EL SISTEMA NERVIOSO PERIFERICO DEL HOMBRE

El sistema nervioso periférico está compuesto de fibras nerviosas, sensoriales y motoras que van hacia y desde el sistema nervioso central y el resto del cuerpo. Puede subdividirse en el sistema somático sensorial y el sistema autónomo.

28-11 SISTEMA SOMATICO SENSORIAL

El sistema somático sensorial consiste de 12 pares de nervios craneales, de los cuales no todos son nervios mixtos (ver Sección 28-6), y 31 pares de nervios raquídeos, todos los cuales son mixtos. Estos nervios transmiten impulsos procedentes de nuestros receptores (principalmente estímulos externos) hacia el sistema nervioso central. También transmiten impulsos procedentes del sistema nervioso central a todos los músculos esqueléticos del cuerpo.

28-12 EL SISTEMA NERVIOSO AUTONOMO

El sistema nervioso autónomo consiste de neuronas sensoriales y motoras que conectan el sistema nervioso central (especialmente el hipotálamo) y los diversos órganos internos: el corazón, las vísceras y muchas glándulas tanto endocrinas como exocrinas. Este sistema es, por tanto, responsable de la percepción de ciertas condiciones en el ambiente interno y de producir cambios apropiados en ellas.

Las acciones del sistema nervioso autónomo son casi completamente involuntarias en contraste con aquellas del sistema sensorial somático.

28-13 EL SISTEMA NERVIOSO SIMPATICO

En resumen, el estímulo de la parte simpática del sistema nervioso autónomo, duplica la mayor parte, sino todas las acciones que desencadenan la adrenalina y la noradrenalina, cuando es liberada en la sangre por la médula adrenal. Esto en realidad no es sorprendente, si recordamos que la médula adrenal forma parte del sistema nervioso simpático. Las células que conforman la médula adrenal son células postganglionicas modificadas.

28-14 EL SISTEMA NERVIOSO PARASIMPATICO

El nervio principal del sistema parasimpático es el décimo nervio craneal, denominado nervio **vagus**, el cual se origina en la médula oblongada. También otras neuronas preganglionicas parasimpáticas se extienden del encéfalo y del extremo inferior de la médula espinal (Fig. 28-12).

Cada neurona preganglionica parasimpática se une en sinapsis con sólo una neurona postganglionica, la cual está localizada cerca o en el órgano efector, ya sea el músculo o una glándula. Las arborizaciones de las neuronas preganglionicas y las placas terminales de las neuronas postganglionicas liberan actilcolina. El estímulo de los nervios parasimpáticos produce una desaceleración del pulso del corazón, lo cual, a la vez, conlleva descenso de la presión sanguínea, constreñimiento de las pupilas, incremento del flujo sanguíneo en la piel, y vicéversa; promueve también peristaltismo del canal digestivo. En resumen, el sistema nervioso parasimpático hace posible el retorno de las funciones del cuerpo humano a la situación normal, después de que han sido modificadas mediante estimulación simpática. En momentos de peligro el sistema nervioso simpático prepara nuestro organismo para actividad física violenta, tal como lucha, o huída. Los cambios que ocurren podrían ser dañinos si se prolongasen innecesariamente; por lo tanto, el sistema parasimpático revierte el organismo a la situación normal una vez que el peligro ha cesado. Debido a esto debemos incluir la actividad antagónica de estas dos partes del sistema nervioso autónomo entre los mecanismos más importantes del organismo para mantener la homeóstasis.

CAPILLA ALFONSINA

26-1 INTRODUCCION

Los animales multicelulares, al igual que las plantas multicelulares, deben solucionar el problema de coordinar las actividades de todos los distintos tipos de células que los conforman. Necesitan también disponer de algún mecanismo, por medio del cual los diferentes tipos de células, tejidos y órganos del cuerpo pueden comunicarse. Sólo así, todas estas estructuras funcionan de manera eficiente y coordinada.

Dos sistemas de comunicación existen en la mayoría de los animales. Uno de ellos es el sistema nervioso. Consiste de células especializadas, denominadas neuronas, las cuales transmiten los impulsos eléctricos de una parte del cuerpo a otra. El otro sistema de comunicación es el sistema **endocrino**. Este sistema regula las funciones del cuerpo por medio de las sustancias químicas denominadas **hormonas**, las cuales son llevadas por la sangre a todas las partes del cuerpo. Estos dos sistemas no funcionan independientemente uno de otro. Como habremos de verlo en este capítulo y en los siguientes, existe una relación estrecha entre las actividades de los dos sistemas.

