan y hacen

entrar en cortocircuito los ecosistemas circundantes con sus residuos (impacto por adición) y alteran la calidad de vida intraurbana con patologías ambientales y sociales (impactos hacia adentro). ¿Cómo cambiar esta estrategia?

Por un lado, replanteando nuestros estilos de vida, marcados hoy por el consumismo feroz, la violencia, la injusticia, el egoísmo generacional y el corto plazo; por otro lado, reconstruyendo nuestros códigos de comportamiento entre seres humanos, y entre nosotros y la naturaleza (desarrollo sostenible). El punto de comienzo puede ser la persona, la familia o el barrio, luego la ciudad y el mismo país. Aunque existen distintas instancias, jurisdicciones, mecanismos y responsables, el verdadero desafío está en la participación. Esto es, en el diseño de mecanismos que permitan reconstruir esos estilos de vida y códigos con la opinión de todos los sectores.

Historia de los Problemas Ambientales

1.1. Evolución de los problemas ambientales. Períodos.

Formular una definición de problema ambiental es difícil. Cualquier actividad viviente produce impactos. Las termitas construyen gigantescos nidos de tierra dura, los herbívoros consumen pastizales, y todos los mamíferos, por ejemplo, descargan excrementos, orina y dióxido de carbono. Si ese impacto es digerible por el ecosistema no lo clasificamos como un problema. Pero si la magnitud del impacto desborda la capacidad natural de neutralización, o si el impacto introduce situaciones y elementos ne-

gativos absolutamente nuevos, como el plutonio 239 o las latas de aluminio, entonces lo caratulamos como problema ambiental.

Durante la evolución de la Tierra ocurrieron numerosos problemas ambientales cuyas consecuencias todavía se detectan. Los yacimientos de petróleo, por ejemplo, son grandes basurales líquidos que se originaron hace millones de años durante graves disturbios ecosistémicos y geológicos. Muchas especies que por mutación o deriva genética iniciaron experimentos biológicos novedosos, escapando de los mecanismos entonces vigentes de control, desencadenaron consecuencias negativas para el ambiente y para su propia supervivencia. Esto ocurrió quizás con especies de saurios prehistóricos. En otros casos los problemas ambientales fueron el resultado directo de erupciones volcánicas, caída de meteoritos o choque con fragmentos de cometas.

Durante los últimos 100.000 años de historia distinguimos tres períodos principales de problemática ambiental por causas humanas cuya secuencia se ha repetido en diferentes regiones de la Tierra pero con fechas y duraciones variables (2).

(a) Período preagrícola. Extendido hasta hace unos 10.000 años, tiene un historial poco conocido de impactos previos a la adopción de las técnicas agroproductivas. Numerosas culturas preagrícolas casi no dejaron rastros ambientales de sus actividades.

Esto demuestra que eran mayoritariamente digeribles para los

ecosistemas que ocupaban. Pero como lo expresó muy claramente Deleage “ninguna civilización fue ecológicamente inocente” (3).

Período agrícola preindustrial.

Comparativamente al anterior es un período corto. Iniciado hace 8.000-10.000 años se extendió hasta mediados del siglo XVIII -en Gran Bretaña- o hasta más tarde en otros países. Esta etapa comenzó con las primeras revoluciones agrícolas y urbanas, cuyas actividades acrecentaron los impactos ambientales de nivel local y regional. Los excedentes productivos permitieron la hiperconcentración de personas y actividades (ciudades), un mayor crecimiento de la población humana y la subsecuente expansión de fronteras agropecuarias. Actualmente zonas remotas y aisladas de la Tierra todavía mantienen estas culturas agrícolas preindustriales (2).

Período industrial. Este breve y denso período enmarcado por tres revoluciones industriales se extiende hasta el día de hoy.

En Gran Bretaña por ejemplo comenzó en el siglo XVIII, mientras que en Argentina recién se instaló hacia el siglo XIX. Coincide con la segunda revolución urbana y la aparición, por primera vez en tiempos humanos, de impactos ambientales de escala global. Su primera revolución industrial, así denominada por Toynbee, generalizó la mecanización y la producción en masa. Su segunda revolución, disparada por la asociación entre combustibles fósiles y motores de combustión interna, inició la megadescarga de dióxido de carbono que un siglo más tarde provocaría sobrecalentamiento y cambios climáticos. Su tercera revolución, que

ligó el producto de las dos anteriores con el “boom” informático, aceleró y magnificó los problemas ambientales, e introdujo riesgos absolutamente novedosos. Entre ellos la amenaza de guerra nuclear y química a gran escala, la “fabricación” de nuevos elementos como el plutonio 239 y la acumulación de residuos tóxicos transgeneracionales (2).

1.2. *Genocidios humanos y ambientales*

El período agrícola preindustrial no sólo estuvo marcado por la creciente destrucción de ecosistemas. Las guerras de conquista y las invasiones hicieron desaparecer grupos humanos completos que en muchos casos habían desarrollado algún tipo de ajuste con su ambiente. Avances, retrocesos y extinciones étnicas marcan desde su comienzo la evolución humana. Retrospectivamente la eliminación de grupos indígenas adaptados, o el paulatino reemplazo de sus culturas por otras de mayor impacto ambiental, provocó en casi todas las regiones del planeta pérdida irreparable de buenos modelos de convivencia hombre-ambiente. Este capítulo es uno de los más controvertidos de la ecología humana.

Las sucesivas oleadas conquistadoras que generaron y sufrieron casi todas las regiones de la Tierra no sólo exterminaron poblaciones indígenas locales. También introdujeron procedimientos e instrumentos muchas veces nocivos para los ecosistemas ocupados.

En América la mayor parte de los genocidios fueron conducidos por europeos y sus descendientes. En la

Argentina del siglo XIX, por ejemplo, las matanzas y enfermedades ya habían extinguido cinco importantes grupos indígenas: Tonocotés, Lule-Vilelas, Comechingones, Sanavirones y Chaná-Timbúes. Otros siete estaban en acelerado proceso de extinción: Yámanas, Onas, Pehuenches, Huarpes, Diaguitas, Omaguscas y Atacamas. Finalmente, cinco grupos sufrían confinamiento y procesos de “incorporación”: Araucanos, Guayku rúes, Mataco-Mataguanos, Tehuelches y Collas (15).

Sería ingenuo sin embargo excluir a los propios grupos indígenas y sus rivalidades de este proceso de interconquista y sometimiento. Los Chiriguano ocuparon Bolivia en el año 1400 y penetraron en la Argentina hacia el siglo XVI por ejemplo. Hacia los años 400 y 900 DC los Lule-Vilelas invadieron territorios Diaguita, y a partir de 1480 comenzó la penetración bélica del imperio incaico en el noroeste argentino (15). Al igual que en la conquista española estos movimientos, de menor envergadura, también produjeron pérdidas y ganancias en las relaciones hombre-ambiente. Su menor impacto se debió a que las culturas no habían desarrollado todavía tecnologías complicadas ni tenían acceso a grandes fuentes de energía.

Contemporáneamente los movimientos de invasión y poder continúan en la ex-Yugoeslavia en Europa y en varios países africanos, como por ejemplo Ruanda, donde las parcialidades Hutu (84% de la población) y Tutsi (15%) continúan destruyéndose cíclicamente. Ambas ocuparon en sucesivas oleadas migratorias lo que fuera territorio pigmeo (1% de la población ruandesa actual). Según Eros Borile y otros sacerdotes italianos, entre abril

y mayo de 1994, los enfrentamientos entre Hutus y Tutsis produjeron la muerte de 1.5 millones de hombres, mujeres y niños (16).

El precio de estos reemplazos violentos fue y sigue siendo muy caro en términos tanto sociales como ambientales. Las nuevas poblaciones, ya sea en América, África u Oceanía debieron y deben aún reconstruir su relación con los ecosistemas ocupados. Este proceso no siempre es exitoso. El bosque chaqueño de Argentina, que convivió con los Guaykurúes, Mataco-Mataguayos, Chiriguano, Chané y Lule-Vilelas hasta el siglo XVIII, no soportó en cambio la agresiva cultura neo-europea. La mayor parte de los bosques de maderas duras fueron arrasados en los siglos XIX y XX por empresas extranjeras primero (como The Forestal Argentine) y por deficientes proyectos locales de desarrollo después. En 1994 FUNAM denunció que la empresa Australian Argentine Agricultura S.A., presuntamente Argentina pero con mandatarios ingleses, pretendía desmantelar 50.000 hectáreas de bosque de quebracho en Santiago del Estero para producir parquet y carbón, cultivar eucaliptos en su lugar y criar ganado (17).

Lo paradójico en esta lucha de estrategias es que los invasores menos adaptados pero bélicamente más eficientes, como los europeos, exterminaron poblaciones indígenas con siglos de buena convivencia hombre-ambiente. La diferencia entre estas estrategias fue claramente expuesta por el cacique Seattle de la tribu Suwamish. Su grupo vivía sobre tierras que hoy corresponden al estado de Washington.

El entonces presidente de los Estados Unidos, Franklin Pierce, interesado en las tierras Suwamish, le había comunicado al jefe Seattle su oferta de compra. Éste le respondió en 1855 con una carta de palabras enraizadas y claras. Al comienzo expresa: “Cómo podéis comprar o vender el cielo, el calor de la tierra?”

Esta idea nos parece extraña. No somos dueños del aire ni del centelleo del agua. ¿Cómo podríais comprar los a nosotros? Lo decimos oportunamente. Habéis de saber que cada partícula de esta tierra es sagrada para mi pueblo. Cada hoja resplandeciente, cada playa arenosa, cada neblina en el oscuro bosque, cada claro y cada insecto con su zumbido son sagrados en la memoria y la experiencia de mi pueblo. La savia que circula en los árboles porta las memorias del hombre de piel roja”.

Luego el alegato indígena defiende las flores, el venado, el águila, el caballo, los ríos y la tradición Suwamish. Con palabras simples Seattle recuerda que todo pueblo, para vivir, necesita de vida a su alrededor. También advierte sobre el destino sombrío de aquellas naciones que, parafraseándolo, no pagan sus cuotas ecológicas. “Esto lo sabemos, continúa Seattle: la tierra no pertenece al hombre, sino que el hombre pertenece a la tierra. El hombre no ha tejido la red de la vida; es sólo una hebra de ella. Todo lo que haga a la red se lo hará a sí mismo. Lo que ocurre a la tierra ocurrirá a los hijos de la tierra. Lo sabemos. Todas las cosas están relacionadas como la sangre une a una familia” (19). Esta carta, difundida originalmente por la Organización de Estados Americanos (OEA), se popularizó en todo el mundo

y contribuyó a explicar el estilo de vida de las poblaciones más adaptadas y la incongruencia de las invasoras.

Las palabras del cacique Malopara son el equivalente argentino de la carta escrita por el jefe Seattle. Menos conocidas, fueron difundidas por Molina y Montenegro en 1985 (18). En 1649 el sacerdote Diego de Rosales había cruzado la cordillera de los Andes con la misión de “pacificar tribus”. Llegó a la estepa patagónica desde Chile por encargo del entonces gobernador Antonio de Acuña y Cabrera. Rosales reunió a los caciques en un parlamento general. Cumplida su misión, redactó un detallado informe en el cual dejó especial constancia del discurso pronunciado por el cacique Malopara ante sus pares: “Desdicha nuestra ha sido el haber nacido Puelche, por ser una gente que vive vida común con las bestias y tiene semejanza con las fieras; aquí hemos nacido y aquí nos hemos criado; y como no sabemos de otro mundo este nos parece el mejor y en él estamos bien hallados. Vivimos vida común con las bestias por no haber conocido a Dios, ni haber tenido quien nos dé noticias de Él hasta ahora, y porque no aspiramos más que a vivir (...). Y no tenemos otro modo de sustentar la vida que las bestias, porque nuestras tierras (...) por ser tan cálidas, que el sol con fuertes rayos las abrasa, no dan fruto ninguno de los árboles ni producen semillas que avarientas se las guarda o estériles la consume”. Después de exponer la dramática situación en que vive su pueblo el cacique Malopara dijo: “No hemos apetecido reinos, tierras, ni señorío, ni hacienda, oro, plata, galas ni arreos; que la vida humana se contenta con poco cuando no está mal contenta ni

ambiciosa. Y así nunca hemos hecho la guerra, ni pretendido ampliar nuestro río, ni aumentar nuestras haciendas. Las que tenemos las llevamos con nosotros siempre, nuestra habitación es el campo, nuestras viviendas unas casas de pellejo o unas cuevas” (18) (19).

Suwamish y Puelche ya desaparecieron como grupos, pero la sociedad argentina, en promedio, despliega esfuerzos mínimos para asegurar la supervivencia de los otros grupos remanentes. Un modelo que con matices se repite en numerosos países de la Tierra.

2. Naturaleza de la Crisis Ambiental

2.1. Primera síntesis: naturaleza de la crisis ambiental

La economía tradicional continúa considerando a los recursos naturales como inagotables; esta es la base del mítico crecimiento exponencial. Con cuestionable persistencia se sigue midiendo el progreso de un país por su producto bruto interno (PBI) y los distintos indicadores de “crecimiento económico”, olvidando que ese crecimiento se logra a expensas de la naturaleza y de la propia especie humana.

La humanidad y muy especialmente sus poblaciones industrializadas son hoy un importante factor de alteración geológica, biológica y climática; el hombre desagota pantanos, destruye la capa estratosférica de ozono, hace desaparecer especies e introduce al ecosistema compuestos químicos que la naturaleza jamás conoció (DDT, plásticos, plutonio 239, latas de aluminio etc.). En promedio pareciera desconocer u olvidar que sus poblaciones de-

penden del mantenimiento de un cierto arreglo ecológico para sobrevivir, y que la estrategia de adaptar el medio a sus necesidades en lugar de adaptar sus necesidades a las restricciones ambientales tiene un límite. Si se destruye la biósfera más allá de ciertos valores una de las especies víctimas puede ser Homo Sapiens.

La excesiva densificación urbana de la población -en la Argentina por ejemplo más del 80% de sus habitantes vive en ciudades de distinto tamaño- agrega nuevas causas de inquietud, en particular con respecto a la sensibilidad pública (pieza clave del problema ambiental). Muchas veces el habitante de una ciudad ignora peligros como la contaminación del aire por amianto y plomo porque ambos contaminantes no son perceptibles, y si los conoce, generalmente no suele relacionarlos con sus propias actividades. El agravamiento de las crisis urbanas y la educación ambiental vienen mejorando sin embargo este cuadro de situación. No sucede lo mismo con aquellos impactos que produce la ciudad sobre otros ecosistemas alejados, ya sean asentamientos humanos, agroecosistemas o bien ecosistemas naturales.

La urbe industrial produce el deterioro del ambiente con su demanda exponencial de materiales y energía (impacto por extracción) y con su descarga de residuos (impacto por agregación). Pero el hombre urbano medio, que pasa del 80 al 90% del año dentro de la ciudad o sus vecindades, ha perdido ya el contacto y la capacidad de reconocer fuera de ella los impactos ecológicos que producen sus propias actividades. Del mismo modo

que la guerra a distancia redujo los análisis causa-efecto entre víctimas y victimarios, el consumismo a distancia le ha quitado al ciudadano común la posibilidad de comprobar cómo lo que usa y descarta afecta negativamente la naturaleza. Peor aún, le es cada vez más difícil discernir entre un ambiente "natural" y otro degradado por sobre explotación.

Este problema se agrava con cada nueva generación de habitantes urbanos. Para el niño que habita toda su vida en una ciudad, sin contactos con la naturaleza extraurbana, hecho común para millones de niños de la calle en todo el mundo, sólo existen vivencialmente los ecosistemas urbanos y sus piezas. Para los niños que sí pueden entrar en contacto con ambientes extraurbanos, la situación admite variantes. El caso más generalizado sin embargo es el de niños que interactúan con ambientes alterados (zonas erosionadas o con rebrote de bosques talados por ejemplo), y con ecosistemas productivos (cultivos, campos ganaderos). Para ellos no es posible comparar lo que había antes (ecosistemas naturales) con estos nuevos arreglos ecológicos que los reemplazan. Surgen entonces nuevos parámetros de "normalidad" ambiental, que incluyen desde biotopos desnaturalizados e insalubres hasta países enteros transformados en ciudades, cultivos y campos ganaderos.

Son necesarios por lo tanto sistemas de educación ambiental que internalicen cuáles son los tipos de organización ecológica que el ser humano necesita para sobrevivir. Sin estos modelos adecuadamente socializados la protección del ambiente y el desarrollo

sostenible son quimeras (2).

Lo expresado permite una primera definición importante. La ecología, el ecologismo y la administración del ambiente no tienen por objetivo final preservar una especie determinada o un paisaje particular por el atributo de la especie o del paisaje en sí mismos. Su prioridad absoluta es la protección y la supervivencia de la especie humana, para lo cual deben asegurar la conservación de importantes superficies y volúmenes de ecosistemas naturales poco disturbados, o lo que es igual, "mosaicos" donde ciudades, agroecosistemas y ecosistemas naturales se equilibren (2).

2.2. Segunda síntesis: causas de la crisis ambiental

Cabe preguntarse por qué el ser humano, que es una de las 30 millones de especies vivas que estimativamente habitan la Tierra, desarrolla en promedio una estrategia suicida (64). Como cualquier otra especie somos un experimento sin seguro de vida. Básicamente nuestras máquinas vivientes persisten gracias a la interacción de información genética (contenida en las redundantes copias de ADN del cuerpo), información cultural endosomática (almacenada en los sistemas nerviosos) e información cultural extrasomática (la que contienen nuestros símbolos, objetos y artefactos, y las bibliotecas y sistemas de computación, por ejemplo).

De ese conjunto los dos universos más notables son la información cultural endosomática, posible gracias sobre todo a la corteza cerebral, y su resultado, la exosomática. En esto somos un experimento.

La tremenda capacidad de almacenaje y transmisión no genética de información nos identifica entre los restantes primates vivientes. No somos algo peor ni mejor, sólo un experimento donde la velocidad de cambio cultural es muchísimo mayor que los diminutos cambios biológicos. Evolucionamos por lo tanto en una compleja interacción de genes, cultura y ambiente. La mayor parte de las especies vivas contemporáneas no han desarrollado esta variante, sino, muy por el contrario, estrategias más conservadoras. Aparentemente nuestra evolución cultural es tan rápida y desordenada que los desfases crecen. El primer desfase se da entre nuestras actividades y la capacidad de la Tierra para digerirlas. El segundo desfase se da entre nuestras capacidades orgánicas y las sobrepresiones a que las someten nuestras culturas industrializadas. El tercer desfase se da entre nuestras estructuras sociales tradicionales y las que resultan de los dos desfases anteriores, lo cual produce guerras, violencia y patologías sociales. Como todo experimento evolutivo, el premio es la supervivencia. Pero este sólo se alcanza si la población humana se adapta a la Tierra y a sus restantes especies vivas. En este momento esa adaptación es insuficiente.

2.3. Tercera síntesis: soluciones a la crisis ambiental

Para evitar que nuestro experimento como especie sea un fracaso deberíamos reorientar drásticamente las actuales estrategias de vida. Ello exige la recompaginación, por ejemplo, de prioridades, aportes científicos, tradiciones, creencias populares, políticas, comportamientos y objetivos.

Los criterios siguientes, algunos de ellos controvertidos, pueden ayudar a construir el andamiaje de esas nuevas estrategias.

Primero, *Homo sapiens* no tiene asegurada su permanencia sobre la Tierra. Durante la evolución biológica numerosos experimentos terminaron abruptamente como especies extinguidas y fósiles. Segundo, la naturaleza puede fracturarse por nuestra causa, y esa fractura -si es muy grave- podría eliminar la mayor parte de nuestra población en los próximos cientos de años o aún menos.

Tercero, la humanidad ha desarrollado sistemas propios y altamente eficientes de autodestrucción, y esos sistemas -sobre todo armamento nuclear, químico, biológico y convencional- todavía están activos. Cuarto, los indicadores ambientales muestran que la fractura de los ecosistemas de los cuales dependemos aumenta logarítmicamente. Quinto, los indicadores sociales acompañan este desvío, y la pobreza, la injusticia, la intolerancia y la violencia crecen sostenidamente. Sexto, la mayor parte de las sociedades humanas están desarrollando culturas hiperconsumistas cuyas actividades degradan el ambiente por extracción y por descarte de residuos. Séptimo, aunque estas estrategias despilfarristas e insostenibles son dominantes, también existen estrategias de vida, por ahora minoritarias, que son de menor impacto ambiental y sostenibles. Octavo, la población no puede seguir creciendo a tasas tan altas como las actuales. Noveno, el actual impacto ambiental está siendo producido tanto por las minorías que consumen a gran escala como por las mayorías poblacionales con consumos de subsistencia.