La coordinación química en los animales, al igual que la coordinación química en las plantas, implica (1) liberación de las sustancias químicas de las células al FEC, (2) transporte para un medio u otro, de esta sustancia y (3) modificación de las actividades de otras células por medio de ellas. Probablemente toda célula de un organismo multicelular participa en la coordinación química, en la forma aquí descrita. Efectivamente, ya hemos estudiado un ejemplo de ello en la fisiología humana. Cada célula de nuestro cuerpo produce bióxido de carbono como resultado de la respiración celular. El bióxido de carbono es liberado en el FEC y conducido luego a través del cuerpo por el torrente circulatorio. Cuando la sangre rica en bióxido de carbono llega a la médula oblongada, promueve la producción de impulsos nerviosos hacia el diafragma y hacia los músculos intercostales. Se recordará (ver Sección 13-10) que la tasa bajo la cual estos impulsos son generados, determina la tasa y la profundidad de la ventilación pulmonar. Ello, a la vez, mantiene un nivel constante de bióxido de carbono en la sangre.

Existen motivos para suponer que todos los organismos multicelulares llevan a efecto este tipo de coordinación química, o sea, coordinación mediante liberación de sustancias químicas, que a la vez son *productos* secundarios de otras actividades celulares. Sin embargo, existe poca evidencia sobre este punto, por lo cual concentraremos nuestro estudio en aquellos conjuntos de células cuya única función parece ser la liberación de coordinadores químicos en el cuerpo. Nos referimos a las glándulas endocrinas. A menudo, se denominan glándulas de secreción interna por cuanto carecen de conductos y sus secreciones son liberadas directamente en la sangre que drena la glándula (en lugar de hacerlo en un conducto como es el caso de las glándulas *exocrinas*, de las cuales se trató en la Sección 10-6). Estas hormonas son conocidas a todas las demás células del cuerpo. En algunos casos pueden influir sobre las actividades de todas estas células. Pero con mayor frecuencia las hormonas ejercen su efecto solamente sobre ciertas estructuras del cuerpo, los órganos «reactivos». Hasta ahora solamente se han descubierto glándulas endocrinas específicas en los insectos, en los crustáceos, en ciertos moluscos y en todos los vertebrados.

26-2 HORMONAS DE LOS INSECTOS

En los insectos se han encontrado hormonas que: (1) producen cambios de color en el cuerpo, (2) estimulan el desarrollo de los huevos en las hembras, (3) regulan el crecimiento y la metamorfosis. Es interesante anotar que algunas de estas sustancias son producidas por células situadas en el encéfalo. En los insectos la actividad endocrina está relacionada estrechamente con la actividad del sistema nervioso.

En los insectos el control del crecimiento y de la metamorfosis ha sido quizás mejor estudiado que cualquier otra actividad endocrina. Debido a su exoesqueleto rígido los insectos pueden crecer solamente despojándo periódicamente el esqueleto externo, lo cual ocurre durante el proceso conocido con el nombre de **muda**. Este proceso se lleva a efecto repetidas veces durante el período de desarrollo larval. De la muda final resulta el organismo adulto. En muchos órdenes de insectos el adulto no se parece en absoluto a los estadios larvales iniciales. Las transformaciones profundas que experimenta la estructura del cuerpo en estos insectos se denomina **metamorfosis**. Entre los dípteros, himenópteros y lepidópteros tiene lugar durante el estadio de vida latente denominado ninfa. La Figura 26-1 ilustra los estadios larva, ninfa y adulto del desarrollo del gusano de seda, *Bombyx mori*. La metamorfosis se lleva a efecto dentro del capullo de seda, el cual es hilado por la larva madura.

Si se suprime quirúrgicamente el encéfalo de un individuo adulto del gusano, *Cecropia*, uno de los diversos gusanos de seda silvestres, antes de que el gusano hile su capullo, no tiene lugar la formación de la ninfa. No podría interpretarse esto como el resultado del choque

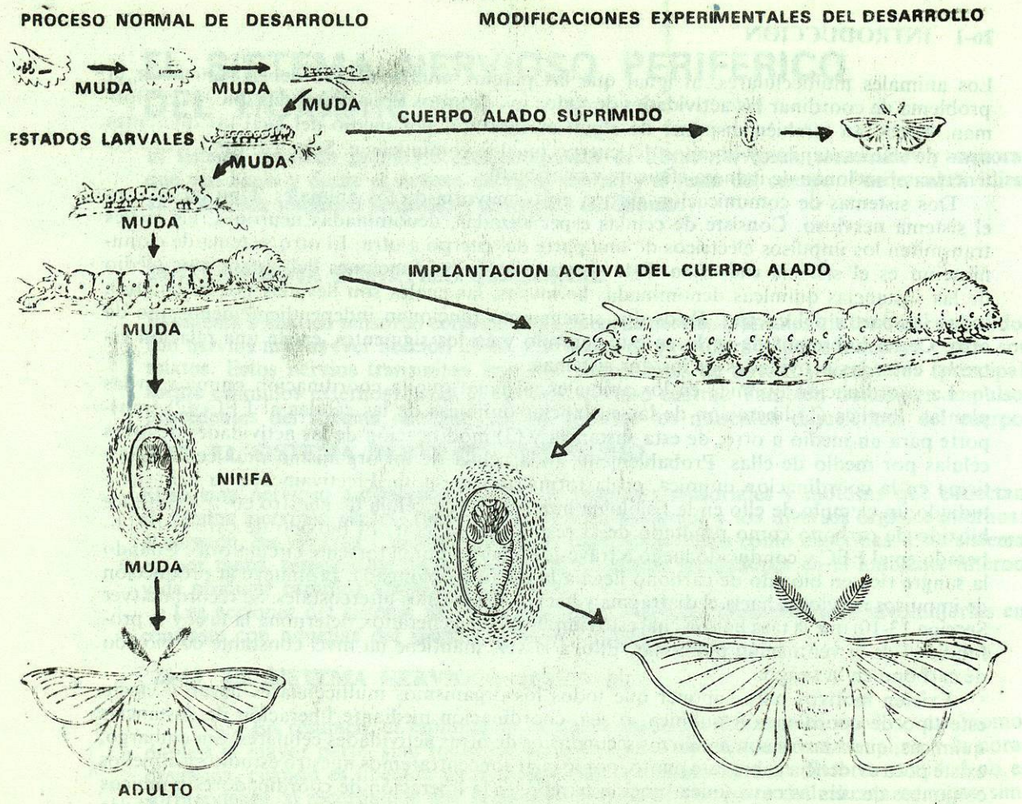


Fig. 26-1

Izquierda: Patrón normal de desarrollo en el gusano de seda, *Bombyx mori*. El orden puede ser abreviado suprimiendo los cuerpos alados en un gusano joven, y prolongado, adicionando cuerpo alado activo en un gusano maduro. No se forma la ninfa mientras los cuerpos alados secretan cantidades apreciables de hormona juvenil.

producido por la intervención quirúrgica, puesto que si se introduce el tejido del encéfalo en otra parte del cuerpo, se forma la ninfa normalmente. En efecto, inclusive una pequeña cantidad de material encefálico —aproximadamente veinticuatro células especiales— producirán este efecto. Este experimento sugiere que estas células especiales del encéfalo producen una hormona necesaria para la formación de la ninfa. Esta hormona no promueve directamente la formación de la ninfa, sino que actúa sobre un par de glándulas situadas en el tórax y que reciben el nombre de glándulas protorácicas. Cuando estas glándulas son estimuladas por las hormonas producidas por las células encefálicas, liberan una segunda hormona, perteneciente al grupo de las esteroides, denominada *ecdisina*, la cual promueve directamente las mudas y la formación de la ninfa.

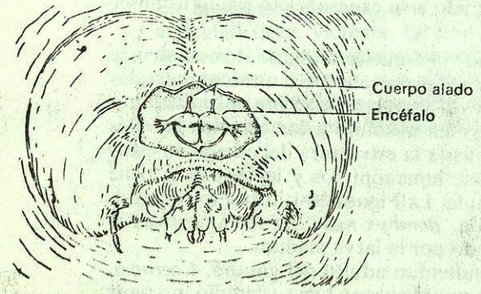


Fig. 26-2

El cuerpo alado del gusano de seda secreta una hormona juvenil. El encéfalo secreta una hormona que inicia el crecimiento y la metamorfosis.

La acción conjunta de estas dos hormonas no solamente promueve la transformación de larva en ninfa, sino también las mudas que ocurren de larva en larva. ¿Cómo entonces podía explicarse el cambio súbito en la acción que ocurre en el período de la metamorfosis?

Se ha podido establecer que si a un gusano de seda joven se le extirpan un par de glándulas pequeñas localizadas detrás del encéfalo, que reciben el nombre de *cuerpo alado* (Figura 26-2), el gusano hila un capullo y se transforma en ninfa en su próxima muda (Fig. 26-1). Esto señala la posibilidad de que el cuerpo alado produce una tercera hormona, la cual actúa a manera de un freno en la metamorfosis. Mientras estén presentes cantidades apreciables de esta hormona denominada **hormona juvenil**, la

CAPILLA ALFONSINA

hormona **ecdisina** promueve el crecimiento larval. Si se reduce la cantidad de hormona juvenil disponible, la ecdisina promueve el desarrollo de la ninfa. La ausencia total de la hormona juvenil lleva al desarrollo del adulto.