Décimo, la situación real del planeta es crítica; el hombre no puede hablar de autosuficiencia en una Tierra donde mueren de hambre 15.000 personas por día, ni cuando se registran crueles guerras civiles e internacionales por la posesión de recursos limitados, incluido el poder. Onceavo, la mayor parte de las tecnologías y procedimientos "de punta" se introducen salvajemente en la sociedad sin pruebas previas, y sus costos negativos son pagados por las generaciones actuales y futuras. Doceavo, la humanidad tiene herramientas y posibilidades para revertir sus actuales estrategias destructivas aunque con márgenes muy escasos de tiempo. Treceavo, la ciencia y la tecnología no son panaceas universales e infalibles; muy por el contrario, han generado directa e indirectamente la mayor parte de los problemas ambientales contemporáneos. Catorceavo, todo cambio debería basarse en ciencias responsables y comprometidas con la realidad, sistemas de máxima difusión de la información disponible (educación), administraciones participativas, prohibición del secreto y de la discrecionalidad en instituciones públicas, equidad, tolerancia, desarme y democracia.

Las estrategias de vida basadas en estos criterios privilegian la autorregulación humana, el desarrollo sostenible y sobre todo el balance compensatorio entre ecosistemas naturales (p.e. bosques, lagos, pasturas silvestres), los ecosistemas productivos (p.e. cultivos, plantaciones de árboles de crecimiento rápido, ríos eutróficos) y los ecosistemas consumidores (p.e. ciudades, metrópolis, magalópolis).

En el campo de la gestión pública y privada este complicado proceso

de cambio de estrategia involucra varias etapas principales, entre ellas: (I) Búsqueda y sistematización de la información que ofrecen las diferentes disciplinas actuales, organizaciones y grupos sociales; (II) Diseño, prueba y puesta en práctica de modelos de gestión ambiental (legislación, administración, política) y (III) Educación ambiental activa. El objetivo de este libro es dar elementos de estos tres campos. Para ello hemos desarrollado un texto central, resultado de la experiencia del autor en estos temas, que se puede complementar con anexos prácticos.

2. 4 Cuarta síntesis: *“Cuando un trozo de aire y bosque valen más que cien televisores y una central nuclear”*

En 1993 el Círculo Sindical de la Prensa de Córdoba (CISPREN) convocó a especialistas de distintos campos para que expusieran sobre las incertidumbres y certezas del siglo XXI. Participaron Miguel Rojo, Omar Hefling, María Luisa Cresta de Leguizamón, Luis Heredia, Pedro J. Frias, Raúl Montenegro, Ricardo Gargantini, Ana María Ianni, Jorge Fraschetti y Manolo de la Fuente. El resultado fue un capítulo de la revista “Umbrales. Crónicas de fin de siglo”. Por ser una síntesis de lo discutido en esta introducción transcribimos textualmente el ensayo de Montenegro (20) sobre ambiente. Al igual que los otros aportes fue guiado por tres preguntas: ¿Qué reflexión le merece el desarrollo de la historia del hombre en este final de siglo? ¿Cuáles fueron los avances y retrocesos de la humanidad hasta hoy? ¿Cómo imagina el mañana a siete años de ingresar al siglo XXI? Estas fueron las respuestas.

“La evolución reciente del hombre comenzó hace unos cuatro millones de años. Nuestra especie se conformó tal cual la conocemos hace 500.000 años. La primera revolución agrícola ocurrió hace 10.000 años. Durante todo este largo período crecieron moderadamente las poblaciones, en particular después de que se “inventaran” los cultivos, y las culturas se hicieron gradualmente más complicadas. Pero la primera revolución industrial quebró la historia. Mientras el origen del hombre actual se sitúa en África, en las tierras de Olduvai, los megacambios culturales y poblacionales se iniciaron en la Europa del siglo XVIII. Hasta ese momento, y con algunas excepciones lamentables, como la deforestación en la Europa de los siglos XI y XIII, lo que tomaban las sociedades de la naturaleza era reemplazado por esa misma naturaleza, y lo que el hombre devolvía como residuos no era demasiado tóxico. Aún éramos una humanidad digerible, pero con tendencias peligrosas. A la primera revolución industrial, marcada por las máquinas a vapor, le siguió la asociación de combustibles fósiles y motores a explosión para llegar, más recientemente, a la revolución informática.

Se lanzó así una carrera despareja donde un parte de la humanidad accedía a “progresos” tecnológicos cada vez más sofisticados, y donde otra parte, mayoritaria, apenas sobrevivía al hambre, las enfermedades y la pobreza extrema. Mientras hoy un ciudadano de Nueva York consume en promedio 270.000 kilocalorías por día en todo concepto (desde alimentos hasta transporte), un aldeano pobre del nordeste del Brasil o un “saheliano” de África apenas consumen 3.000 kiloca-

lorías por día (2). Mientras hogares de la franja “privilegiada” se van llenando de computadoras personales, en las tierras resacas de Somalia tienen más chances de sobrevivir aquellos que manejan fusiles AK 47. Mientras algunos arquitectos trasnochados diseñan edificios puentes y pirámides de vidrio, los Yanomami del Amazonas mueren masacrados por buscadores de oro y malos funcionarios públicos.

Este es el mosaico del siglo XX. Los 1.000 millones de habitantes más ricos del mundo consumen la mayoría de los recursos y generan la mayor cantidad de residuos. Los 1.000 millones de habitantes más pobres apenas sobreviven, y uno de cada diez de sus niños muere antes de los 5 años. El número de personas que padecen hambre crónica en todo el mundo aumentó de 460 millones en 1970 a 550 millones en 1990, y se prevé que alcance los 600-650 millones en el 2000. La brecha continúa y se agrava. Tanto los menos que consumen escandalosamente, como los muchos que consumen poco contribuyen así, de distinto modo, a la crisis única del planeta.

Los cambios negativos que sólo afectaban localidades o regiones enteras se han transformado en problemas globales, como el cambio de clima, la desertificación o la merma en la capa estratosférica de ozono.

El siglo XX muestra por lo tanto una Tierra social y ambientalmente despareja, con todos sus mecanismos de control casi desbordados. La esperanza ciega en la tecnología estalla cada tanto como la central nuclear de Chernobyl, y la cuna misma de la “ci-

vilización occidental” toma champagne mientras se apalean extranjeros en Berlín o se degüellan niños inocentes en Bosnia. El modelo iniciado en la Inglaterra del siglo XVIII prosigue frenético pero a elevados costos sociales, ecológicos y de futuro. Si hay algo que caracteriza a los últimos 50 años de este siglo es la creciente generalización de sus modelos de vida despilfarristas, poco sustentables y dañinos. Ya se trate de la ex-Unión Soviética, de los Estados Unidos o de Kenya, el modelo, a escala, se repite, copia y crece. Se cree erróneamente que la naturaleza es proveedora inagotable de bienes y que recibe mansamente todo tipo y cantidad de residuos. Las cifras de la realidad muestran que este modelo del use y descarte, tan falso como las botellas de gaseosa desechables, es efímero y perjudicial para la humanidad. La extracción excesiva está haciendo entrar en corto circuito los ecosistemas. La basura atmosférica, dióxido de carbono más otros gases de invernadero, está cambiando drásticamente el clima de la Tierra. El modelo del progreso tradicional tiene una grave falla. Pero demasiada gente, atareada en perseguir dinero y prestigio, nuevos contratos y tarjetas de crédito, descuida su reparación. El agujero por lo tanto crece.

Concluir que la suma de avances humanos neutraliza necesariamente sus efectos negativos es una falacia. Tal vez pueda ser parcialmente cierto para una parte de la humanidad. Tal vez. Pero la miseria, las guerras, el armamentismo, el tráfico de especies vivas y la generalización de la droga delatan esa falla. El discreto placer de las compras y de la publicidad nos han hecho olvidar, a nosotros, a esa “minoría”

de 1.000 millones de seres humanos, que si el desarrollo no es sustentable el futuro está hipotecado. Muy tarde hemos aprendido (¿aprendido?) que ciertos avances crudos, como la energía nuclear o la ingeniería genética, desprovistos de contexto y de límites, son la más salvaje forma de retroceso.

A siete años del siglo XXI seguimos sobreviviendo, unos más, otros menos. Los creadores de fantasías continúan imaginando puentes sobre el océano Atlántico, colonias terrestres en Marte y al Amazonas transformado en un gigantesco lago para turistas.

Otros seres humanos, más realistas, miden con temor las señales de crisis aguda. Más grave aquí, menos grave allá. Pero grave en promedio e ineludible. Ésta es la marca del siglo XXI. Cada segundo se agregan 3 nuevos seres humanos, 97 millones cada año.

En China y la India hay 600 millones de bicicletas inofensivas, y en todo el mundo una cantidad similar de automóviles tóxicos. En los próximos 30 años se perderán de 15.000 a 50.000 especies vivas por año, esto es, de 40 a 50 especies por día.

Lo trágico es que las sociedades humanas, para poder seguir viviendo, necesitaron y necesitarán de una organización ecológica mínima, con océanos más limpios, bosques extensos y tierras protegidas, todos objetivos prolijamente ignorados en los últimos 50 años. Claro está que se están produciendo cambios importantes y ejemplos altamente satisfactorios de desarrollo sustentable en muchas poblaciones y

regiones de la Tierra. La Convención de Washington sobre tráfico de especies vivas y el Protocolo de Montreal para proteger la capa de ozono son buenos casos de avance.

Pero la realidad grande, la realidad mayor, sólo muestra avances cosméticos. Una cosmética que disimula la explotación atroz del hombre por el hombre mismo, con millones de niños trabajando de sol a sol. Una explotación humana de la naturaleza y una destrucción inadmisibles de futuros que no nos pertenecen. Este es el camino nada nuevo, nada original, que se seguirá transitando el 1 de enero del año 2000.

¿Existen posibilidades de cambio? Teóricamente sí. Muchos de esos cambios, como los que se despliegan hoy para reducir el smog de la ciudad de Córdoba o la putrefacción del lago San Roque, serán el resultado de situaciones límite. Otros cambios serán el fruto de nuevos sistemas educativos y de nuevos líderes, menos ciegos y arcaicos que los actuales.

Lo que no cambiará, lamentablemente, es el mosaico social y ambiental de la Tierra. Ningún indicio anuncia cambios drásticos. Muy por el contrario, es previsible un agravamiento de los conflictos por recursos cada vez más escasos, ya se trate de agua, suelo, techo o alimentos. Las armas se seguirán fabricando y usando, y los Chernobyl se multiplicarán. La Tierra se hará cada vez más pequeña en su viaje hacia los 10.500 millones de habitantes del año 2110. Pero a medida

que las crisis se escalonen, y crezca la conciencia de que algo funciona mal en los alegres estilos de vida del siglo XX, las explosiones de esperanza y solución se multiplicarán. Las próximas batallas, las más feroces y decisivas, se librarán entre seres humanos de costumbres sencillas, y seres humanos devoradores de riquezas, ecosistemas y futuro. Lamentablemente, hoy casi todos somos, de una u otra forma, parte activa de este último grupo de devoradores. Pero nos estamos dando cuenta. Y esto es tremendamente importante. Algún día, por ahora lejano, las mayorías comprenderemos que la ignorancia es una de las tantas formas de la sabiduría, y que unos minutos bajo el cielo azul y con la cara al viento valen más que mil años de compras en un Shopping Center. Ese día habremos quebrado otra vez la historia" (20).

3. Nociones de Ecología General

Origen del término Ecología

Parece haber sido empleado por primera vez a mediados del siglo XIX. Aunque en una carta con fecha 1 de enero de 1858 el naturalista Henry David Thoreau citaba a un colega que estaba "aún en Concord, ocupado en la botánica, ecología, etc.", sólo más tarde habría de definirse su alcance. Hacia 1870 el Biólogo alemán Ernst Haeckel escribía el siguiente trozo: "Entendemos por Ecología el conjunto de conocimientos referentes a la economía de la naturaleza, la investigación de todas las relaciones del animal con su medio inorgánico y orgánico, incluyendo sobre todo su relación amistosa y hostil con aquellos animales y plantas con los que se relaciona directa e indirectamente (54).

Ecología. Definiciones actuales

Ecología es el estudio en el tiempo de todas las interrelaciones entre los organismos y el medio o entre los componentes bióticos (con vida) y abióticos (sin vida) de un cierto espacio. También el estudio en el tiempo de todas las interrelaciones entre un sistema de baja entropía (= físicamente menos probable) y un sistema predominantemente antrópico o "desordenado" en un cierto espacio.

Más sintéticamente, "ecología es la ciencia que estudia los ecosistemas".

La ecología puede hacerse a distintos niveles de complejidad según varíe el tamaño, estructura y componentes del espacio considerado; estos niveles, por razones operativas y didácticas, pueden tomar los siguientes nombres: (a) ecología del sistema solar; (b) ecología del planeta tierra y (c) ecología de los geo e hidrosistemas (= ecología terrestre y acuática respectivamente). Si hacemos intervenir las estrategias desplegadas por el hombre, junto a la "ecología" de los ecosistemas naturales en todos sus tamaños podemos distinguir, además, una ecología de los ecosistemas productivos (cultivos p.e.) y una ecología de los ecosistemas consumidores (ciudades p.e.). También puede hacerse la ecología de sistemas circunscriptos por tubos de ensayo, balones de vidrio y cápsulas espaciales, en cuyo caso hablamos de ecología microcósmica.

Comúnmente, la ecología de los ecosistemas productores en todas sus

categorías suele llamarse “Ecología Agrícola” o Agroecología, y la de los sistemas consumidores “Ecología Urbana”.

Hablamos de “Ecología Regional” cuando el sistema -por ejemplo el antiguo y homogéneo Espinal de la provincia de Córdoba- se halla reemplazado en parte por otros dos tipos de ecosistema, y analizamos el conjunto en su nueva organización. O cuando por razones prácticas estudiamos este mosaico de ecosistemas (los naturales, los urbanos, los rurales) en un espacio delimitado políticamente; p.e. el Departamento Punilla en Córdoba o el conjunto de las provincias del noroeste argentino) (2) (26) (28).

En cada caso o espacio se aplican las definiciones que citamos al comienzo, pero el número de variables involucradas y todo el sistema analizado en general van haciéndose progresivamente menos complejos; basta comparar el tamaño del sistema solar con el de un lago: la diferencia es obvia. Desde luego, cuanto mayor y más complejo es el espacio analizado menor es la posibilidad de conocer y manejar todas sus variables. Pensemos por ejemplo que algunos estudios de nuestro planeta criticados por su excesiva simplicidad requirieron el auxilio de hasta 100.000 relaciones fundamentales, como ocurrió en el modelo regionalizado multinivel de Mesarovic y Pestel (59).

Dentro de cada nivel de análisis (un planeta, una ciudad, un lago) caben dos variantes operativas; si estudiamos con una cierta ecuanimidad todas las especies vivas de un sistema ecológico

y sus interrelaciones con el ambiente interno y externo, hacemos **sinecología**. El énfasis del investigador no está puesto “a priori” en ninguna especie determinada. Supongamos ahora que tras ese estudio llegamos a la conclusión de que tal o cual especie dominante es clave para el funcionamiento global; al investigarla en detalle y con relación al resto del sistema (ambiente en general, plantas o animales en particular) hacemos **demoecología**, porque ponemos todo el énfasis en la población de una única especie. ¿Qué sucede cuando nos estudiamos a nosotros mismos? En este caso practicamos la Ecología Humana.

Encontramos distintas definiciones de Ecología Humana en disciplinas biológicas, geográficas, sociológicas, médicas o sanitarias. Es conveniente por lo tanto delimitar su alcance real. En casi todos los casos la ecología humana -como queda indicada por su nombre- se hace con un criterio predominantemente demoecológico: es tal población de Homo sapiens dentro de tal sistema.

Obviamente esta demoecología puede practicarse a distintos niveles de complejidad: una ciudad (Ecología Humana Urbana, o Ecología Urbana); un ecosistema productivo (Ecología Humana Rural, o Agroecología) e incluso nuestro planeta (Ecología Humana Terrestre). Si estudiamos en cambio un individuo con relación al ambiente, la investigación pasa a ser dominio de la **Autoecología** Humana.

El planeta Tierra visto como un ecosistema

Básicamente podemos distinguir

tres tipos de sistemas generales:

sistemas abiertos, que intercambian material, energía e información; sistemas cerrados, que sólo intercambian energía e información, y sistemas aislados (una concepción teórica) que no intercambian ni energía ni materiales ni información.

Aunque el planeta Tierra es un sistema abierto, a los fines prácticos lo consideramos como cerrado porque retiene sus materiales y el ingreso de materia externa es poco significativo (exportamos satélites e importamos, involuntariamente, restos de meteoritos). La variable denominada “información” es una convención arbitraria -porque materia y energía son información, por ejemplo- pero dadas las características de los sistemas fuertemente antropizados, como las ciudades por ejemplo, es conveniente crear una categoría especial. En una ciudad, por ejemplo, ingresa información de alta complejidad vía ondas de radio, señales de televisión, publicaciones y personas, y este ingreso -y egreso- requiere de una consideración aparte.

La Tierra es un planeta subs esférico, un geoide, donde la vida sólo ocupa una película superficial. La Tierra tiene vida, pero no toda la Tierra. La vida es un fenómeno material minoritario en volumen y peso si lo comparamos con el volumen y peso del planeta. Básicamente la vida es una rareza de la superficie. Esa película, verdadera zona de contacto, incluye una porción de atmósfera (envolvente gaseosa), una porción de litosfera (las tierras emergidas y sumergidas, o substrato sólido) y una porción de aguas superficiales y subterráneas (envoltura líquida discontinua).

En ese medio ecotonal o de borde entre sistemas gaseosos, líquidos y sólidos se da el fenómeno biótico, caracterizado por unidades vivientes sólidas (individuos) que pertenecen a poblaciones de especies o coespecies. Estos individuos -una bacteria, un árbol, un ser humano- son en la práctica inclusiones discontinuas que nacen, se reproducen y mueren en la delgada película superficial de la Tierra.

No hay por el momento especies vivas hechas de gas o de líquido, sólo un total, estimado, de 30.000.000 de especies vivas predominantemente sólidas, complejas, que pueden tener además en su interior materiales en fases líquidas o gaseosas. Un virus como el de la papa es una simple molécula “seca” de ARN (ácido ribonucleico) mientras que un ser humano, con miles de millones de células vivas, frescas, es un “sólido” en el que más del 80% corresponde a moléculas de agua.

Para definir al ecosistema terrestre La Mont Cole creó el término “ecosfera”. Dentro de los límites de esa ecosfera -término excesivo dado que la vida, recalamos, es sólo un fenómeno de superficie- las formas vivas interrelacionadas constituyen la biosfera, término introducido por Vernadsky, y los elementos culturales generados por el hombre -su “metabolismo externo”- la tecnosfera.

Diversidad biológica y evolución

Podemos definir lo que comprende el fenómeno vida analizando las formas actuales, los restos fósiles y algunos conceptos nuevos en ecología teórica.

Utilizaremos para ello los criterios discutidos por Montenegro (64) (65). La unidad más simple y visible de operación es el individuo de una especie, que puede ser tan pequeña como un bacilo de Koch o tan complicado como un adulto de ballena azul; la segunda unidad de operación es una población continua o varias poblaciones más o menos aisladas de esa especie, y la tercera unidad es la especie misma, que engloba a la población total. Sólo tres características son comunes a los seis reinos de formas vivas que nosotros reconocemos en la actualidad:

(a) la presencia simultánea de ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico), dos moléculas encargadas de codificar el mensaje genético, o bien la presencia excluyente de ADN o ARN;

(b) la operación de un “programa de vida/muerte” característico de cada especie, el genoma, que está contenido, precisamente, en esas macromoléculas de ácidos nucleicos, y (c) la capacidad de cada individuo para poder generar, vía sexual o asexual, otro individuo o descendiente con similares características.

Agregando un gran grupo a la clasificación de Whitakker (1969) consideramos que los seres vivos actuales pertenecen a seis Reinos: (a) Virus, organismos sin estructura celular y con aproximadamente 1.000 especies; (b) Monera, Reino que comprende por ejemplo a las algas verdeazuladas, bacterias unicelulares y espiroquetas, sin membranas nucleares, sin plástidos y sin mitocondrias, con unas 4.800 especies; (c) Protista, un grupo complejo integrado por euglenoides, algas verde amarillas, dinoflagelados y protozoarios por ejemplo, provistos

de membrana nuclear y mitocondrias, con 30.800 especies conocidas; (d) Fungi (hongos), con 69.000 especies; (e) Plantae (plantas) con 275.000 especies (248.000 de plantas verdes y 26.900 de algas), y (f) Animales con 1.032.000 especies (60) (61).

Este universo está sobrepresionado en la actualidad por las actividades humanas, que han desencadenado un espasmo de extinciones. Paradójicamente, mientras la biodiversidad “natural” de especies disminuye por esta causa, el ser humano provoca un aumento de la biodiversidad “indeseable”. Entre sus principales causas figura la descarga al ambiente de materiales radiactivos y el uso reciente de radiación gamma para esterilizar alimentos, objetos y barros cloacales. Para esto último la CNEA ha desarrollado en Argentina su sistema PIBA, con fuentes de cobalto 60, que irradiarán los efluentes de plantas convencionales de tratamiento; la primera PIBA, que se construirá en San Felipe (Tucumán), podría irradiar hasta 100.000 toneladas anuales de barros cloacales. Decidida sin que se analizase el impacto mutagénico, constituye una nueva fuente de riesgo microbiológico.

Tanto las partículas alfa y beta como la radiación gamma, que son “residuos” del decaimiento de los radioisótopos, pueden dañar los organismos vivos de tres formas: (a) destruyendo directa o indirectamente una parte o la totalidad de cada célula e incluso tejidos; (b) alterando el programa genético de las células somáticas, que pueden perder así sus mecanismos de autocontrol de la división (mitosis desenfrenadas, cáncer) y (c) provocando

mutaciones hereditarias en los microorganismos a celulares, o en las células sexuales de los organismos más complejos como el hombre (88). Cuando estos organismos sobreviven al cambio de su material genético (ADN, ARN) y se transforman en mutantes “viables”, entran activamente al ecosistema, donde pueden transmitir su nuevo carácter a las nuevas generaciones, o desaparecer por selección natural. Entre los virus y otros microorganismos muy simples la modificación genética inducida por radiación puede originar nuevas cepas e incluso nuevas especies.

Además del posible impacto de estos mutantes sobre la biodiversidad natural, que es una consecuencia poco evaluada de la contaminación radiactiva, existe el riesgo de que se desarrollen “nuevos” microorganismos patógenos para el hombre (virus, bacterias). La generalización del uso de las tecnologías nucleares, con descarga masiva de radioisótopos, ha iniciado un experimento mutagénico a gran escala cuyas consecuencias son biológicamente impredecibles. La descripción modelizada de este riesgo fue presentada por Montenegro durante la Conferencia Internacional sobre Víctimas de la Radiación que co-organizó FUNAM en Berlín (1992) (89).

Las fuentes de riesgo -materiales radiactivos y radiación- se han multiplicado geoméricamente. A las fuentes naturales, que también tienen su participación en la mutagénesis, se le han agregado el fall-out por explosiones nucleares de prueba (series de la década de 1960), la descarga de residuos radiactivos al ambiente (incluidas emisiones rutinarias de las centrales

nucleares), el uso indiscriminado de radioisótopos como trazadores, la sobre concentración de materiales radiactivos en cadenas alimentarias, la generalización de los depósitos acuáticos y terrestres de materiales radiactivos de baja-media actividad, el uso de fuentes gamma para irradiación (caso PIBA por ejemplo) y los accidentes como el de Chernobyl.

Naturaleza del fenómeno vida

La vida, ese fenómeno de superficie que se da en nuestro planeta, es sinónimo de orden y complejidad. Ese orden es mayor en un bosque natural y menor, por ejemplo, en un desierto con escasos rastros de actividad biológica. Recordemos que a mucha menor escala que el ecosistema, aun el viroide más simple es notablemente más complicado y “ordenado” que un cristal de cuarzo o fluorita.

Pero la mayor parte de los procesos naturales tienden al desorden (un estado por otra parte físicamente más probable en el universo). Como al desorden lo podemos equiparar al concepto de “entropía”, decimos que la vida -por oposición- es una forma de entropía “negativa” o neguentropía (2).

La vida se muestra por lo tanto como un fenómeno altamente inestable pese a la persistencia virtual que podíamos deducir hace algunos siglos. Basta confrontar la magnitud de las extinciones prehistóricas con la dimensión del genocidio que conduce actualmente la sociedad industrializada. La biodiversidad, en número de familias, creció lentamente del Cámbrico al Ordovícico, se mantuvo con oscilaciones fuertes del Silúrico al Pérmico, y volvió a crecer lentamente entre el Jurásico y

fines del Terciario. Durante estos 600 mil millones de años se registraron, según Wilson, cinco grandes extinciones en masa: una al comienzo del Silúrico, otra hacia fines del Devónico, dos muy importantes al comienzo y al final del Triásico, y una quinta, también significativa, hacia finales del Cretácico, hace menos de 50 millones de años (61). El hombre está iniciando el sexto espasmo (61). ¿Provocará un mayor número de extinciones que los episodios del Triásico o del Cretácico? No lo podemos predecir con exactitud, pero las actuales tasas de deforestación (17 millones de hectáreas por año) y desertificación (6 millones de hectáreas por año), más una población agregada anual de 93 a 98 millones de personas, permiten afirmar que mucho antes del 2100 la Tierra casi no tendrá soporte vital diverso (datos del PNUMA, 1994).

Para que esta vida inestable se mantenga el sistema biológico debe gastar cantidades enormes de energía. La misma proviene por lo general de una fuente externa al sistema -el Sol- cuyo flujo unidireccional entra a la ecosfera para ser parcialmente fijado, transducido y finalmente disipado. La vida, en consecuencia, “retrasa” o “lentifica” la predecible degradación de la energía (2).

La vida es un estado complejo y variable de la materia, aparentemente de baja probabilidad en el Universo conocido, que surge y persiste en tanto se den ciertas condiciones dentro de ciertos espacios. Estas condiciones (temperatura, presión, componentes químicos disponibles, radiación solar ionizante, matrices materiales, etc. a determinados valores) se dieron en la

Tierra hace unos 3.800-3.900 millones de años, continúan en la actualidad -obviamente con cambios- y seguirán dándose, muy posiblemente, en los próximos millones de años. Podemos prever sin embargo que dada la evolución del Sol -actualmente una estrella amarilla- el destino inexorable de la Tierra será su muerte térmica. Esto es, el paso de ese estado altamente improbable que es el planeta con vida, que conocemos en la actualidad, a ese otro estado con mayor probabilidad que es el planeta frío y que nunca llegaremos a conocer. Al producirse la biogénesis original hace unos 3.900 millones de años, sus productos vivientes -protorganismos- estaban adaptados a las condiciones dominantes en ese momento. Lo mismo puede interpretarse hoy: nuestra biomasa actual y su biodiversidad también están adaptadas a las condiciones ecológicas dominantes. Entre ambos momentos -separados por varios miles de millones de años- la evolución permitió un sucesivo ajuste de la vida a entornos cambiantes; fueron quedando en el camino todas las estructuras y estrategias (especies, coespecies) no adaptadas a los nuevos ambientes. Esta potencialidad de adaptación tiene sin embargo fronteras muy nítidas. Existen dos límites de temperatura por encima de los cuales la vida, tal cual la conocemos hoy, sería imposible.

Por un lado está el límite de los valores excesivos -varios miles de grados centígrados- que impiden mantener edificios moleculares complejos, y por el otro las temperaturas demasiado bajas, que si bien favorecen una mayor estabilidad molecular, disminuirían notablemente la velocidad evolutiva. De allí que la vida, con sus actuales

mecanismos, deje de funcionar o se colapse mucho antes de ciertos extremos, como por ejemplo +3.000 grados o -270 grados centígrados. Existe sin embargo para este segundo límite una posibilidad especulativa de que las temperaturas en disminución favorezcan una complejización lenta de la materia (66).

¿Cuál será el futuro de la ecosfera actual? La vida, estructurada tal cual la conocemos, depende fundamentalmente del Sol. Parafraseando al Jefe Seattle, de la tribu Suwamish, lo que le ocurra al Sol le ocurrirá a la Tierra. La estrella amarilla Sol mantendrá sus actuales condiciones durante 5.000 o 6.000 millones de años más (¿enfriamiento lento?). Durante esta fase la vida terrestre podría ir complicándose gradualmente, tanto en calidad (mayor biodiversidad) como en cantidad (biomasa) si la temperatura sufriera un paulatino y poco significativo descenso. Para que esto suceda no deberían registrarse grandes disturbios externos (factores alogénicos, choque con trozos de cometa por ejemplo), ni tampoco graves crisis internas como la extinción en masa por causas humanas (factores autogénicos). Ocurrirá entonces lo que Sagan denominó "el último día perfecto". Cuando todo el hidrógeno central del Sol haya reaccionado formando helio, la zona de fusión del hidrógeno irá migrando lentamente hacia el exterior. Se formará así una cáscara en expansión de reacciones termonucleares, que llegará hasta el lugar donde las temperaturas son inferiores a diez millones de grados centígrados. Entonces la fusión del hidrógeno se apagará. Mientras tanto la propia gravedad del Sol contraerá su núcleo rico en helio

haciendo aumentar las temperaturas y presiones internas. Los núcleos de helio quedarán apretados más densamente, y la "ceniza" se convertirá en nuevo combustible, disparando una segunda ronda de reacciones de fusión. Este proceso, que generará carbono y nitrógeno, le permitirá brillar durante un tiempo limitado (67).

Nuestro "nuevo" Sol, bajo la influencia combinada de la fusión del hidrógeno en una delgada cáscara lejos del interior solar, y de la fusión del helio a muy alta temperatura en su centro, comenzará a expandirse y enfriarse. El Sol quedará convertido entonces en una gigante roja, que según Sagan "envolverá y devorará" a los planetas Mercurio y Venus y muy probablemente también a la Tierra. Los casquetes polares se derretirán y los océanos terrestres -si todavía existen- inundarán la mayor parte de las tierras que estén emergidas. El exceso de vapor aumentará la nubosidad, y posiblemente se acreciente el efecto invernadero local.

Llegará un momento en que los océanos entrarán en ebullición, la atmósfera se evaporará y se perderá en el espacio, y una catástrofe de proporciones inmensas e inimaginables asolará nuestro planeta (67).

El Sol, en su agonía, pulsará lentamente, expandiéndose y contra yéndose, hasta disparar su atmósfera al espacio en forma de una o más cáscaras concéntricas de gas. Los restos del Sol, proyectados en su nebulosa de planetas -la Tierra incluida- serán una pequeña estrella caliente. Miles de millones de años más tarde esa estrella se convertirá en una enana blanca, degenerada,

que se enfriará hasta su estado final, el de una enana negra y oscura (67).

Si la vida logra sortear los obstáculos alo-autogénicos y llega con cierta diversidad al último día perfecto de la Tierra, su única posibilidad de supervivencia es un acomodamiento a la fase caliente. Lamentablemente, su estructura actual no permite abrigar demasiadas esperanzas (a menos que nuevas líneas evolutivas hayan permitido el desarrollo de organismos con proteínas más resistentes a la temperatura, por ejemplo). Pero la catastrófica expansión de la gigante roja eliminará seguramente toda forma organizada de la materia. Después de las fases pulsátiles y durante la larga fase de enfriamiento, ¿podría originarse nuevamente vida? De suceder, ¿tomaría direcciones evolutivas muy distintas de las actuales? Como fenómeno terrestre “de cola” podría pensarse en una biomasa independiente del Sol -de la estrella caliente y de la enana blanca- que emplease fuentes alternativas de energía (2).

Ahora es posible resumir el proceso bioevolutivo. La vida terrestre habría tenido uno o varios orígenes puntuales hace 3.800-3.900 millones de años. Dicho fenómeno no es reproducible en la actualidad, aunque tal vez hubo algunas posibilidades de repetición en el Precámbrico (?). Luego de originada y establecida la vida se habría consolidado y perpetuado sin nuevas biogénesis. Ello permite identificar la siguiente secuencia: (a) Hace más 4.000 millones de años las condiciones alogénicas eran tan extremas y calientes que no fue posible la biogénesis. Hubo sin embargo una importante

quimioevolución que preparó el terreno, fabricando los primeros compuestos orgánicos (organogénesis) (68); (b) Hace 3.800-3.900 millones de años se dieron condiciones alogénicas particulares, de ocurrencia general muy poco probable, bajo las cuales se produjeron uno o más episodios de biogénesis. Entre esas condiciones probiógenicas destacamos una supuesta atmósfera reductora, intensa actividad eléctrica y masiva penetración de radiación ionizante (sobre todo radiación ultravioleta procedente del Sol). También es posible que haya existido una fuerte radiación local (partículas alfa y beta, radiación gamma) procedente de materiales inestables. Otra hipótesis liga la biogénesis con colisiones de la Tierra y fragmentos de cometas; Oró cita por ejemplo un valor de +100 choques para los 5.000 millones de años de nuestro planeta; (c) Bajo nuevas condiciones alogénicas, sobre todo más estabilizadas a partir del Cámbrico, el fenómeno biótico se afirmó, radió y creció en diversidad sin nuevas biogénesis. Estas condiciones todavía persisten hoy (2).

La vida, como fenómeno ordenado, puede iniciarse y seguir, quizás, diferentes caminos químicos. En nuestro planeta se originó, básicamente, a partir de compuestos que contenían carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y ciertos metales, y durante la evolución se fueron incorporando -en distintas proporciones- casi la mitad de todos los elementos de la Tabla Periódica de Mendeleev (los llamados elementos biófilos o bioelementos). Pero en otros sistemas solares y planetas la vida podría haberse desarrollado con otra arquitectura química de base, con silicio en lugar de carbono por

ejemplo. En este caso los organismos (¿organismos?) podrían haber sido más traslúcidos o transparentes (?). En todo caso la característica común en cualquiera de estas estrategias sería su notable orden interno, asociado quizás a un rango bastante estrecho de temperaturas, por ejemplo entre -100 y +100 grados centígrados.

Claro que esta especulación deriva de la situación que conocemos en la Tierra, donde la vida activa -salvo excepciones- se da entre -60 y +60 grados centígrados, e incluso menos. Las excepciones locales incluyen árboles que resisten en Siberia temperaturas de -60 grados o menos y bacterias que sobrevivieron en estado latente, durante varias semanas de inmersión en aire líquido a -185 grados.

Hacia el otro extremo, existen bacterias muy simples, presentes en manantiales calientes, que pueden desarrollarse a temperaturas de 75 grados centígrados y que logran sobrevivir incluso varias horas de exposición a 120 grados (66) (2). Este diminuto rango contrasta con las temperaturas más frecuentes en el universo conocido, que oscilan desde varios miles de millones de grados en el centro de las estrellas hasta unos -240 grados centígrados en el espacio interestelar (66).

¿Reduce esto la posibilidad de ordenamientos similares en otros planetas y sistemas solares? Quizás sí. En este esquema sobre la vida caben algunas reflexiones finales. Con nuestros actuales conocimientos no avizoramos grandes cambios alogénicos a largo plazo. Grandes plegamientos, choques con cometas y megasismos parecen

poco probables dentro de este plazo (varios miles de años). En consecuencia, la ecosfera y su mosaico de ecosistema necesitaría ajustes mínimos para sobrevivir con su actual organización ecológica. Pero el hombre industrial está provocando tales movimientos de energía y de materiales, sin contar con la posibilidad de un holocausto nuclear, que los mismos ya han empezado a cambiar el clima e incluso aumentado la penetración de radiación ultravioleta B y C. Irónicamente nuestra fuerza, comparable ya a la alogénica, a un choque con un fragmento de cometa, puede alterar gravemente el mismo sistema del cual dependemos. El sobrecalentamiento terrestre por efecto invernadero es una clara señal de alarma. Esta es por lo tanto una nueva perspectiva evolutiva, la que resulta de los “filtros” que la propia especie humana le está aplicando a la vida (2). A diferencia quizás de las cinco grandes extinciones masivas del pasado -la última ocurrida hace 50 millones de años- “nuestro” proceso biodestructor se está completando en menos de tres siglos (!).

Fuentes de energía

La ecosfera, esta delgada capa superficial donde interactúan los componentes bióticos (vida) y los abióticos, necesita para funcionar de una entrada constante de energía. A la ecosfera “ingresan” tres flujos: la energía solar, la energía del sistema interaccional Sol-Tierra-Luna (STL) y la energía terrestre. La primera desde “afuera”, la segunda de origen complejo y la tercera “desde adentro”. Todas contribuyen, respectivamente, con 173.000×10 elevado a la 12 vatios/año (Sol); 3×10 a la 12 vatios/año (sistema interaccional Sol-

Tierra-Luna) y 32.3×10 a la 12 vatios/año (geotérmica, nuclear, gravitacional). De todas ellas, la más importante es la que tiene su origen en el Sol (69).

3.7. La energía solar y la vida

Las dos energías con menor aporte en vatios, tanto la del sistema STL como la terrestre, son tangenciales. Aunque interactúan con el fenómeno vida, su importancia es insignificante comparada con la Solar. Este último flujo es indispensable.

Aunque nuestro planeta sólo intercepta algo menos de $1/50.000.000$ parte de toda la energía producida por el Sol, es suficiente -y de hecho excesiva- para mantener todos los ecosistemas.

Del total de energía solar ingrese a la Tierra, $1/3$ parte se pierde por reflexión, sobre todo como radiación de onda corta, y $1/3$ se transforma directamente en calor, para disiparse finalmente como radiación infrarroja de onda larga. El tercio restante -más precisamente un 2%- interviene en los procesos de evaporación y precipitación, quedando transitoriamente almacenada en el agua y en el hielo.

Finalmente también se va hacia el espacio como radiación infrarroja de onda larga. La conexión directa entre el Sol y la vida se establece mediante un delgadísimo hilo de energía: el escaso 1 a 5% de toda la energía solar que llega a nivel del suelo y es efectivamente captada por las plantas verdes.

La naturaleza de la radiación procedente del Sol es compleja. Incluye, básicamente, (a) Luz ultravioleta (longitud de onda: 0.3-0.4 u). Dañina para el organismo cuando ingresa con

exceso o en sus porciones de mayor contenido de energía (B, C); es detenida en su mayor parte por la capa estratosférica de ozono; (b) Luz visible (longitud de onda: 0.4-0.75 u). Es captada por las plantas verdes durante el proceso de la fotosíntesis, y (c) Radiación infrarroja (longitud de onda: 0.7-10 u). Es la fracción típicamente termógena del espectro solar (2).

Para medir la radiación que cae se emplean los solarígrafos; su expresión puede hacerse en gcal (gramo-calorías) o Kcal (kilocalorías) por unidad de superficie (cm^2 , m^2) y unidad de tiempo (segundo, minuto, día, año). La duración de la insolación se registra con los heliógrafos. Suele admitirse como valor medio para nuestro planeta un ingreso de $2 \text{ gcal}/\text{cm}^2.\text{min}$ (constante solar). La única porción del espectro solar íntimamente asociada con la vida es la visible. El resto del espectro actúa en forma indirecta o tangencial (factores biocomplementarios), ya que la porción infrarroja es responsable del movimiento del gran motor atmosférico y de la temperatura superficial de la Tierra (2).

La vida es mantenida por lo tanto a través de un delgado hilo de energía. La luz llega a las plantas y éstas la absorben con una eficiencia del 0.1%. Esto implica que la mayor parte de la radiación incidente se pierde o no es capturada. La secuencia de pérdida puede observarse en un ejemplo dado por Golley (70). En un prado de Michigan llegan a nivel del suelo 4.71×10 elevado a la $8 \text{ cal}/\text{m}^2.\text{año}$, pero la vegetación sólo utiliza para fotosintetizar $0.05 \text{ cal}/\text{m}^2.\text{año}$. El resto de la radiación incidente se pierde por reflexión y evaporación (2).

Las plantas verdes capturan por lo tanto una fracción mínima de toda la energía solar ingresante al planeta. Esa energía, de naturaleza radiante, es convertida durante la fotosíntesis en energía química. Para mantener dicho proceso todas las funciones vitales de un vegetal gastan 1/3 de la energía capturada en respiración (pérdida de calor). Transferida al resto de la cadena alimentaria (herbívoros, carnívoros, descomponedores) esa energía puede mantener otros organismos que no poseen esa capacidad de convertir energía radiante en química, y materiales inorgánicos en materia viva (autótrofos). Esa cadena va degradando la energía captada inicialmente y se termina allí donde no hay más energía disponible (consumidores finales) (2).

Pero mientras la energía fluye unidireccionalmente a través de las redes alimentarias -degradación lenta- los materiales circulan. Metafóricamente es como si la energía del Sol, captada por las plantas verdes, hiciera girar la rueda de los materiales.

Esta rueda donde los materiales pasan cíclicamente de estados muy simples a estados muy complejos como la vida y viceversa, está integrada por los mismos organismos y por las sustancias biófilas del medio inerte (2).

El planeta Tierra es por lo tanto un esferoide donde predominan los materiales inorgánicos en todos los estados, pero que tiene una delgada película superficial de masa viva entramada con masa inerte. Esa masa viva, con elevado orden interno o neguentropía, absorbe parte de la radiación solar ingresante y la va eliminando luego

muy lentamente en sus complejas redes alimentarias. Como “efluente” de esta actividad biológica superficial queda calor, calor que se disipa finalmente al espacio externo. Puede suceder sin embargo un almacenamiento prolongado de energía química que distorsione el balance de entrada y salida de energía. Este desbalance se produjo en el pasado cuando se formaron las grandes cuencas petroleras que hoy explotamos. Mientras que su constitución demandó miles de años, ya extrajimos y liberamos una buena parte de esas reservas en apenas cien años.

Lamentablemente esta liberación no incluye solamente la energía residual de su conversión (calor), sino también compuestos de carbono que estuvieron atrapados en la corteza terrestre durante millones de años (CO₂). Esta liberación masiva, peligrosa y descontrolada ha desbordado la capacidad de absorción y neutralización de la Tierra.

Noción de ecosistema

El ecosistema es la unidad de trabajo de la ecología. Este término, introducido por Tansley en la década de 1930, circunscribe “unidades” ambientales donde se cumplen determinadas condiciones, entre ellas: (a) tener una cierta fisonomía o estructura distintiva y con límites, por ejemplo un bosque de algarrobos blanco y negro, o un lago de montaña; (b) tener componentes bióticos, (c) tener componentes abióticos y (d) que esos componentes bióticos y abióticos interactúen entre sí y contribuyan a mantener la primera condición (a) de homogeneidad y superficie/volumen acotados. Siguiendo a Odum (27) la interacción mencionada

antes como punto (d) implica que en un área determinada existen flujo de energía, una cadena o trama alimentaria, diversidad biológica e intercambio de materiales entre partes vivas e inertes. El concepto es por lo tanto arbitrario y hasta cierto punto irreal, pero permite modelar la realidad (ecología) y si es necesario, diseñar y aplicar mecanismos de intervención (gestión).

En un ecosistema distinguimos los siguientes elementos estructurales: (a) Un soporte, matriz o espacio físico donde interactúan los elementos del ecosistema, por ejemplo fondo sólido-agua-aire en un lago, o suelo-aire en un bosque chaqueño; se trata de un complejo biótico-abiótico; (b) Un flujo de energía, por ejemplo radiante o calórica; (c) Sustancias inorgánicas que intervienen en los ciclos de materiales, como por ejemplo carbono, nitrógeno y agua; (d) Compuestos orgánicos que enlazan lo biótico y abiótico, por ejemplo metano y urea; (e) Poblaciones de especies vivas, organismos, y (f) condiciones físico-químicas generales muy complejas de cada matriz o sitio, definidas por la temperatura, la humedad o la velocidad del viento en un ecosistema terrestre (variables climáticas en superficie y bajo el suelo) o la temperatura, luminosidad, salinidad, pH y presión en un ecosistema acuático ("clima" del agua). Los organismos vivos, que pertenecen a los seis reinos ya descritos, pueden pertenecer -por sus roles ecológicos- a una o más de las siguientes categorías tróficas:

(a) Productores, autótrofos o "transductores" de energía (en su mayoría plantas verdes), únicos capaces de fabricar alimentos a partir de sustan-

cias inorgánicas y radiación solar; son los capturadores oficiales de energía, y **(b) Consumidores o heterótrofos** que ingieren otros organismos y partículas orgánicas.

Estos últimos suelen dividirse arbitrariamente en macroconsumidores o "cazadores" de organismos/células vivientes (corzuela "cazadora" de pasto, virus cazador de bacterias y células vivas, jaguar cazador de roedores), y microconsumidores o "cazadores" de protoplasma muerto (entre ellos hongos y bacterias descomponedores). Los ítems (b), (c), (d) y (f) son típicamente abióticos; el ítem (e) es biótico, y el ítem (a) un complejo de interfase biótico-abiótico.

Existe un séptimo componente arbitrario (g) que debe circunscribirse por razones operativas. Nos referimos a los elementos culturales de las actividades humanas: infraestructura edilicia, infraestructura vial (recordemos que los caminos atraviesan casi todos los ecosistemas terrestres), infraestructura bélica, transporte, máquinas, herramientas, sistemas de comunicación, depósitos de residuos y símbolos culturales, entre otros. Dichos elementos forman parte del "metabolismo externo" del hombre e integran, en un sentido muy amplio, la tecnosfera.

La Tierra es el ecosistema mayor, y hasta ahora, el único que conocemos porque si bien la vida es factible en otros sitios del universo, en otros sistemas solares por ejemplo, todavía no los hemos detectado. Al interior de la Tierra es posible distinguir dos grandes divisiones o grupos de ecosistemas: los terrestres y los acuáticos, donde predominan -respectivamente- las matrices

sólido-gaseosas y líquido-gaseosas.

La tradicional división de la Tierra en continentes y grandes masas oceánicas ofrece una primera clasificación interesante. Dado que ambos poseen matrices muy diferentes con formas vivas adaptadas a esas matrices, pensemos en los árboles y las ballenas por ejemplo, además de ser unidades ambientales bien definidas también actúan entre sí como ecosistemas barrera. El ecosistema terrestre Americano, por ejemplo, tiene a su vez tres ecosistemas terrestres menores, el ecosistema Norteamericano, el Mesoamericano (América Central) y el Sudamericano. América a su vez está asociada por el norte al gigantesco ecosistema Asiático-europeo. Otros ecosistemas terrestres masivos son el Ártico, África, Australia y el Antártico. Sus dimensiones varían desde la masividad Asiático-Europea, pasando por islas como Madagascar, hasta la pequeñez de roquedales aislados en el océano Pacífico.

Los ecosistemas de agua, divididos mayoritariamente en salados y dulces, y cuya zona de borde o contacto con los terrestres son las costas de inundación (mareas, crecientes) ocupan la mayor parte de la superficie de la Tierra. Entre los ecosistemas de agua salada, que cubren un total de 354 millones de kilómetros cuadrados, el mayor de todos y la unidad ambiental más grande del planeta es el ecosistema Pacífico-Atlántico. Mientras los ecosistemas terrestres Americano, Ártico y Asiático-Europeo tienen sus mayores vías de contacto por el norte, los gigantes ecosistemas líquidos del bloque Pacífico-Atlántico tienen

sus principales vinculaciones por el sur. Entre los salados de menores dimensiones figuran por ejemplo el Mar Mediterráneo, que tiene contacto directo con el Atlántico, y el Aral, de 68.700 km² de superficie, ya aislado dentro de un ecosistema terrestre. Al interior de los ecosistemas oceánicos existen además ríos de agua salada, las corrientes marinas, que sin tener la definición estructural de los ríos terrestres configuran verdaderas unidades ambientales todavía poco conocidas.

El otro universo de ecosistemas líquidos está constituido por los lagos y ríos de agua dulce. Los ríos son ecosistemas alargados cuyas masas de agua se desplazan por un estuche sólido (los cauces), manteniendo un estrecho contacto con los ecosistemas terrestres que atraviesan. El ecosistema del río Amazonas por ejemplo mide 6.280 km de largo desde sus nacientes en el Ucayali hasta su desembocadura en el ecosistema Pacífico-Atlántico. Tiene un caudal medio de 100.000 m³/seg, con máximos de 200.000, y un ancho que varía entre unos pocos metros en las nacientes y 325 km en la desembocadura. Los ríos pueden ser cerrados -cuando no salen de los límites insulares o continentales, el Salí-Dulce en Argentina por ejemplo- y abiertos cuando vuelcan sus aguas en los ecosistemas salados (el Amazonas o el Paraguay-Paraná-Plata). Estos últimos transportan materiales de desgaste de los ecosistemas terrestres a los océanos y mares.

En cuanto a los lagos y otros ecosistemas equivalentes, en su mayoría de agua dulce, el líquido no se desplaza a gran velocidad como en los ríos y

permanece por lo tanto más tiempo en la cubeta. Mientras los ríos son siempre alargados y con costas paralelas que no suelen tocarse, los lagos tienen costas -límites- subcirculares o subovoidales que generalmente se unen. Al igual que los ríos, de los cuales se forman, su funcionamiento está estrechamente ligado a los ecosistemas terrestres.

Estas son las grandes unidades ecológicas de la Tierra, pero al interior de cada una hay unidades menores -otros ecosistemas- que también pueden ser delimitados.

Antes de que se iniciaran las revoluciones industriales era más sencillo identificar estas "unidades" fruto de la evolución reciente. En estos ecosistemas el rol alterador del ser humano era todavía pequeño pese a los disturbios preindustriales que se registraron, y que ya fueron descritos al comienzo de este trabajo. ¿Cuáles eran las características salientes de estos ecosistemas preindustriales? Tenían alta diversidad biológica y ecológica, gran capacidad de autorregulación y adaptación, y alta estabilidad estructural. Dentro de ciertos límites lograban una cierta contención de los materiales (compensación de entradas y salidas materiales), y la mayor parte de la energía fijada se degradaba "in situ" (compensación de entradas y salidas de energía). En este proceso la biomasa podía aumentar -complexificación del ecosistema- o disminuir, e incluso podía ajustarse a un ritmo cíclico. También podía crecer la "captación" biológica de energía y retardarse su disipación, o podían disminuir ambas. En promedio estos ecosistemas actuaban como ecosistemas balanceados, con un valor P

(producción, vinculado a la energía radiante efectivamente captada por las plantas verdes), prácticamente igual al valor R (respiración, calor disipado por el ecosistema). Lo que es actualmente muy difícil de determinar es la superficie y volumen de un ecosistema balanceado donde se cumplan estas "condiciones". Desde un punto de vista teórico, tal definición es un cuento de hadas. Pero por razones prácticas y no necesariamente reales, hemos utilizado algunos criterios fisonómicos para circunscribirlos.

Un ejemplo de ecosistema "balanceado", con las salvedades que apuntamos antes, es el ecosistema del Bosque Chaqueño, que definimos a partir de la Provincia Biogeográfica Chaqueña de Cabrera y Willink (71). Hace más de un siglo comenzaba en Bolivia y Paraguay y se prolongaba hasta el centro de Argentina. Obviamente estaba conectado con los ecosistemas vecinos (Provincias Biogeográficas de las Yungas, del Monte, del Espinal y de la Selva Paranense) y a través de ellos con ecosistemas "lejanos" (Provincias Biogeográficas del Cerrado y de la Caatinga por ejemplo) por cuanto no existen fronteras absolutas entre unidades ambientales.

Más allá de que cumpliera o no estrictamente la definición de ecosistema balanceado, el Chaco estuvo funcionando con altos valores de diversidad biológica, estabilidad y autoajuste. Lo mismo podemos asumir, arbitrariamente, para todos los ecosistemas terrestres de Sudamérica: Amazónico, del Cerrado, Paranense, de las Yungas, Pacífico, Venezolano, de la Sabana, Atlántico, del Páramo, de la Guayana,

de la Caatinga, del Espinal, del Monte, Prepuneño, Pampeano, Chileno, de la Guajira, Altoandino, Puneño, Patagónico, del Desierto, Subantártico e Insular (71). Aunque el ser humano y sus diversas etnias estuvieron ligados durante miles de años a estos 24 grandes ambientes y sus ecosistemas líquidos asociados, sobre ellos y sobre los restantes ecosistemas “balanceados” de la Tierra las revoluciones agrícolas e industriales produjeron notables cambios de estructura (desde hace 10.000 años hasta la actualidad, con la mayor parte del impacto concentrado en los últimos dos siglos). La simplificación ecológica, a veces violenta e irracional, fue desde entonces el rasgo distintivo de la estrategia agrícola-industrial. A modo de cuña primero y luego como realidades masivas y extensas, los ecosistemas simplificados -cultivos y ciudades- empezaron a dominar. Hoy la antigua distribución de ecosistemas “balanceados” está desdibujado por el mosaico de actividades humanas. En la provincia de Córdoba, por ejemplo, el ecosistema del Espinal ya desapareció y fue reemplazado por cultivos y campos para la ganadería. Sólo queda, como remanente de la estructura anterior, el suelo y los organismos que sobrevivieron al cambio. Los bosques de algarrobo blanco y negro ya no existen, ni tampoco el complejo ecosistema que fabricó ese suelo.

Los ecosistemas pueden clasificarse energéticamente utilizando el cociente P/R, donde -tal cual lo describimos antes- “P” es la producción o energía radiante efectivamente captada por los autótrofos, y “R” la respiración o pérdida de calor tras la degradación energética, ambas medidas en un eco-

sistema acotado durante un tiempo “t”. Distinguimos entonces tres grupos principales:

(a) Ecosistemas balanceados. En ellos el cociente P/R tiende a uno o es igual a uno. Son típicos de este grupo los ambientes “masivos” de Bosque Subantártico en Argentina, que se extienden desde Neuquén hasta Río Negro, o bien cualquier otro ecosistema poco disturbado de Sudamérica (ver la lista de Provincias Biogeográficas de Cabrera y Willink) (71).

(b) Ecosistemas productivos o agroecosistemas. En ellos el cociente P/R tiende a ser mayor que uno. En este grupo se ubican los cultivos, las plantaciones monotípicas de árboles y los acuacultivos, e incluso los lagos y ríos fuertemente eutroficados. El desfase entre energía radiante y energía calórica se debe a que la energía química, resultado de la fotosíntesis local, se exporta como tal (fibras, granos, carne por ejemplo), y se degrada (es respirada) fuera de sus límites.

(c) mas consumidores o urbanos. El cociente P/R tiende a ser menor que uno. En este grupo se ubican los grandes asentamientos humanos, ciudades, metrópolis y megalópolis. También definen unidades similares los grandes hormigueros de cortadoras, por ejemplo especies de *Atta* y *Acromyrmex*. El desbalance entre energía radiante efectivamente captada y energía calórica se debe a las grandes “importaciones” de energía química. El valor “P” es mínimo porque las ciudades tienen una biomasa fotosintetizante insignificante, y el valor “R” está sobredimensionado tanto por la afluencia de energía química procedente de ecosistemas agrícolas y “balanceados” como por

la quema de combustible fósil (que procede de ecosistemas ya extinguidos). Lo que no se degrada hasta calor en los sistemas proveedores -bosques naturales, cultivos- sufre este proceso en los asentamientos humanos densos e industrializados. De allí que las urbes sean verdaderas islas de calor.

Las dimensiones mínimas (superficie, volumen, densidad ecológica) que debe tener un ecosistema para ser "balanceado" son materia de discusión, y al mismo tiempo, el principal problema práctico de la ecología contemporánea. Tales dificultades surgen del carácter arbitrario de su delimitación (el cuento de hadas al que aludíamos más arriba). Tanto el proyecto "Minimum Critical Size of Ecosystems" (MCS) como su derivado posterior el "Biological Dynamics of Forest Fragments Project", conocido como proyecto Lovejoy, intentan responder a la pregunta: ¿cuánta tierra es necesaria para sostener el 99% de las especies de la selva amazónica por varios cientos de años? (61). Iniciado en 1979 tiene prevista su terminación el próximo siglo.

Para mejorar la concepción teórica y práctica de la "dimensión mínima", Montenegro desarrolló hacia fines de 1980 el criterio de "ajustabilidad" de los ecosistemas ("A") y definió cuáles eran las variables que regulaban esa capacidad (64) (72) (80). En este caso la superficie, volumen y densidad ecológicas -introducidas como variables líderes- no están vinculadas solamente con el presupuesto balance de materiales, sino con la capacidad de un ecosistema así definido para mantener su estructura en el tiempo.

La formulación de este concepto requiere una anotación previa sobre las variables de superficie, volumen y densidad ecológica. Desde FUNAM hemos venido insistiendo sobre la necesidad de avanzar más allá de los criterios de superficie/biomasa y biodiversidad (64). Los ecosistemas tienen una superficie, expresada por ejemplo en metros o kilómetros cuadrados, y una biomasa o masa viva referida a esa superficie. Pero los ecosistemas no sólo se desarrollan "lateralmente", sino en forma tridimensional. Aunque esto es evidente para los ecosistemas acuáticos, su tratamiento ha sido descuidado en los terrestres. Estos últimos tienen (a) desarrollo "lateral"; (b) en altura (por encima de la superficie) y (c) en profundidad, por debajo del límite que separa el soporte sólido del atmosférico (suelo).

La nequentropía ha ido conquistando nuevos espacios hacia arriba, tal el caso de la Selva Paranense en Argentina, que llega hasta los 30 m de altura, y hacia abajo en la Estepa Pampeana, donde el suelo puede tener varios metros de profundidad. Penetró igualmente en los sistemas de cavernas sin luz, donde sobreviven ecosistemas dependientes del ingreso de energía química. Por tratarse de una expansión ecológica, no solamente biológica, lo que ocupa cada vez más espacio es el conjunto, es decir, el ecosistema. En el caso particular de la Selva Paranense de Misiones su estrategia evolutiva fue superficial porque el suelo rojo, un típico Oxisol, tiene notables limitaciones físico-químicas y estructurales. La vida "creció" en altura y mantuvo en profundidad un capital mínimo de

información. Todo lo contrario sucedió en la estepa Pampeana, donde la mayor parte del carbono orgánico y buena parte de la información biótico-abiótica quedan contenidos en el suelo -un Chernozem- por debajo de la superficie. Parabólicamente la selva es superficial en Misiones y “subterránea” en las provincias con estepa Pampeana, donde el suelo es el equivalente ecológico de gruesos troncos y densos doseles.

Con otras estrategias la vida también conquistó mayores volúmenes al interior de los mares. En lugar de grandes árboles y selvas se desarrollaron allí, evolutivamente, productores primarios de dimensiones microscópicas -fitoplancton por ejemplo- y extensas redes de algas flotantes. El mayor éxito se alcanzó en las zonas de costa y de aguas ricas en nutrientes (zonas de “up welling” de Perú y Somalia por ejemplo) donde predominan cadenas alimentarias medianas y cortas respectivamente. En océano abierto la conquista ha sido más difícil pero se generalizó a toda la zona fótica, desde donde sus cadenas alimentarias largas llegan incluso hasta zonas profundas y sin luz solar.

Los manglares -desde la tierra firme- y los arrecifes de coral -desde las profundidades someras- son otro mecanismo de conquista y de aumento volumétrico. Los corales lograron incluso hacer salir estructuras permanentes por sobre la superficie del mar. También vienen formando, desde hace miles de años, innumerables ecotopos nuevos de alta biodiversidad. Los manglares de madera dura, tan amenazados en todo el mundo, lograron el efecto

inverso, esto es, ocupar el agua salada con mallas de troncos y raíces. Es el “bosque” penetrando tímidamente en los ecosistemas de agua.

Este criterio de “volumen” de los ecosistemas, muy complicado en ambientes de bosque, donde resulta de integrar en ese volumen la conquista “hacia arriba y hacia abajo” de la superficie, requiere de un criterio complementario, el de densidad ecológica. Un cultivo monoespecífico de pinos, por ejemplo, tiene mayor “volumen” que una superficie equivalente de ecosistema balanceado de Monte. Pero mientras que el primero es incapaz de sostenerse indefinidamente por sí mismo, el segundo sí tiene la propiedad de autopropagación. La variable que marca esa diferencia es la diversidad, ya sea la biodiversidad clásica, ya sea la noción de ecodiversidad que introdujo Montenegro (64). En consecuencia, la densidad ecológica resulta de relacionar la variable “volumen conquistado” con la variable “diversidad”.

La organización y ajustabilidad de un cierto ecosistema, en símbolos “A”, es función de la información biótica, que comprende por ejemplo la diversidad genética, la diversidad cultural y la diversidad específica (“ib”); de la información abiótica, por ejemplo composición físico-química y estructura de la atmósfera, de los suelos y de las masas hídricas (“ia”); de la geodiversidad, que incluye los distintos soportes y matrices del ecosistema (“gd”); de la diversidad macro y microclimática (“cd”); de la superficie del ecosistema (“s”); del volumen del ecosistema (“v”); de la densidad ecológica del ecosistema (“de”); de la aislación (“I”) y del tiempo

("t"). Esta ajustabilidad "A" se obtiene mediante un cierto arreglo de especies en un cierto espacio y tiempo gracias a la propiedad "pieza de rompecabezas" (83). Cada especie viva es algo así como una pieza única de rompecabezas que se puede ubicar en todo espacio que la albergue, pero que sobrevive sólo cuando contribuye a armar la "figura" de ese espacio (ecosistema); la naturaleza como soporte ofrece numerosos "espacios" para una misma pieza de rompecabezas, y los arreglos y desarreglos dependen del movimiento de las piezas (64). En fórmula:

$$A = f(\text{ib, ia, gd, cd, s, v, de, l, t})$$

Una especie cualquiera y sus operadores, los individuos, se "fija" allí donde sus ofertas y demandas coinciden con las ofertas y demandas del ecosistema. Esta es la base con la que se han construido los sistemas ecológicos. Cada ecosistema es el resultado de este juego, donde el conjunto de especies que se adaptan entre sí y con el ambiente le confieren determinados valores de ajustabilidad, esto es, de adaptación a los cambios alo y autogénicos. Evolutivamente los ecosistemas han eludido el desarrollo de sistemas centralizados de gobierno (no hay presidentes ni parlamentos); la administración ecológica natural se hace por prueba y error, con "piezas de rompecabezas" que se mueven, prueban, sobreviven o desaparecen.

Existe así un nivel de ajuste a los cambios que se logra con el material genético y la información cultural existentes, ello gracias al "rompecabezas biológico", y un segundo nivel que se consigue con mutación. Especies como el paraíso, *Melia azedarach*, son muy interesantes. Es oriunda de ecosistemas

asiáticos, pero penetró exitosamente en el ecosistema del Espinal, por ejemplo en el Parque Nacional del Palmar. Era una "pieza de rompecabezas" que llegó desde la matriz asiática y pudo hallar un espacio adecuado en la matriz argentina. Hoy es vista como una plaga y sus ejemplares son meticulosamente aserrados por los Guardaparques, pero se trata, quizás, de una "nueva" especie para el Espinal. Todo ecosistema sólo está cerrado para quien no tiene las llaves de la supervivencia, y esa llave no es exclusiva, por cierto, de quienes lo habitan (64).

Los ecosistemas ajustables

Redes alimentarias y flujo de energía

La energía entrante a un ecosistema, ya sea radiante (Sol) o química (materia orgánica de importación) mantiene las cadenas de alimento o redes tróficas, esto es, la serie de organismos vivos relacionados por el acto del "comer y ser comidos". Las cadenas alimentarias contienen: (a) Un nivel trófico o alimentario "P" (estrato autotrófico), llamado de los productores primarios. Por ejemplo, la arboleda y los pastizales de una sabana; (b) Un nivel trófico "C1", llamado de los consumidores primarios o herbívoros.

Por ejemplo, los insectos fitófagos (comedores de plantas) en un bosque, o las vacas en un campo ganadero; (c) Un nivel trófico "C2" llamado de los consumidores secundarios o "carnívoros de primer orden". Por ejemplo las culebras y los osos hormigueros que devoran insectos fitófagos; (d) Un nivel trófico "C3", llamado de los consumidores terciarios o "carnívoros de segundo orden". Por ejemplo las aves

que se comen a las culebras del ejemplo anterior, o los mamíferos que pudiesen preñar sobre los osos hormigueros, y (e) Un nivel trófico anexo "D", llamado de los descomponedores. Son los encargados de atacar el protoplasma muerto o los productos de desecho de todas las formas vivas, y de transformar estructuras y moléculas complejas en moléculas simples. Por ejemplo hongos y bacterias desintegradores, pero también organismos mayores (2).

En un ecosistema ajustable las cadenas alimentarias no suelen ser lineales ni tampoco tan simples como lo expuesto más arriba. Es común que una especie pertenezca a varios niveles tróficos; el hombre -por ejemplo- actúa como herbívoro al comer pan de centeno o lechuga, y como carnívoro al consumir carne de vaca o pescado. Esto complica notablemente las relaciones del sistema, a punto tal que es más apropiado hablar de "redes", "mallas" o "tejidos" alimentarios (2).

Las plantas verdes captan la energía solar y fabrican materiales vivos con sustancias inorgánicas (fotosíntesis). De dicha conversión -energía radiante transducida en energía química- resulta una "Producción Primaria Bruta" o PPB. Parte de este producto, un 50%, se destina al automantenimiento de las plantas verdes (respiración) y el resto, conocido como "Productividad Primaria Neta" (PPN) al sostén de los restantes niveles alimentarios (heterótrofos). Los integrantes de esta última serie -herbívoros, carnívoros, descomponedores- viven a expensas de los autótrofos y de su PPN, sin excepción. De algún modo los consumidores actúan como parásitos obligados de los productores (2).

La energía fluye a lo largo de la red y se disipa en cada paso del "comer y ser comido". La vida, gastando energía de alto y mediano orden (la contenida en la molécula adenosín trifosfato por ejemplo, ATP) logra "extraer" el desorden de sus estructuras y mantener así la condición de entropía negativa. Entre las tareas de alto costo que deben desplegar los organismos desde hace millones de años está la de sobrevivir en una atmósfera oxidante. Usando un criterio general introducido por Slobodkin, digamos que de nivel en nivel trófico la pérdida durante cada transferencia es del 90%, lo cual equivale a una eficiencia baja del 10%. Por ejemplo: si hay disponibles 1.000 kcal para "n" superficie/volumen y "n" tiempo en el estrato autotrófico (PPN), los herbívoros sólo asimilan 100 y los carnívoros -que se comen a estos últimos- apenas 10 kcal. Esta ineficiencia reduce la extensión de las cadenas alimentarias a 4 ó 5 eslabones (2).

Una forma gráfica, la pirámide energética, nos permite ubicar mejor estos criterios. Describiremos para ello los resultados ya clásicos de un estudio realizado por H.T. Odum en Silver Springs (Estados Unidos). En la base de la pirámide -donde se representa a los productores- se obtienen 20.000 kcal/m².año a partir de la conversión de energía radiante en energía química vía fotosíntesis. Un poco más de la mitad de esta producción bruta se gasta en respiración (para bombear el desorden) y el resto queda disponible como producto neto (PPN). El segundo peldaño de la pirámide, ubicado por encima del correspondiente a las plantas verdes, engloba a los herbívoros. Estos sólo asimilan unas 3.000 kcal/m².año, de

las cuales algo más de la mitad se disipa como respiración y el resto queda como producción neta (producción secundaria neta). En el tercer escalón, hacia arriba, los carnívoros del primer orden asimilan unas 400 kcal/m².año; de ese total 3/4 partes se gastan en respiración y 1/4 parte queda como producto neto. En el cuarto y último escalón están representados los carnívoros de segundo orden. Ellos sólo asimilan unas 20 kcal/m².año, 2/3 de las cuales se gasta en respiración, quedando el resto como producción neta (54) (2).

Esta pirámide refleja estrictamente los principios de la termodinámica. La energía, desde dónde se capta en la base hasta su vértice, se disipa gradualmente en forma de calor (energía de bajo orden). Aunque también puede utilizarse para representaciones piramidales el peso vivo o biomasa y el número de individuos; ambas exageran el papel de los grandes herbívoros y carnívoros (pirámide de biomasa) o de los pequeños organismos (pirámide de los números). La energética, en cambio, siempre muestra un mismo tipo de estructura, que se estrecha inexorablemente hacia arriba, hacia la región de los consumidores finales (2) (27).

Desde el punto de vista de la energía ingresante a los ecosistemas ajustables o balanceados, los hay de dos tipos fundamentales. Aquellos dónde predomina el ingreso químico (materia orgánica importada) y aquellos donde predomina la utilización directa de la entrada radiante (energía solar). El primer caso se da, por ejemplo, en algunos lagos y cavernas, y a otro nivel, en la mayor parte de los ecosistemas urbanos (2). En estos últimos predominan

los heterótrofos junto a un “stock” poco significativo de autótrofos (plantas verdes). En el manantial de Root Springs por ejemplo, Teal midió una entrada de energía química -detritos- 3 veces superior al ingreso energético por vía fotosintética, esto es, 2.350 contra 710 kcal/m².año respectivamente (72) (2).

Obviamente los ecosistemas “heterotróficos” son particularmente sensibles a las alteraciones de los ecosistemas que les proveen energía química y materiales. Si un lago pequeño tiene cadenas alimentarias dependientes de un bosque periférico cuyos residuos aprovechables caen al agua, sufrirá fuertes disturbios cuando este bosque desaparezca por completo. Tal consideración es extrapolable a otros tipos de ecosistemas, como por ejemplo los consumidores que ha construido el hombre (ciudades, metrópolis, conurbanos, megalópolis). Cuando se producen “cuellos de botella” en el suministro de energía y de materiales que provienen de otros sistemas ecológicos -en particular agroecosistemas- pueden entrar en crisis e incluso colapsarse (2).

Desde el punto de vista del flujo de energía y de sus vías de paso, podemos distinguir también dos tipos principales de ecosistemas. Aquellos donde la mayor parte de la energía captada por las plantas verdes pasa en forma de residuos a los organismos detritívoros, y aquellos donde el flujo mayoritario se transfiere directamente del nivel “P” a la cadena del pasto (planta viva-herbívoro-carnívoro) (2).

En los ecosistemas de tipo “pasto” existen, entre los autótrofos que fijan la energía y los carnívoros que

se mantienen con ella, un nivel intermedio constituido por las especies herbívoras, comedoras de vegetación no muerta. Un ejemplo de ecosistema donde predomina este tipo de vía es la sabana y numerosos ecosistemas acuáticos. En los ecosistemas de tipo "cadena de los detritos", en cambio, la mayor parte de la energía química almacenada por las plantas verdes se transduce ya muerta (detritos) a los descomponedores y luego al resto de la cadena alimentaria. Las pluviselvas tropicales ejemplifican bien este tipo de ecosistema, ya que se reciclan mayoritariamente en superficie gracias a la tarea asociada de vegetación y descomponedores (2).

Para ejemplificar gráficamente estos dos flujos de energía, Odum introdujo los diagramas en "Y". Las ramas divididas llevan el aporte autotrófico a los dos destinos posibles: por un lado a la serie del pasto (herbívoros, carnívoros) y por el otro a la serie de los detritos (descomponedores, carnívoros) (27) (2).

Ecosistemas ajustables: el nicho ecológico y la biodiversidad

Cada ecosistema tiene muchas especies con sus respectivas poblaciones, distribuidas en los distintos niveles tróficos de la red alimentaria. Semejante diversidad y coexistencia no sería factible si no existiera un mecanismo de aislación ecológica. La "exclusión competitiva", principio fundamental de la ecología contemporánea, cumple este cometido. Cada una de esas especies suele mantener un rol trófico propio que está codificado, por lo general, en sus genes (genoma), y que se ha fijado evolutivamente (2).

En un pequeño ecosistema ajustable o balanceado por ejemplo, todas las plantas verdes ocupan el mismo nivel en la cadena alimentaria (el "P" de los productores primarios). Pero aunque su papel general es similar -captar energía radiante, hacer masa viva con materiales inorgánicos- suelen distinguirse ecológicamente unas de otras. La especie "a" por ejemplo capta la luz en la porción más alta del bosque y la especie "b", en cambio, en la parte más baja. Otra especie "c" en lugar de hallarse fija al suelo emplea como sostén las ramas de otros vegetales, y utiliza los suministros de luz disponibles en su piso. Estos caracteres, por ejemplo, las diferencian. Pero tienen además otras necesidades y demandas, algunas muy generales y otras más o menos exclusivas. Esa oferta ("O") y demanda (D) propias de cada especie define su rol en el ecosistema, rol denominado "nicho ecológico" o "econicho" ("NE"). En fórmula:

$$NE = f(O, D)$$

Cada especie tiene por lo tanto su propio nicho ecológico NE en cada ecosistema. El nicho ecológico de cada especie está definido, según Hutchinson, por "n" variables que conforman un hiper volumen. Entre las variables de oferta "O" se encuentran el dióxido de carbono que produce, su propia biomasa (que puede ser alimento para otros), los residuos líquidos, los residuos sólidos y hasta su superficie o espacios como habitat para los demás organismos. Entre las variables de demanda "D" figuran el alimento que consume, el espacio para vivir, los materiales que requiere para su nido, el oxígeno o la luz. Desde una perspectiva general existe el nicho ecológico de un individuo ("NEi"), el nicho ecológico

de una unidad subpoblacional, una familia por ejemplo ("NEf"), el nicho de cada una de las poblaciones aisladas entre sí que la integran ("NE N1", "NE N2" ... "NE Nn") y el nicho ecológico de la especie ("NE S") (2) (72). Para su medición es posible considerar a la especie, a la población, a la subpoblación, a la familia o al individuo como una caja negra con entradas y salidas de materiales, energía e información (72).

La aislación ecológica ha permitido una diversidad máxima (muchas especies) en un espacio limitado con una "fricción" o competencia mínima. Recordemos que de los ya clásicos experimentos de Gause se desprende que las especies no podrían coexistir si ocupasen el mismo nicho ecológico. Existen sin embargo numerosas superposiciones parciales, toleradas por el ecosistema, que no afectan el armónico funcionamiento del conjunto de especies (2).

Las hormigas cortadoras simpátricas -especies que habitan el mismo lugar- dan un buen ejemplo de cómo, especies próximas han repartido evolutivamente sus papeles para coexistir a bajo costo bélico en un espacio limitado. En el ecosistema del Chaco Serrano de Córdoba, por ejemplo, conviven con más frecuencia tres especies pertenecientes al género *Acromyrmex*. Los trabajos de Bucher & Montenegro demostraron que mientras *A. heyeri* corta monocotiledóneas verdes y *A. striatus* recoge material seco bajo el sol, *A. lobicornis* corta y recoge dicotiledóneas en ambientes sombreados. Esta aislación ecológica hace que la fricción competitiva sea despreciable. Las tres especies citadas, y en general las pertenecientes a los géneros *Atta* y *Acromyrmex*,

usan el material que cortan y recogen -sobre todo hojas, flores y frutos- para mantener hongueras subterráneas de las cuales se alimentan (73).

Cada especie ("S") está asociada por lo tanto con un nicho ecológico determinado ("NE"). Cada especie y su población definen así un nicho que se acomoda al ecosistema (o no), y coevoluciona con los restantes nichos ecológicos. A esta diversidad de especies, característica de cada ecosistema, se la denomina diversidad específica ("ed"). Los otros dos tipos de diversidad son la cultural, "ud" -no genética pero asociada a la diversidad específica, parcialmente asimilable al fenotipo- y la diversidad genética, "td". Esta última define el total de variantes genéticas individuales que hay en cada población (genomas). En una población de una especie dada hay tantos genotipos o genomas como individuos vivos. Cuanto mayor es la población, mayor es el número de genomas disponibles. Dicha variación "V" es producida por recombinación del material genético existente ("R"), deriva genética ("DG"), y mutación ("U"); esta última agrega caracteres novedosos que no estaban presentes en el "pool" previo de genomas (2). En fórmula:

$$V = f(R, DG, U)$$

La diversidad específica ("ed"), la diversidad cultural ("ud") y la diversidad genética ("td") conforman un universo mayor, el de la llamada biodiversidad o diversidad biológica ("B"). La diversidad ecosistémica, ocasionalmente considerada como parte de la noción de biodiversidad, queda excluida. En fórmula:

$$B = f(ed, ud, td)$$

Dado que cada especie está aso-

ciada con un nicho particular, podemos decir que la unidad activa de evolución son los nichos -los nichos coevolucionan- y que esta evolución refleja, a través de los fenotipos, el universo de genomas disponibles.

Los éxitos y fracasos evolutivos de esos nichos ecológicos -resultado de la selección natural- definirán un nuevo universo de genomas, esto es, el nuevo abanico de programas genéticos disponibles.

¿Cómo es el “orden” de la biodiversidad específica al interior de un ecosistema balanceado? Si relacionamos el número de especies de un ecosistema (“S”) con la cantidad de individuos por especie (“N/S”) podemos obtener una curva hueca -en realidad una hipérbola más o menos equilátera (27)-. Esta curva representa la situación en ecosistemas con buen nivel de ajustabilidad como la Selva Paranense en Misiones, el Bosque Subantártico en Chile y la Argentina o los arrecifes de coral en el Pacífico. Su gran complejidad, asociada con cadenas alimentarias largas, aumenta las posibilidades de retroalimentación negativa. Este control de los desvíos no sólo reduce las oscilaciones internas y confiere mayor estabilidad al sistema; dentro de ciertos límites también lo hace más resistente a las invasiones biológicas y otras convulsiones generadas desde afuera (2).

En la curva a que aludíamos, del total de especies presentes un porcentaje relativamente pequeño es abundante (especies dominantes) y un porcentaje superior, por el contrario, es raro o poco frecuente. Esto permite ex-

traer dos conclusiones: la mayor parte del flujo de energía y del ciclo de los materiales suele estar monopolizado por el pequeño grupo de las especies comunes, y la gran cantidad de especies raras (con pocos individuos cada una) suele condicionar la diversidad específica, “ed” (27) (2).

Cuando el ecosistema es controlado por factores predominantemente físicos, baja su diversidad y la curva es más aplanada. Estructuras inestables de este tipo son frecuentes en regiones semiáridas o en ambientes excesivamente contaminados (ríos que se utilizan como cloacas superficiales o cultivos sobretratados con pesticidas). Allí donde los costos de conservación antitérmica son elevados, un desierto por ejemplo, queda menos energía disponible para la diversidad. Casi todos los esfuerzos están centrados en mecanismos que puedan asegurar máxima adaptación (resistencia a la sequía o a la contaminación, mayor poder reproductivo, etc.) (27) (2).

En general una alta diversidad biológica suele asociarse a la mayor estabilidad del sistema. La hiperdiversidad y la mayor densidad ecológica permiten mantener más cómodamente las estructuras y funciones logradas evolutivamente.

Una diversidad menor o mínima, por el contrario, es sinónimo de inestabilidad y escasa resistencia a las crisis. Esto ocurre -por ejemplo- en los agroecosistemas. Resultado de la práctica de simplificación ecológica, esto es, del acortamiento de las cadenas alimentarias y del mantenimiento de biodiversidades mínimas y protegidas, los ecosistemas productivos exigen

elevados costos de mantenimiento. Su destruída estabilidad natural se reemplaza con regadío, variedades vegetales resistentes, plaguicidas y fertilizantes. Como lo indicó muy bien Odum, su supervivencia sólo es posible con subsidios externos de energía (27) (2). Dado que la simplificación continúa destruyendo ecosistemas ajustables, y que sobre sus suelos se expanden la agricultura de subsistencia, la agricultura industrial “sucía” y la urbanización, el capital terrestre de biodiversidad disminuye a ritmo logarítmico.

En el pasado también hubo crisis importantes como las glaciaciones, que se desarrollaron por lo general con cierto gradualismo. La crisis actual en cambio es rápida, acelera lo que Wilson denomina el “sexto espasmo de extinciones masivas” y da muy poco tiempo para los reajustes evolutivos. Aunque la vida y su abanico de genomas resistentes finalmente se reacomoda pagando precios muy altos, como lo hizo a fines del Cretácico, el problema en especies como la nuestra es que para seguir sobreviviendo necesitamos de arreglos ecológicos muy complejos, no tramas vivientes simples.

En un ecosistema ajustable o balanceado las especies raras constituyen un importante caudal genético de reserva que podría darle, eventualmente, nuevas posibilidades de supervivencia. Supongamos que un bioma de bosque queda repentinamente sometido a la anaerobiosis (falta de oxígeno). Como entre el ejército de las especies raras y de las comunes existen muchas que sobreviven en este tipo de ambiente, el ecosistema tiene otra oportunidad

para sobrevivir, aunque con una nueva estructura y funciones. La selección natural parece favorecer ecosistemas balanceados y con alta diversidad, bien adaptados para resistir las condiciones alogénicas hoy dominantes.

Ecosistemas ajustables: ciclo de los materiales

Entre los componentes vivos e inertes de la ecosfera existe un activo intercambio de materiales. Este movimiento es mantenido, básicamente, por la corriente de energía que circula a través de las cadenas alimentarias. De toda la Tabla Periódica de los elementos de Mendeleev, hasta el uranio, los organismos vivos actuales utilizan aproximadamente la mitad; algunos son empleados en grandes cantidades como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno, y otros en cantidades moderadas o mínimas, como por ejemplo el vanadio. Cada uno de esos elementos cumple ciclos más o menos definidos en la biosfera. Para abordar su análisis es conveniente dividir cada ciclo, o disponibilidad total de un elemento dado, en dos compartimentos: el pozo depósito y el pozo de intercambio (27). El primero se halla más o menos alejado de los organismos, como sucede con los depósitos fosfáticos semienterrados, mientras que el segundo -la parte activa- va de los autótrofos a los heterótrofos y de éstos nuevamente al depósito. Esto sucede con el fósforo “móvil” (2).

Tomando como base la organización de la ecosfera, es posible dividir los distintos ciclos biogeoquímicos en dos grupos fundamentales: los tipos gaseosos cuyo depósito está en la atmósfera o en la hidrosfera, y los

tipos sedimentarios con depósitos en la litosfera.

Cada ciclo tiene una cierta capacidad para amortiguar las perturbaciones; esta capacidad es mayor en los ciclos del carbono, nitrógeno y oxígeno -a causa del gran depósito atmosférico- pero menor en ciclos sedimentarios como los del fósforo o del hierro (27). Lamentablemente las revoluciones industriales y las culturas humanas de alto consumo han acelerado excesivamente el movimiento de materiales. Una buena parte es descartada e inmovilizada en los asentamientos urbanos, donde la demanda continúa e incluso crece, provocando altas tasas de extracción en los ecosistemas proveedores. Este despilfarro, cuyas primeras consecuencias se advierten en sustancias críticas, está tornando acíclicos los ciclos más estables. Hay exceso de algunos elementos y escasez en otros. El caso más dramático es el del dióxido de carbono, por cuanto su producción -desbalanceada con la quema de combustibles fósiles que lo aprisionaron durante millones de años- supera visiblemente la capacidad de los ambientes naturales para fijarlo. Baja aceleradamente el "stock" vivo (árboles por ejemplo) y merma geométricamente la capacidad oceánica de amortiguación, lo cual provoca una megaconcentración atmosférica de CO₂. Esta molécula, asociada con otros gases como el vapor de agua y los clorofluorocarbonos, incrementa el efecto invernadero.

Los ecosistemas ajustables o balanceados, por ejemplo, deben soportar un exceso de residuos prácticamente indigeribles -como los plásticos o el

plutonio 239- y la sobrecarga de compuestos "conocidos" como los fosfatos y nitratos, e incluso las alteraciones climáticas derivadas del efecto invernadero. La eutrofización cultural de ríos y lagos es consecuencia precisamente del vuelco descontrolado de líquidos cloacales y aguas de escorrentía contaminadas con abonos fosfatados, nitrogenados y restos de incendios. Un equivalente de la simplificación de bosques balanceados con cultivos industriales se produce en las aguas cuando la contaminación orgánica e inorgánica crece exageradamente. Disminuye la ecodiversidad general y el sistema se hace peligrosamente frágil.

La magnitud de estos movimientos de materiales depende de un complicado juego entre reacciones físico-químicas y biológicas. Durante la evolución terrestre la cantidad y calidad de los ciclos debió ajustarse a las posibilidades reales de ecosistemas y organismos para traficar, movilizar e incluso aislar elementos. Es muy posible, incluso, que la evolución haya ido incorporando progresivamente más y más sustancias elementales. Los ciclos continúan siendo uno de los mecanismos más importantes para el mantenimiento de la vida sobre el planeta. Neguentropía y ciclos están indisolublemente ligados. Pero si la estrategia de coexistencia con los ciclos se quiebra, como está sucediendo en la actualidad, la supervivencia humana y la de muchas otras especies se vuelve difícil.

Ecosistemas ajustables: regulación y evolución

Los ecosistemas ajustables, al igual que sus poblaciones y organis-

mos, pueden, dentro de límites bastante generosos, autoconservarse y autorregularse. Mediante mecanismos homeostáticos adquiridos por prueba y error (evolución), cada sistema puede resistir el cambio y mantener intacta su capacidad de ajuste.

Utilizan para ello un control que funciona en base a retroalimentación o "feed-back".

Para el desarrollo y supervivencia de las poblaciones es indispensable una retroalimentación positiva que acelere los desvíos y un control, la retroalimentación negativa, que los contrarreste (27). Los ecosistemas, montados evolutivamente con piezas poblacionales vivas y piezas abióticas, siguen aproximadamente este mismo modelo. Si bien la ecosfera comprende toda la película superficial de la Tierra, y se mantiene con mecanismos homeostáticos generales, existen ecosistemas de menor tamaño cuya homeostasis es semiautónoma. Esto permite la coexistencia de unidades ambientales que si bien están conectadas entre sí, pueden llegar a funcionar aisladamente "n" tiempo, aun cuando las unidades vecinas hayan sido totalmente destruidas. Este mecanismo ha permitido la supervivencia de la vida organizada pese a las glaciaciones y otros disturbios. Cada ecosistema semiautónomo no sólo puede sobrevivir, sino que actúa, incluso, como principio "cicatrizante" y radiador de nuevas conquistas ecológicas. Lamentablemente no conocemos para todos los ecosistemas cuál es su volumen y densidad ecológica "críticas", esto es, hasta dónde puede disturbárselos sin que pierdan su capacidad de recuperación y reconquista. Lo más probable es que tengan gradientes complejos, no límites

absolutos y definidos, y que a menor volumen y densidad ecológicas la recuperación y supervivencia sea más lenta y difícil. Las investigaciones de Wilson sobre la biogeografía de islas refuerzan indirectamente este modelo.

Hoy resulta evidente que la especie humana está escapando -transitoriamente- a los mecanismos de control. Muchos aspectos de su cultura -falta de planeamiento, consumo irracional de recursos, producción desmedida de residuos tóxicos, guerras- evidencian un exceso de retroalimentación positiva. Estos desvíos están alterando así, muchas veces de forma irreversible en tiempos humanos, la capacidad de los ecosistemas para mantenerse como autoajustables. Sólo la retroalimentación negativa urgente y masiva podrá revertir este proceso de simplificación y descontrol.

La difusión de conceptos ecológicos, el uso de tecnologías reciclables y la legislación ambiental son ejemplos de retroalimentación negativa (2).

Cuando los ecosistemas que hemos clasificado como ajustables mantienen volúmenes y densidades ecológicas mínimas suelen ser más resistentes y estables. El mismo mecanismo que permite el avance del ecosistema sobre ambientes "nuevos" (conquista, o usando terminología clásica para los ecosistemas terrestres, sucesión primaria), permite reparar destrucciones parciales que se hayan producido en su interior. Los vaciamientos provocados por una explosión sobre la superficie de un lago o por un incendio en un ecosistema de bosque pueden ser reparados vía reconquista o sucesión secundaria.

En este caso las especies más resistentes del ecosistema, especies pioneras, invaden primero el área disturbada y van creando condiciones propicias para las sucesivas oleadas de especies conquistadoras hasta que se reconstituye una estructura ecológica similar a la preexistente. En el ecosistema de la Provincia Antártica sus bosques fríos tienen especies pioneras recias, como la caña colihue, que reconquistan ambientes disturbados. Su equivalente en la Selva Paranense es el ambay, cuyo follaje verde blanquecino y reflectante marca las zonas que están siendo recuperadas.

VARIABLES FÍSICAS COMO LA SEQUÍA extrema y las inundaciones suelen disturbar cíclicamente algunos ecosistemas, produciendo mortandad en sus poblaciones, daños y simplificación en sus estructuras. Con tiempo y sucesión secundaria -lateral desde las porciones intactas, vertical desde la "información" edáfica- vuelven a reconstituírse. En muchos casos el ecosistema está adaptado a estos cambios y adquiere un comportamiento pulsátil. Ello sucede por ejemplo en el ecosistema de Bosque Chaqueño en Argentina, que "pulsa" tras inundaciones y fuego con pastizales, o la Sabana del este de África, también regulada por el fuego. Ambos arreglos ecológicos han "internalizado" sus propios dispositivos de supervivencia, adoptando evolutivamente -por ejemplo- especies resistentes al fuego y al agua, o especies con poblaciones retráctiles que les permitan enfrentar exitosamente los disturbios cíclicos y predecibles. Dentro de ciertos límites estos mismos mecanismos sirven también para sobrellevar disturbios impredecibles, como la tala para

expansión de fronteras agropecuarias o la praderización de zonas forestales.

Si las "heridas" ambientales no son demasiado graves ni profundas, la autocicatrización ecológica permite algún tipo de reconquista.

En 1991 introdujimos el concepto de memorias ecológicas para poder describir el poder de cicatrización de los ecosistemas terrestres. Las memorias ecológicas ("M") incluyen obviamente a los propios organismos (cuyas especies pioneras son la avanzada de la cicatrización), a la atmósfera (que mantiene una cierta estructura y composición química, memoria atmosférica "MA"), y al suelo (que mientras no sea violentamente disturbado en profundidad conserva una cierta estructura, compuestos químicos y organismos, memoria edáfica "ME"). Al producirse destrucción en superficie (decapitación del ecosistema), la reconquista es lateral vía especies pioneras y "desde el subsuelo" gracias a la memoria edáfica, que incluye fauna, microorganismos, semillas viables y complejos de raíces y tallos que pueden crecer nuevamente.

El tipo de suelo que desarrolló cada ecosistema durante cientos a miles de años puede ser fundamental para los procesos de cicatrización ecológica; actualmente se considera que existen en la Tierra unos diez órdenes de suelos y por lo menos siete mil series distintas. Su particular organización -memoria edáfica, ME- puede ser pobre como en los Entisoles, que son suelos inmaduros, o más compleja, como en los Spodosoles de los bosques fríos. En nuestro país los suelos tipo Molisol de la estepa Pampeana, ricos en materia orgánica,

horizontes y formas vivas, tienen una alta capacidad de almacenamiento de información biológica y abiótica -mayor "memoria"- mientras que Oxisoles como los misioneros, rojos, antiguos e intensamente meteorizados, casi sin horizontes, apenas disponen de "memoria": de allí que la Selva Subtropical Paranense, que crece sobre ellos, se recicle mayoritariamente en superficie. Cuando la vegetación del ecosistema se decapita con roza y fuego, la mayor capacidad de "memoria" de los Molisoles por ejemplo asegura una recuperación más rápida.

Mientras que en los suelos lateríticos -Oxisoles- la mayor parte del carbono orgánico está en las plantas vivas, en los Molisoles e Histosoles está acumulado mayoritariamente dentro del suelo. Es como si en la estepa Pampeana el bosque fuera "subterráneo".

Aunque tradicionalmente se ha utilizado el término climax para designar un supuesto estado de máxima diversidad y estabilidad de los ecosistemas balanceados, su existencia real está cuestionada (2). Los ecosistemas alcanzan el volumen y densidad ecológicas que les permiten las condiciones tanto internas como externas y no tienen estados absolutos ni definitivos. Su propia evolución y la de ecosistemas vecinos genera permanentemente turbulencias que van desde la mutación de genes al interior de un individuo hasta la aparición de nuevas especies o la modificación sustancial del arreglo ecológico. Despliegan así una estrategia en "piezas de rompecabezas", donde el juego entre las especies que logran entrar, las locales que cambian y aquellas que desaparecen, y entre todas éstas y

el ambiente, crea constantemente nuevos estados y combinaciones.

Esos estados pueden ser fisonómicamente similares en tiempos sucesivos $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$, o pueden mostrar diferencias notables. En el ecosistema de Chaco Serrano en Córdoba, por ejemplo, sus bosques de "coco" (*Fagra coco*) y "molle" (*Lythraea molleoides*) sufren la explosión poblacional del "clavel del aire", *Tillandsia* sp. Cada vez más árboles y arbustos están cubiertos por esta epífita que produce daños mecánicos sobre ramas y reduce por obstrucción el ingreso de luz y la fotosíntesis. Aunque no se ha demostrado experimentalmente cuál es la causa, creemos que está ligada a una mayor disponibilidad atmosférica de nutrientes (154) y al cambio climático global (CCG). En promedio la temperatura de la Tierra creció desde 14.9 grados centígrados en 1970 a 15.3 grados en la década de 1990. El sobrecalentamiento está modificando el clima y habría influenciado la corriente del Niño.

Esta última, conocida por su sigla ENOA -El Niño Oscilación Austral- es un fenómeno cíclico que se registra en el Océano Pacífico. En esa zona se produce un calentamiento transitorio de las aguas superficiales y se atenúan o incluso invierten los vientos alisios. El sobrecalentamiento terrestre y el CGC habrían hecho durar más tiempo la anomalía. Empezó en agosto de 1991 y debió finalizar en 1992. Pero la temperatura del océano Pacífico recién comenzó a normalizarse en 1993. Durante este siglo la anomalía del Niño nunca duró tanto tiempo. Es parcialmente responsable de la mayor

sequía en Indonesia, Australia del norte, África oriental y nordeste del Brasil, y ha incrementado las lluvias en la franja occidental de América del Sur. Córdoba habría sufrido sus efectos. Hubo un récord de 117 días sin lluvia en 1993, y sus medias de precipitación crecieron, según datos de Ediberto Moliner, de 742 milímetros en 1983 a 840 milímetros anuales en 1992. Esta alteración, poco perceptible para el ser humano, estaría provocando cambios en la dinámica interna de los ecosistemas, y el “clavel del aire” sería una de esas consecuencias (74).

Un ecosistema cualquiera sufre por lo tanto cambios permanentes, usualmente sutiles, y muestra en su interior distintas variantes que no necesariamente desembocan en el estado más complicado y tradicional.

Del mismo modo que existe un mecanismo programado de muerte en los individuos de las especies vivas, es posible inferir que, quizás, funcione un mecanismo equivalente, no genético directo, en los propios ecosistemas.

Verdaderos superorganismos, los ecosistemas tienen su edad -que supera en miles de veces las máximas edades de los organismos vivos conocidos- y probablemente también una muerte semiprogramada, más difusa y no tan clara como las muertes individuales. Ello permitiría que sus ecosistemas “hijos” sobrevivan o sucumban ante los cambios del ambiente general. Estos “hijos” se desarrollan al interior del ecosistema ocupando porciones más o menos extensas. Algunos, la mayoría, reproducen las organizaciones ecológicas antiguas; otros son recombinacio-

nes novedosas de especies y ambientes. La selección natural, que actúa sobre el conjunto -desde individuos hasta ecosistemas- aprobará las estructuras mejor adaptadas a las condiciones dominantes. Podemos ejemplificar esta hipótesis con el bosque Chaqueño de Argentina; si la gran región del Chaco semiárido sufre un corrimiento general hacia la mayor humedad, sus porciones orientales mejor adaptadas a esta condición -un “hijo” del ecosistema- tendrán altas probabilidades de supervivencia y se expandirán. Hasta puede hacerse minoritaria en superficie y volumen ecológico la vieja estructura, e incluso “morir” ecosistémicamente.

Actualmente, como lo describimos en el punto siguiente, ecosistemas de alta biodiversidad sucumben ante ecosistemas urbanos y agropecuarios. Pese a esta victoria transitoria de la simplificación, muchos ecosistemas ajustables están conquistando ambientes donde las condiciones físicas y químicas hacían difícil el asentamiento de vida organizada. Este avance puede observarse muy claramente en las Salinas Grandes que comparten las provincias de Córdoba, Santiago del Estero y Catamarca. El bosque chaqueño ocupa lentamente las salinas precedido por avanzadas salino-resistentes, los “jumeales”. Mediante fotografía aérea es posible advertir los anillos internos de conquista (los jumeales) y los anillos externos de bosque semiárido rodeando la gran isla de sal (2).

Ecosistemas ajustables: noción de ecodiversidad. Desaparición de especies

El criterio de biodiversidad es insuficiente para definir los distintos tipos

de diversidad que coexisten al interior de un ecosistema. Es por ello que introdujimos la noción de ecodiversidad durante la reunión internacional sobre biodiversidad y legislación ambiental que organizó en 1991 la UICN (Palacio de la Paz de La Haya, Holanda) (80). La ecodiversidad, diversidad ecológica, o diversidad de ecosistemas "E" resulta de la interacción entre tres sistemas: la geodiversidad ("gd"), la diversidad climática ("cd") y la diversidad biológica ("bd"). En fórmula:

Ecodiversidad, $E = f(gd; cd; bd)$

Geodiversidad

La geodiversidad "gd" incluye todos los soportes estructurales de la vida, como por ejemplo atmósfera, hidrosfera, litosfera y sus componentes de menor escala (estructuras geológicas, estratos, compuestos químicos). Es función de cuatro subdiversidades principales: (a) diversidad topográfica o topodiversidad ("pd"), que describe los geomorfismos de las superficies de contacto entre litosfera-atmósfera, litosfera-hidrosfera e hidrosfera-atmósfera; (b) diversidad biotópica o biotopodiversidad ("bpd"), que representa la compleja oferta en microambientes de los organismos vivos -tomados como soporte, el tronco de los árboles por ejemplo- y sus estructuras o productos, como los arrecifes de coral, los grandes nidos de termitas y las viviendas humanas; (c) diversidad química o quimiodiversidad de los soportes atmósfera, hidrosfera, suelo y litosfera ("qd"); incluye su composición química, orgánica e inorgánica; (d) diversidad de estructura de las matrices, por ejemplo estratos de la atmósfera y de un lago, u horizontes de los suelos ("md") y, finalmente, (e) diversidad de

las características de flujo y persistencia de las matrices, como por ejemplo regularidad hídrica, regularidad de ascenso y descenso de mareas o variación diaria de las capas de inversión térmica de la troposfera ("jd"). En fórmula:

Geodiversidad, $gd = f(pd; bpd; qd; md; jd)$.

La geomorfología de detalle de las tierras emergidas continentales e insulares ("pd") es una componente básica de los ecosistemas, por cuanto resume la "oferta" en soportes con distinto relieve, pendiente u horizontalidad. Los ecosistemas del norte de Israel, en Galilea, suelen tener por ejemplo roquedales intraerosionados (rocas con cavidades) que ofrecen nutrientes y abrigo para numerosos organismos. Esta variante de la superficie aumenta así la disponibilidad de sitios para la vida (81). Cuando el ecosistema balanceado se ha desarrollado sobre una particular diversidad topográfica del terreno, esta es una variable de importancia para la supervivencia del conjunto; la tendencia del ser humano a rellenar pantanos, aplanar relieves e incluso simplificar cuencas hídricas completas disminuye esa oferta y amenaza la integridad de numerosos ecosistemas. Los violentos disturbios ambientales provocados entre 1951 y 1959 por las obras de canalización en el Hula Valley, al norte de Israel, son un claro ejemplo de esa estrategia simplificante. Sólo recientemente, en 1964, comenzó una revisión de las obras para impedir que desaparezcan ecosistemas únicos y se creó la Reserva de Hula, y en 1971 la Nature Reserve Authority lanzó su plan de recuperación del viejo mar y de los pantanos (81).

Diversidad climática

La diversidad climática “cd” suele referirse casi exclusivamente a los ecosistemas terrestres y en forma tangencial a los acuáticos. Estrictamente, esta diversidad es mensurable en todos los tipos de ambiente. Es función de: (a) diversidad climático-atmosférica en las interfases relieve terrestre-atmósfera, “relieve” acuático-atmósfera y ecotono acuático-terrestre; sus variables clave incluyen radiación solar, temperatura, humedad relativa, presión del aire, dirección e intensidad de los vientos y precipitación (“dca”); (b) diversidad climática de los suelos, íntimamente asociada al universo anterior en los ecosistemas terrestres (“dcs”), y (c) diversidad “climática” de las aguas, donde -por ejemplo- los vientos de superficie tienen su equivalente estructural en las corrientes marinas. En el “clima” acuático variables clave son, por ejemplo, la presión del agua, la temperatura y el ingreso de luz solar (“dcq”). En fórmula:

Diversidad climática, $cd = f(dca; dcs; dcq)$.

En la interfase del relieve terrestre y la atmósfera cada ecosistema balanceado tiene diferentes microclimas. Si se trata de un ecosistema bajo y de escaso volumen como el de la Estepa Patagónica, con vegetación arbustiva y en “cojín”, su disponibilidad de microambientes (biotopodiversidad, “btp”) y microclimas es menor que en un ecosistema 40 a 60 veces más alto y de mayor volumen como el Paranense. En este último la selva ha conquistado el espacio aéreo con una maraña de troncos rígidos que elevan las copas fotosintéticas a diferentes alturas, lo cual crea innumerables subuniversos climáticos (microclimas). Estos ecosis-

temas, por otra parte, ya sean bosques calientes o bosques fríos, amortiguan mejor las condiciones climáticas extremas.

Diversidad biológica

La diversidad biológica o biodiversidad “B” incluye la disponibilidad u oferta biótica de la Tierra, que comprende unas 30.000.000 de especies y sus respectivas poblaciones. Su fórmula, descrita precedentemente, incluye las variables diversidad específica “ed”, diversidad cultural “ud” y diversidad genética “td”.

(i) La diversidad específica “ed” mide la cantidad de especies vivas (ver el punto sobre biodiversidad), mientras que la diversidad genética “td” es igual al número de individuos (genomas individuales) que tiene cada una de esas especies. A mayor número de individuos, mayor es la diversidad teórica de genomas. La relación no es sin embargo estrictamente lineal. Cuando asociamos el número de individuos de una especie con la distribución de esos individuos sobre el mosaico actual de ecosistemas, conformamos el criterio de diversidad ecogenética. Presuponemos para ello que el juego evolutivo ha favorecido los genes más adaptados a cada uno de esos ambientes. Esta aproximación es muy interesante. Cuando la población de una especie cualquiera se distribuye sobre cinco distintos tipos de ecosistemas, y en cada uno de ellos hay ajuste de los individuos al entorno, su valor de diversidad ecogenética es alto; cuando esa misma población ocupa un único ecosistema homogéneo, dicho valor es bajo.

La evolución del poblamiento humano en la zona centro de Argen-

tina ofrece un caso típico. Previo a la colonización hispana, el Chaco Serrano estaba habitado por indígenas Comechingones, y el Chaco de Llanura del norte de Córdoba y el Espinal por Sanavirones. Ambas poblaciones tenían sus propias diversidades ecogenéticas. Pero el número de individuos no era alto, sobre todo porque sus sistemas productivos tenían aparentemente pocos excedentes. Desaparecidos tras la invasión hispana, fueron reemplazados por poblaciones de raza Mediterránea que introdujeron las revoluciones agrícolas e industriales de gran escala, aumentando los excedentes agrícolas y favoreciendo el crecimiento demográfico. Aunque las nuevas poblaciones europeas superaron en número las antiguas poblaciones indígenas, es muy posible que la diversidad ecogenética -importante durante la fase precolombina- haya disminuído (?). Desde esta perspectiva toda extinción de grupos indígenas es una tragedia genética y evolutiva, por cuanto elimina información quizás útil para la supervivencia del conjunto. Aunque el tema tratado aquí requiere de mayor discusión y datos experimentales, es evidente, a priori, que una subpoblación que convivió en el mismo ambiente por varios miles de años, y lo sobrevivió exitosamente, tenía genotipos bien adaptados.

(ii) La diversidad cultural ("ud") asume distintas características en diferentes especies vivas. La "cultura" es toda información endosomática y extrasomática que codifican los seres vivos, y que no se transmite hereditariamente. Mientras que los genes no transmiten caracteres adquiridos, la cultura -un fenómeno típicamente Lamarckiano- se alimenta precisamente

con este mecanismo.

La cultura, "C", tiene valores generalmente acotados y mínimos en especies donde los programas de conducta están fuertemente influenciados por los genes, como en los insectos. Una obrera de hormiga cazadora "tiene" cultura, esto es, su sistema nervioso aprende -por ejemplo- las características físicas de su territorio. Pero su patrón de comportamiento es tan rígido, y la capacidad de desarrollo cultural tan pequeña, que el modelo de conducta se repite casi sin cambios generación tras generación. La dimensión cultural comenzó a tener más importancia en los mamíferos, y dentro de éstos, entre los Primates. La adquisición evolutiva de la neocorteza le permitió al ser humano incrementar logarítmicamente el ingreso, el almacenamiento y la transmisión de información endosomática no hereditaria. A medida que el proceso evolutivo humano prosiguió, la revolución de la neocorteza fue complementada con la revolución del metabolismo externo, esto es, con utensilios, objetos, símbolos gráficos, escritura, libros, bibliotecas y computadoras. Cada grupo humano fue desarrollando así, en activa interacción con su ambiente, un "pool" de genomas y un "pool" asociado de culturas individuales y colectivas (los fenotipos o fenomas). A la información endosomática se le agregó la cada vez más importante y cuantiosa información exosomática (119). En consecuencia no sólo existe una diversidad de genomas ("td"), sino también una importante diversidad de culturas individual/colectivas ("ud"). Desde un punto de vista evolutivo y de nuestra propia supervivencia, a la tragedia que implica la pérdida de grupos indígenas de nuestra mis-

ma especie, que desaparecen junto con genes quizás vitales para alguna contingencia, la extinción de culturas implica el “borrado” definitivo de conocimientos, pautas de convivencia, sonidos y memorias, tan importantes como los mismos genes.

Otro criterio importante, equivalente al de diversidad ecogenética o ecogénica, es el de diversidad ecocultural (“eud”). Cuanto mayor es el número de individuos de una especie dada, mayor es el contenido de información cultural. Pero si este universo de personas vive en un único tipo de ecosistema, es predecible que su diversidad cultural sea menor que la de esos mismos individuos y de esa misma especie distribuidos por ejemplo sobre cuatro distintos ecosistemas. Entre los muchos problemas que derivan de la actual concentración urbana figura la homogeneización de los patrones culturales y la menor “fricción” o interacción con ecosistemas balanceados e incluso productivos. Esto reduce las posibilidades de ajuste hombre-naturaleza, y hasta explica -siquiera en parte- la pasividad con que se acepta la destrucción masiva de ecosistemas extraurbanos.

3.9.5.4. Extinción masiva de especies

La extinción de especies es un fenómeno evolutivo asociado a la que permite, en general, la supervivencia de nuevas especies más adaptadas. Lamentablemente, los procesos de extinción también suelen arrastrar especies que habían desarrollado un buen ajuste con el ambiente. La naturaleza, que produce con frecuencia “malos prototipos” debe pagar precios

a veces muy caros. La especie humana es uno de esos prototipos fallados o por lo menos con grandes problemas. Esto se desprende del análisis de sus sociedades durante los últimos 300-400 años, y del tremendo impacto que se generalizó a partir de la primera revolución industrial y de la segunda revolución energética. Ha comenzado así, en pleno siglo XX, un ecocidio a gran escala que simplifica ecosistemas, crea desiertos y extingue especies que nunca clasificamos. En este proceso, ¿existen extinciones más graves que otras?

Las especies son modelos a prueba con combinaciones de caracteres (geno-fenomas) que varían desde una total exclusividad -por ejemplo familias, géneros y especies con “modelos” morfológicos apenas compartidos por unas pocas especies- hasta “modelos” que se repiten con variantes mínimas en cientos o miles de especies.

¿Es importante para el proceso evolutivo conservar esas familias, géneros y especies con caracteres únicos? La respuesta no es sencilla, por cuanto la misma especie que hoy es un presunto “relicto”, aparentemente poco adaptado, puede ser la especie dominante cuando ocurran cambios ambientales en el futuro. Conservar estas rarezas es quizás un mecanismo adaptativo tan necesario como difícil de mantener. Sus genes son colecciones de respuestas para preguntas que en muchos casos todavía no se han formulado, o que quizás nunca se formulen.

La característica saliente del actual espasmo de extinciones es su velocidad. La destrucción de las selvas tropicales es una de las vías indirectas

para estimar esta desaparición de especies, ya que se puede aplicar la fórmula general: Z

$$S = C A$$

Donde "S" es el número de especies, "A" es la superficie donde la especie vive, y "C" y "z" son constantes que varían de un grupo de organismos a otro, y según los lugares (61). Según Wilson, para calcular la tasa de extinción de especies la variable "C" puede ser ignorada; "z" es lo que cuenta. En la gran mayoría de los casos el valor de "z" cae entre 0.15 y 0.35. El valor exacto depende del tipo de organismo que se considera y del hábitat en el cual se lo encuentra. Cuando las especies tienen una alta capacidad para dispersarse de un lugar a otro, "z" es pequeño; las aves tienen un valor de "z" pequeño y los caracoles de tierra y las orquídeas, por ejemplo, un valor de "z" alto. Cuanto mayor es "z", mayor será la probabilidad de que las especies con esta característica desaparezcan al ser destruido su hábitat (61).

En 1989 se destruyeron 142.200 km² de selva tropical a una tasa promedio de 27 ha por minuto (82). Esto implicó una declinación, para el conjunto combinado de selvas de lluvia del 1.8% por año, valor que puede ser razonablemente asumido para la década de 1990. Con el valor típico de "z" de 0.30 el área reducida cada año podría reducir el número de especies en un 0.54% por año, mientras que con $z = 0.35$ la extinción crece al 0.63%. Wilson, tomando deliberadamente cifras muy conservadoras, esto es, un valor de "z" mínimo (0.15), descartando invasión y sobrepastoreo, asumiendo un bajo número total de especies de

10.000.000 y atribuyéndoles amplio rango de distribución, calculó la tasa de extinción. Aun con estas precauciones, seleccionadas dentro de un contexto optimista, 27.000 especies desaparecen cada año, lo cual equivale a 74 por día y 3 especies por hora. Las actividades humanas han aumentado así entre 1.000 y 10.000 veces las extinciones que se registraron en el pasado; "claramente nos encontramos, indicó Wilson, en el medio de una de las grandes espasmos de extinción de la historia geológica" (61).

Según Myers (82), que consideró para la tierra un total de 5.000.000 de especies vivientes, 1/5 parte corre riesgo de extinción antes de fin de siglo. Si bien la mayoría de las desapariciones de especies se producirá sin que siquiera las hayamos clasificado, es importante determinar -volviendo al planteo original- cuáles son las desapariciones más graves. A priori podemos definir dos áreas críticas:

(a) Especies que pertenecen a ecosistemas cuya localización y características físicas tienen escasos equivalentes. Su criticidad está relacionada con la noción de diversidad ecogénica, ya descrita.

(b) Especies cuya estructura somática ("modelo") es rara o poco frecuente. Si bien lo correcto sería hablar de especies "cuyo nicho ecológico" es raro, la realidad nos muestra que además de desconocer la mayor parte de las especies vivientes -hay 1.412.600 especies clasificadas y de 28 a 29.000.000 sin clasificar- nuestra ignorancia es todavía mayor en materia de nichos. De allí que utilizáramos una vía indirecta para aproximar el grado de gravedad

de una desaparición. El criterio seleccionado por Montenegro, presentado en el Primer Congreso Latinoamericano de Ecología en Uruguay (1989), fue el taxonómico (64). Desarrolló así la siguiente fórmula:

$$dT = aT/ST \times 10.000$$

Donde "d" es un valor de incidencia de la desaparición de una especie en el taxón "T", "a" es una especie del taxón "T" y "S" el número total de especies de ese taxón, pudiendo ser "T" un género, una familia u otra categoría taxonómica. Asumida como importante la conservación de una máxima diversidad de especies, también sería clave la de una máxima diversidad de géneros, familias, filos y reinos. En este contexto la extinción ecosférica de una especie del modelo biológico Coleoptera (para T = un orden de Insecta), con 280.000 especies conocidas y un valor dT (orden) = 0.03, sería evolutivamente menos impactante que la desaparición de una especie del modelo biológico Embioptera, con 200 especies conocidas y un valor dT (orden) = 50. Cuanto mayor es el valor "dT", menor es la diversidad específica y la posibilidad de que los "modelos" existentes puedan hacer sobrevivir su estrategia (64).

Cuando tomamos como universo "T" a las clases, el valor "dT" para Insecta contrasta con los restantes grandes grupos. Para la clase Mammalia dT = 2.50; para la clase Amphibia dT = 2.38; para la clase Reptilia dT = 1.58 y para la clase Aves dT = 1.11, mientras que para Insecta dT = 0.01, esto es, una cifra 250 veces más pequeña que la correspondiente a los mamíferos. Numéricamente y prescindiendo de los respectivos valores poblacionales, podemos hipotetizar que cuanto más

bajo es el número de especies de un mismo "modelo" general, Amphibia por ejemplo, y una o más de sus especies desaparecen, menor es la posibilidad de que las restantes especies puedan reconstituír la diversidad previa. Puede darse el caso extremo de que sólo quede con vida una única especie de un filo; si se extingue desaparece su modelo general, que pudo o no ser importante para las futuras condiciones ambientales del planeta. Actualmente existen filos "frágiles" como Phoronida, animales marinos parecidos a gusanos que secretan un tubo correoso protector, con apenas 60 especies, y filos fuertes como Arthropoda, con 874.400 especies conocidas. Numéricamente al menos, los artrópodos tienen mayor posibilidad, frente a las extinciones masivas, de mantener su "modelo" general de organización, caracterizado por esqueleto externo de quitina (exoesqueleto), extremidades articuladas y hemoceloma.

Cuando una especie "fugada" como la nuestra ha iniciado uno de los espasmos de extinción en masa más importantes de la historia terrestre, y nuestra supervivencia depende -irónicamente- de que se mantengan ecodiversidades máximas, cada desaparición es un riesgo. No sólo estamos extinguiendo especies manifiestamente exitosas en sus ambientes, sino también especies raras y de desconocido nicho ecológico. Hoy existen filos como Brachiopoda que ya venían perdiendo especies, y de cuya decadencia no somos responsables (unas 200 especies vivas conocidas y 3.000 extintas). ¿Es grave para nuestro futuro la posible desaparición de estas últimas 200 especies de braquiópodos? ¿Es grave para nosotros

la estimada desaparición actual de 27.000 especies de distintos grupos por año? Definitivamente sí.

Los tipos actuales de ecosistemas. Concepto de ecosistema en mosaico.

Los ecosistemas ajustables retroceden

A nivel terrestre y acuático la vida está organizada en forma de ecosistemas interrelacionados. Pese a esta interdependencia muestran una cierta autonomía que asegura la supervivencia del conjunto. Hace más de 10.000 años e incluso hasta hace tres siglos por lo menos, predominaban sobre las tierras emergidas y en las aguas superficiales los ecosistemas de tipo ajustable o balanceado, con cocientes energéticos P/R tendientes a 1 (más sus etapas sucesionales y sus “hijos”). Los ecosistemas ajustables, que popularizamos desde FUNAM con el nombre de ecosistemas naturales, retrocedían o avanzaban en función de los factores auto- y alogénicos dominantes. Por lo menos en los diez siglos que precedieron a las revoluciones industriales y agroindustriales, no hubo especies que se evadieran espectacularmente del sistema regulado.

La especie humana, su neocorteza y las sociedades comenzaron la primera gran “fuga” o evasión -transitoria como toda evasión- hace 10.000 años. La fuente de energía fue la agricultura, una nueva estrategia de cadenas alimentarias cortas y controladas descubiertas y desarrolladas en varios sitios de la Tierra (?).

La segunda fuga comenzó más recientemente, y estuvo ligada al

uso indiscriminado de los depósitos de combustible fósil primero (siglos XVIII-XIX) y de combustibles nucleares luego (década de 1940 en adelante). Semejante acceso a fuentes energéticas de magnitud aceleró la complejidad de las sociedades y culturas, magnificó los desvíos (retroalimentación positiva) y creó una falsa noción de independencia de la naturaleza y sus mecanismos. La evolución reciente de las culturas humanas estuvo ligada por lo tanto a la simplificación ecológica y a la expansión de ecosistemas tan sencillos como inestables e indigestos. La antigua organización ecológica del planeta comenzó a cambiar, y nos hoy encontramos en el medio mismo de ese cambio.

Gracias a estudios de ecología terrestre, de limnología y de ecología marina es posible reconstituir cómo era la organización de los ecosistemas ajustables antes de que se les introdujeran cambios extensos y profundos.

En la provincia de Córdoba, por ejemplo -una división política arbitraria- coexistían, fundamentalmente, los ecosistemas de Chaco Serrano y de Llanura, de Monte, del Espinal y de la Estepa Pampeana, más varias decenas de ecosistemas acuáticos de agua dulce y algunas lagunas saladas (entre ellas Mar Chiquita o Mar de Ansenúza). También es posible reconstruir los límites recientes de los ecosistemas latinoamericanos, tarea que encararon Cabrera y Willink en 1970-1980 (71). Esos modelos fueron violentamente alterados en los últimos trescientos años.

En la provincia de Córdoba uno de sus ecosistemas autóctonos, el

bosque del Espinal por ejemplo, ya ha sido decapitado y sólo quedan relictos insignificantes. La única memoria parcial que persiste -con vacíos y grandes alteraciones- es el suelo (Molisoles), dedicado ahora a la agricultura, la ganadería y el sostén de ciudades. La misma amenaza se cierne sobre la Estepa Pampeana, prácticamente desaparecida, y el Chaco Serrano.

Hace unos 10.000 años los diferentes ecosistemas de bosque cubrían el 34% de todas las tierras emergidas del planeta. Dos siglos atrás ese porcentaje se redujo al 32%. Pero a partir de 1950 la tala y roza crecieron de tal modo, que en la actualidad sólo resta menos de un 26% con cobertura. De este total, a su vez, sólo un 12% mantiene ecosistemas boscosos intactos. El resto son unidades empobrecidas y de magro crecimiento secundario (75).

En Argentina Foulon y Cozzo estimaron las superficies que tenían a comienzos de la década de 1960 tres ecosistemas de bosque ya sometidos a algún tipo de tala. El ecosistema de las Yungas ocupaba 3.470.000 ha (1.500.000 en Salta, 980.000 ha en Jujuy, 990.000 ha en Tucumán); el Chaqueño cubría 29.945.000 ha (once provincias) y el ecosistema Paranense 2.275.000 hectáreas en la provincia de Misiones (76). Este total incluía fachinales y áreas muy degradadas. Montenegro por su parte calculó para Argentina la tasa de deforestación entre 1939 y 1986 (76). Entre 1940 y 1955 la superficie boscosa descendió en 29.383.000 ha, a un valor promedio de 1.958.866 ha por año. Entre 1955 y 1963 esa merma fue de 1.560.000 ha, con una disminución promedio de 195.000 ha por año. Entre 1963 y 1986 la superficie boscosa total se redujo en 21.740.000 ha a un valor promedio de

945.217 ha por año. Globalmente, y en sólo 46 años (1940-1986), Argentina perdió estimativamente el 41.24% de su superficie de bosques nativos. De continuar la tasa de destrucción histórica -con una hipótesis de deforestación de 1.000.000 ha/año- Argentina perdería la totalidad de su patrimonio forestal en el año 2024. Aunque tales cifras ignoran por simplificación la existencia de áreas naturales protegidas actuales y potenciales, lo cierto es que muestran una realidad dura y muy grave (77).

Mucho menos definidos que los ecosistemas terrestres, los oceánicos también están sufriendo los impactos del "boom" humano. En el proceso de generar la mitad a 1/3 de la producción global de oxígeno, los océanos contribuyen a regular uno de los principales gases de invernadero, el CO₂. Gracias a la "bomba biológica" el CO₂ penetra en las capas superiores donde el fitoplancton y otras plantas marinas lo utilizan para fabricar azúcares simples. Si bien el 90% del carbono es reciclado a través de sus cadenas alimentarias, una porción llega hasta las profundidades del océano como "lluvia de detritus". Allí la materia orgánica es oxidada y depositada como dióxido de carbono disuelto en corrientes submarinas muy profundas. Estas corrientes lentas tardan más de 1.000 años en llevar nuevamente el carbón a la superficie (78).

En la actualidad las actividades humanas, al quemar combustibles fósiles y quemar bosques, agregan 7.000 millones de toneladas de carbono a su ciclo cada año; una mitad ingresa a la atmósfera y 1/3 parte es retenida por los mares (79). Consecuentemente, los océanos tienen 20 veces más carbón que

el almacenado en todos los bosques y biomasa terrestres. Si se rompe la porción marina del ciclo, y éste comienza a liberar grandes cantidades de CO₂, puede acelerarse a escala geométrica el efecto invernadero (77) (78). Lamentablemente, el mismo modelo destructivo que opera a nivel de ecosistemas terrestres también se despliega a nivel oceánico. Este desmanejo ha hecho que el valor prehistórico de ingreso de nutrientes al mar se duplique, y que los sedimentos descargados se tripliquen. Este cuadro es agravado por otros impactos negativos también en aumento, como el mayor ingreso de radiación ultra violeta B y C por debajo del “agujero” de ozono Antártico, que altera las redes tróficas superficiales, y la caza indiscriminada de mamíferos marinos. La ballena azul pasó de una población histórica de 200.000 a sólo 2.000 ejemplares, y la foca de Juan Fernandez de 4.000.000 de individuos a unos 600 supervivientes (década de 1980) (79). Como la contaminación y la depredación se concentran mayoritariamente en ecosistemas marinos de costa, con alta diversidad en matrices de menor superficie y volumen, sus efectos se potencian.

Hacia el ecosistema en mosaico

El carácter dominante de los ecosistemas ajustables o balanceados comenzó a romperse a medida que las revoluciones industriales se expandían sobre la Tierra.

Las sucesivas fuentes de energía, tanto bióticas como fósiles y nucleares, alimentaron este escape simplificador. Surgió entonces un nuevo tipo de arreglo ecológico, por cuanto los antiguos ecosistemas terrestres -en mayor

medida que los acuáticos al comienzo- empezaron a ser parcialmente reemplazados por estrategias ambientales con bajísimo poder autoajustable “A”. Los ya descritos ecosistemas productivos y urbanos lideraron este proceso. Se configuraron entonces “nuevos” ecosistemas en mosaico, donde coexisten los agroecosistemas, que explotan el “suelo fósil” (con valores $P/R > 1$); los ecosistemas productivos o asentamientos humanos -menores en superficie pero mayores que los productivos en altura y volumen, con valores $P/R < 1$ - y los cada vez más reducidos remanentes de ecosistema balanceado (con valores $P/R = 1$).

Un modelo equivalente, pero con modalidades propias, se generó a nivel de ecosistemas acuáticos. La fuerte contaminación orgánica de los ríos hizo que se reemplazaran, por ejemplo, ecosistemas ajustables de alta diversidad por ecosistemas con poco oxígeno disuelto, inestables y poblados por unas pocas especies dominantes. Su estructura espacial, distinta de los ecosistemas terrestres -donde predominan los mosaicos- pasó a contener bandas alternas de baja diversidad (zonas contaminadas) y alta diversidad (zonas recuperadas o sin impacto), e incluso una única “cinta” degradada cuando la contaminación se registraba a todo lo largo del curso.

La noción de ecotono es otro elemento que complica la estructura del mosaico. El ecotono o zona de borde es un área de contacto entre ecosistemas, por ejemplo, entre los ecosistemas ajustables del Chaco de Llanura y el Espinal. Tiene así caracteres comunes a los ambientes que une, en proporciones tan

variables como su superficie/volumen y "movimiento" (expansión/retracción). Aunque de delimitación tan arbitraria como la de ecosistemas terrestres, el ecotono es un valioso instrumento para describir y manejar la realidad. En los mosaicos existen por lo tanto numerosos ecotonos, ya sea entre ciudades y cultivos, ya sea entre ciudades y ecosistemas ajustables, o entre costas urbanas y ríos contaminados (2).

El problema fundamental de los mosaicos actuales es que se mueven aceleradamente hacia una mayor simplificación, y que su unidad ajustable-el ecosistema balanceado- pierde por lo tanto cada vez más superficie, volumen y densidad ecológica. Dado que la estabilidad de los mosaicos depende mayoritariamente de la integridad y funcionamiento ambiental de bosques, pasturas y ríos "naturales", el colapso de estos últimos puede acelerar el colapso de los agroecosistemas y ciudades (2). Lamentablemente los modelos actuales de desarrollo ignoran casi por completo esta restricción. Con demasiada frecuencia políticos, técnicos e inversores consideran que un ecosistema ajustable está bien reemplazado por un cultivo de pinos o eucaliptos, y que las fronteras agropecuarias no tienen límites. Tales errores de análisis están costando muy caros, porque una vez "decapitados" los ecosistemas balanceados su recuperación es demasiado lenta en términos humanos. El desafío está en asumir que nuestra supervivencia está indisolublemente ligada a la supervivencia de ciertos arreglos ecológicos, y que esos arreglos incluyen superficies y volúmenes mayoritarios de ambientes "naturales" (ecosistemas ajustables). Desde el clima

global de la Tierra hasta el modelo de flujo hídrico de las cuencas dependen de este arreglo.

Los ecosistemas productivos

Cuanto más cerca se está del estrato autotrófico, de más energía se dispone. La técnica inventada por nuestros antecesores hace unos 10.000 años consistió en "acercarse" a las plantas verdes. Para lograrlo el hombre desarmó o destruyó las cadenas alimentarias largas y complejas, y las reemplazó por cadenas alimentarias cortas. En base al conocimiento de las especies vivas que habitaban sus territorios fueron seleccionando primero y domesticando luego especies de plantas verdes para consumo directo (cadenas cortas) y especies de mamíferos comedores de hierbas para proveerse de carne (cadenas de longitud media). El trigo ya era cultivado en el valle del Nilo hacia el año 5000 A.C. y en China hacia el 2500 A.C. Sus diversas especies y variedades, procedentes del Asia anterior y central, o del norte de África, se habrían originado a partir de formas silvestres de *Triticum*, mejoradas por cruzamiento con especies de *Agropyron* y *Aegilops*.

Los antecesores de la vaca -*Bos taurus*- ya se encontraban en los palafitos europeos del Neolítico hace unos 9.000 años. También se hallaron allí restos de carneros y dos "razas" de cerdos, una grande y una pequeña. Esta última descendería del pequeño jabalí de la India, *Sus vittatus*, muy parecida exteriormente a nuestros actuales cerdos domésticos. Las primeras dinastías egipcias domesticaron búfalos, áddaces, kobos, guib, órices y gacelas que eran conducidos al campo y luego re-

gresados al establo. Su sistema productivo, más diversificado que el europeo del Neolítico y de la Edad del Bronce, no se continuó lamentablemente en el tiempo. El guib por ejemplo proveía una excelente carne (90). Otras especies como el banteng (*Bibos sondaicus*), el yak doméstico -con caracteres de buey y bisonte- y el búfalo indio integraron las “cadenas medias” de la revolución agrícola asiática. La gallineta (*Numida meleagris*), originaria del África occidental, fue criada por las antiguas civilizaciones de Grecia y Roma, y el pavo, de origen americano, entró en Europa hacia el siglo XVI.

La domesticación de plantas y animales fue incorporando no solamente especies alimenticias, como el maíz en América, o el trigo, la vaca y el gallo en el continente euroasiático, sino también proveedores de fibras como los camélidos en América del Sur (*Lama* spp.) y el algodón, este último originario de las regiones inter tropicales de América y Asia (*Gossypium* spp.).

La sedentarización se afirmó rápidamente en los lugares donde el suelo era renovado y fertilizado por crecientes fluviales (Egipto, Mesopotamia). Luego se fue extendiendo sobre otros ambientes, incluso sobre ecosistemas de bosque en Europa y de selva tropical húmeda en América. La simplificación de los ecosistemas era un requisito indispensable para poder mantener cadenas alimentarias cortas y medianas. Tanto el uso creciente del fuego como la fabricación de hachas filosas, más efectivas para derribar árboles, aceleraron la multiplicación de unidades productivas tanto en la Europa del Neolítico como en otras regiones del planeta.

Esta revolución agrícola fue generadora así durante los últimos cien siglos, excedentes de materiales y de energía que transformaron los caseríos preagrícolas de baja densidad en verdaderas ciudades.

El hombre desarrolló por lo tanto dos estrategias principales, una de cadena corta -la variante agrícola- y otra de cadena mediana o variante ganadera. Como parte de la técnica de cadena corta plantó especies que brindaban nutrientes directos, como el trigo y el arroz, y asumió el rol de herbívoro a gran escala. El principal inconveniente de esta estrategia era que el hombre, al igual que otros heterótrofos, no podía desdoblar la celulosa. Su innovadora cadena corta desperdiciaba por lo tanto importantes márgenes de energía y materiales. El invento de la ganadería solucionó en buena medida este problema. Como no podía utilizar las extensas pasturas naturales -pues estaba incapacitado para devorarlas en forma directa- incorporó una especie intermediaria como la vaca. Aunque este bovino era tan incapaz como el hombre para romper las moléculas de celulosa, tenía en su sistema digestivo protozoarios simbiotes que sí lo hacían. Con cantidades crecientes de “intermediarios” nuestras primeras comunidades agropecuarias lograron obtener sustanciales cantidades de proteínas animales y materia prima. Al rol de herbívoros de cultivos sumaron el de carnívoros de ganado. Esta fue la primera gran revolución energética del ser humano: invirtiendo cantidades aritméticas de esfuerzo logró cosechar cantidades geométricas de granos y carne.

Nuestros antepasados adoptaron de este modo las mismas técnicas que habían desarrollado muchos millones de años antes las hormigas criadoras de pulgones (*Lasius*, *Camponotus*) y las hormigas cultivadoras de hongos (*Atta*, *Acromyrmex*), insectos sociales que todavía conviven con nosotros.

Tanto la estrategia de cadena corta como la de cadena media acarrearán varios problemas. El hombre comenzó a competir con especies de casi todos los niveles tróficos para mantener su nuevo ecosistema, tan simple como inestable. Esa misma lucha continúa hoy. En el Chaco salteño por ejemplo, el ganado compite por alimento con los grandes nidos de la hormiga "isaú", *Atta saltensis* y *A. volenweideri*. Cada nido de 3-4 años de edad y varios metros de diámetro puede consumir tanto pasto por día como una o dos vacas. Para neutralizar ésta y otras pérdidas el agricultor gasta energía que procede del mismo cultivo -técnica tradicional- o bien energía externa fósil (adquisición reciente). Para mantener sus frágiles cadenas cortas la agricultura ha ido demandando crecientes subsidios externos de energía y de materiales. Esta necesidad se hizo particularmente evidente en cultivos desarrollados sobre antiguos ecosistemas de selva tropical o subtropical, donde la alta biodiversidad de ambientes vecinos proveía de potenciales plagas y patógenos.

Los agroecosistemas en general, dada su baja diversidad y el menor ajuste de la especie elegida al ambiente local, son sensibles a disturbios de todo tipo, ya sean físicos (baja o alta temperatura, fuego) como biológicos (plagas animales y vegetales por ejemplo). Si el campo tiene una única especie domi-

nante, una sola especie invasora que la devore puede introducirse y destruirla. Este es el caso, por ejemplo, de la mariposa del ápice de los pinos, *Rhyacionia buoliana*. Ingresó en Argentina junto con especies europeas de pinos, pero sin sus enemigos naturales. Desprovista de límites, se transformó en una plaga de las plantaciones argentinas.

Las revoluciones industriales enfrentaron este obstáculo con un arsenal complejo, poco probado y riesgoso de pesticidas, hormonas de crecimiento, fertilizantes, variedades genéticas y mecanización. La estabilidad natural, fruto de la mayor ecodiversidad, se ha ido reemplazando artificialmente con estos dispositivos. Como el ciclo de los materiales está roto, se lo sustituye, parcialmente, con fertilizantes químicos. Como las plantas recién llegadas carecen de capacidad autoreproductiva a gran escala, se debe sembrar y plantar cada año. Como el sistema es biológicamente simple y por lo tanto altamente productivo, lo que implica una enorme disponibilidad de energía y materiales, se controlan los competidores y las plagas con pesticidas. Como la oferta local de agua suele ser insuficiente para el cultivo elegido, se reemplazan las lluvias que necesita con regadío. Estos y otros dispositivos incrementan la demanda de subsidios externos.

El problema fundamental no es solamente hasta dónde debería permitirse la expansión de estos cultivos y campos ganaderos sobre ecosistemas ajustables, sino también qué tipo de modelo de uso se tendría que aplicar. Actualmente la mayor parte de los agroecosistemas industrializados y preindustrializados roturan grave-

mente el suelo, empobrecen su banco de nutrientes, rompen los ciclos de materiales, contaminan el ambiente y se transforman, con frecuencia, en desiertos. Según datos del PNUMA cada año se desertifican -irreversiblemente en tiempos humanos- más de 6 millones de hectáreas (1994) (2).

Lamentablemente el crecimiento de la población humana, que agrega de 80 a 90 millones de nuevos habitantes cada año (1993), la orientación lucrativo-económica de los grandes agroecosistemas para consumo interno y exportación, las hambrunas y los sistemas sociales de consumo retardan e incluso impiden los cambios profundos que necesita esta estrategia de cadenas cortas. Entre los procedimientos agroproductivos de bajo impacto ambiental figuran, por ejemplo: (a) manejo integrado de las explotaciones de cadena corta y media; (b) descarte del roturado del suelo y reemplazo con técnicas de labranza cero; (c) reducción al mínimo de los circuitos auxiliares de energía que demanda, por ejemplo, la mecanización excesiva o la aplicación indiscriminada de pesticidas y fertilizantes; (d) manejo integrado de las plagas y competidores, incorporando controles de "tercera generación" como el biológico y feromonal pero reduciendo al mínimo la utilización de biocidas; (e) conservación del suelo mediante la praderización de áreas expuestas, cultivo en líneas de nivel y con terrazas de absorción y desagüe; (f) sustituyendo el monocultivo o la ganadería monotípica e intensivas por sistemas biodiversos de bajo impacto ambiental que respeten las capacidades de carga ("K") de cada ecosistema; (g) introduciendo al modelo producti-

vo especies locales más adaptadas, por ejemplo camélidos en zonas de montaña; (h) restableciendo siquiera parcialmente los ciclos de materiales con mosaicos que combinen cultivos y ecosistemas ajustables con el reciclado de materiales orgánicos, y finalmente, (i) legislando coherentemente los usos del suelo y transformando las actuales culturas de producción en culturas de desarrollo sostenible (2).

Los ecosistemas urbanos

La primera revolución agrícola (8.000 A.C.) estuvo íntimamente asociada con la primera revolución urbana. Esta última se produjo hace unos 6.000 años, hacia finales del período Neolítico. Hasta entonces los asentamientos humanos eran de baja a muy baja densidad, distribuidos mayoritariamente cerca de recursos básicos, como fuentes de agua, o lugares aptos para la caza y la recolección. La adopción y generalización de la agricultura primero y de la domesticación de animales después, dos técnicas de cadenas alimentarias artificialmente cortas, permitieron que se produjeran los primeros excedentes en la producción de alimentos.

Estos excedentes, resultado de la simplificación ecológica y de la reproducción en masa, se concentraron en sitios estratégicos del territorio, facilitando el aglomeramiento (urbanización) y la mayor especialización de sus habitantes. Al no tener toda la población necesidad de dedicarse a cultivar cereales o criar ganado, parte de esa población pudo emplear su excedente de tiempo y recursos en nuevas tareas, o en la sofisticación de trabajos tradicionales (talabartería, construc-

ción de edificios, pintura, orfebrería, etc.). Las primeras ciudades con estas características se desarrollaron en la Mesopotamia hacia el año 3.500 A.C.: Eridú, Erech, Lagash, Kish, Ur. Sucesivamente también crecieron en el valle del Nilo (3.200 A.C.), del Indo (2.200 A.C.), China (1.500 A.C.), Europa (1.500 A.C.) e independientemente (?) también en Centroamérica (300-400 A.C.) (79).

Estas primeras urbes pudieron amortiguar mejor las contingencias de todo tipo gracias al ahorro de excedentes y a su administración racional en épocas de crisis. Una cosecha anual deficiente, por ejemplo, se atenuaba con los alimentos acumulados de una campaña anterior. Los caminos facilitaban además el transporte de alimentos hacia zonas con hambre, impidiendo el deterioro excesivo de sus sectores rurales y urbanos.

La concentración de muchos habitantes en pequeños espacios (Ur, una de las ciudades más viejas, tenía 34.000 habitantes hacia el 3.500 A.C.) debió acelerar la evolución cultural. Se multiplicaron y complexificaron así numerosas pautas de comportamiento humano, como por ejemplo uso del habitat, alimentación, reproducción, arte y religión. La mayor cantidad de información en un espacio mínimo -la ciudad- favoreció el intercambio y desarrollo de nuevas técnicas e ideas. El perfeccionamiento de los sistemas de comunicación tanto visuales como sonoros aumentó además la eficiencia con que se realizaban estos intercambios. Semejante proceso ha continuado logarítmicamente gracias a la capacidad del sistema nervioso humano para incorporar información cultural.

La ciudad se fue delineando

cada vez más como un complejo consumidor, y el resto de los ecosistemas -productivos, ajustables- como simples proveedores. Adquirió así, poco a poco, un rol de aglomerado parásito.

Al surgimiento de las ciudades le siguió entonces un equilibrio precario entre ecosistemas urbanos y ecosistemas productores.

Este equilibrio se mantuvo gracias a las deficientes técnicas de explotación y al reducido peso de la población urbana (apenas un 10-20% vivía en ciudades). En la práctica el desarrollo de las urbes dependió de alternativas sociales internas y de los excedentes agrícolas; estos últimos estaban sujetos a las variaciones climáticas y a la vulnerabilidad de los ecosistemas productivos (esto es, a menor diversidad, mayor inestabilidad). De acuerdo a cómo se combinaban estas variables, las ciudades florecían o declinaban.

Pero pese a las incipientes crisis que ya mostraban las relaciones hombre-ciudad-ambiente, incluso con civilizaciones completas amenazadas por el desmanejo de los ecosistemas, como quizás la Maya, en promedio y hasta el siglo XVIII, el conjunto urbano del planeta podía clasificarse como preindustrial. La población urbana total no era muy significativa, el consumo per capita promedio resultaba comparativamente bajo al de hoy y no se habían desarrollado técnicas de avanzada contra plagas y enfermedades.

Los ecosistemas ajustables, en forma global y siempre dentro de ciertos límites, aún podían amortiguar los excesos de esas sociedades (2).

BIBLIOGRAFÍA

Bunge, M. 1985. La Ciencia: Su método y su filosofía. De. Siglo XX, Buenos Aires, 110 p. Lectura sugerida: pp 9-109.

Curtis, E y N Sue Barnes. 1987. Invitación a la Biología. Ed. Médica Panamericana, Buenos Aires, 879 p.

Villee, C.A. et al. 1987. Biología. Editorial Interamericana, México, XV + 1342 p.

Ovenden, M.W. 1984. La vida en el Universo. Ed. EUDEBA. Buenos Aires. Col. Ciencia Joven 144 p.

Savage, J.M. 1981. Evolución. Ed. Continental, México, 198 p.

De Robertis, E.D.P. et al. 1978. Biología Celular. ed. El Ateneo, Buenos Aires, 528 p.

Stricberger, M. W.: "Genética". Omega S. A. Barcelona. 880 pp. 1974.

Rouley, J. D.: "Principles of Cancer Biology: chromosomal abnormalities". In Cancer: Principles and Practice of Oncology. Philadelphia, Limpincot, J. B. Pag. 67 -78. 1982.

Vallois, H.V. 1964. Las razas humanas. ed. EUDEBA, Buenos Aires. 103 p.

Wilson, E.D. 1980. Socio-

biología: La nueva síntesis. ed. Omega. España, 701 p.

Azorero, R.M. y B Schavartzman. 1978. Principios de Biología Celular. ed. El Ateneo. Buenos Aires, 216 p.

Moore, K.L. 1975. Embriología Clínica. Ed. Interamericana, México, 368 p. Lectura sugerida: 303-347.

Masters, W.H. y V.V. Johnson. 1981. Respuesta Sexual Humana. ed. Intermédica, Buenos Aires, 324 p.

Morris, D. 1986. El zoo humano. Ed. Hispanamérica-Muy Interesante, España. 182 p.

Wilson, E.O. 1978. Sobre la Naturaleza Humana. Ed Fondo Cultura Económica, México, 301 p.

Darwin, C. 1980. El origen de las especies. Ed. Bruguera, Barcelona, 671 p.

Montenegro, R.A. 1983. El nicho ecológico flexible de Homo sapiens. Libro de resúmenes, IX Reunión Argentina de Ecología, pp 100.

Montenegro, R.A. Sinecología del sistema urbano Córdoba. Libro de resúmenes, IX Reunión Argentina de Ecología. pp 100.

Margalef, R. 1977. Ecología. Ed. Omega, España. 951 p.

Colinvaux, P. 1981. El destino de las naciones. Una interpretación

ecológica de la historia. Ed. Belgrano, Buenos Aires 397 p.

Sinnot, E. W. et al. 1961. Principios de genética. ed. Omega, Barcelona, 366 p.

Sagan, C. 1982. Cosmos. de Planeta, Barcelona, 366 p.

Montenegro, R.A. 1995. Introducción a la Ecología Urbana y a la Gestión Ambiental. Ed. Universidad Nacional del Noredeste.

Morris, D. 1980. El hombre al desnudo. Un estudio objetivo del comportamiento humano. Ed. Círculo de Lectores, Barcelona, 319 p.

Forroll, E. et al. 1986. La Contracepción, hoy. Ed. Salvat, Barcelona, 145 p.

Lewin, R: Evolución Humana. Biblioteca Científica Salvat. Barcelona. 1987.

Junqueira - Zago: Fundamentos de la Embriología Humana. El Ateneo. Buenos Aires.1978.

Carpenter, MB (2002) Fundamentos de Neuroanatomía. 4º Edición Editorial Panamericana.

Curtis H, Barnes S, Schnek A. y Massarini A (2008) Biología. 7º edición. Editorial Médica Panamericana.

Goldar, J.C (2000) Cerebro Límbico y Psiquiatría. Editorial Salerno.

Guyton Hall (2002) Tratado

de Fisiología Médica. 9º Edición Edit. Mc Graw Hill Interamericana.

Charney D.S., Netter E.J., Bunney B.J: (1999) Neurobiology of Mental Illness. Edit. Oxford University Press. New York. USA.

López Mato A.(2003)Psiconeuroinmunoendocrinología,Editorial Polemos. Argentina.

Cardinali D. (2007) Neurociencia aplicada. Sus fundamentos. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.

Kandel E., Schwartz J., Jessell Th. (1999) Neurociencia y conducta. Prentice Hall. España.