Mediante un experimento esta hipótesis puede ser verificada. Si en el cuerpo de una larva completamente madura se introduce el cuerpo alado de un gusano de seda joven, deja de ocurrir metamorfosis. La muda conduce simplemente a la producción de un gusano de tamaño mayor que lo común (Fig. 26-1). El cuerpo alado extraído de un gusano maduro en cambio, no produce este efecto. Así la formación normal de la ninfa parece ocurrir cuando el producto del cuerpo alado disminuye de manera espontánea en el gusano maduro.

El desarrollo de las estructuras características de la larva de la ninfa y finalmente del adulto, necesitan la acción sucesiva de diferentes conjuntos de genes dentro de las células del insecto. Esto nos lleva nuevamente al problema de establecer de qué manera los genes pueden ser activados o reprimidos selectivamente. Se recordará (ver Sección 23-8, 2) que los cromosomas gigantes de ciertas moscas (tales como la mosca de las frutas) poseen regiones dilatadas o anillos, los cuales se presentan en distintos sitios de los cromosomas mientras tiene lugar el proceso del desarrollo (Fig. 23-10). Por ejemplo, cada vez que una larva se prepara para mudar, ocurre una serie definida de dilataciones en los cromosomas. Si se suministra la ecdisina a la larva después de que ha completado una muda (en ese momento el nivel de la ecdisina en la larva es muy bajo) comienza de nuevo la serie normal que ocurre antes de la muda. Es en estas dilataciones en donde tiene lugar la síntesis intensiva de ARN; por consiguiente, son los genes situados en estas regiones dilatadas de los cromosomas los que son activados. Se ha podido, en efecto, extraer ARN mensajero a partir de estos cromosomas después de haber sido tratados con ecdisina, que sirve como patrón para la síntesis de una enzima específica no presente en las células de las larvas que no han recibido tratamiento.

La producción de abultamientos, que sigue a la inyección de ecdizina, se suprime completamente si al mismo tiempo se administra actiomycina D. Como se vio en el último capítulo (ver Sección 25-6), la actinomycina D, bloquea la transcripción del ADN, es decir, la síntesis del ARN mensajero. De modo que aquí también tenemos una evidencia adicional de la hipótesis, según la cual, la hormona ecdizina actúa descifrando la información genética almacenada dentro de la célula.

La respuesta de las células del insecto a la ecdisina está también influida por la hormona juvenil. Como hemos visto, la hormona ecdisina promueve las mudas de larva a larva, cuando el nivel de la hormona juvenil es alto. Si el nivel desciende se presenta muda de larva a ninfa. Cuando la hormona juvenil está ausente la ecdisina promueve el desarrollo hacia el adulto. Todo ocurre como si la hormona juvenil hubiese reprimido la acción de los genes que actúan en la configuración de las estructuras del adulto. Este papel de la hormona juvenil ha sido puesto en evidencia hermosamente por un experimento llevado a efecto por primera vez por el fisiólogo y entomólogo inglés V. B. Wigglesworth. Los insectos adultos por lo general ya no mudan, pero si se le suministran dosis extranormales de hormona encefálica a un adulto *Rhodnius*, puede obligárselo a mudar. Si la hormona juvenil se aplica en primer lugar al esqueleto exterior del insecto, las regiones afectadas por ella revierten el tipo larval de la próxima muda (Fig. 26-3). Esto demuestra que los genes responsables de la fabricación de las estructuras larvales están presentes en las células adultas aunque su acción se halle reprimida.

En las zonas templadas la ninfa de muchos insectos se forma durante el otoño (en respuesta a los días más cortos) y permanece inmodificada durante todo el invierno. Ni la hormona encefálica, ni la ecdisina se forman durante este período de **diapausa**. Cuando vuelve la primavera se reinicia la producción de la hormona encefálica y ecdisina. Se completa la metamorfosis, y el adulto emerge del capullo. Por lo menos en algunos insectos, el restablecimiento de la secreción de la hormona encefálica no ocurre si la ninfa no ha sido expuesta a períodos fríos de temperatura y luego a períodos calientes y también a longitud del día cada vez mayor. Ciertas células encefálicas de una especie absorben la luz por medio de un área transparente del exoesqueleto situada precisamente por encima del encéfalo. Cuando los días tienen una duración de 16 horas, se termina la diapausa y el desarrollo del adulto está completo. Estos hechos demuestran que los fenómenos de hibernación obligada, requerimientos de bajas temperaturas y fotoperiodicidad que se examinaron en el capítulo anterior, no están restringidos a las plantas.

El cuerpo alado de los insectos, es demasiado pequeño para poder servir de fuente a partir de la cual pueda extraerse la hormona juvenil. Por fortuna muchos insectos inician la secreción de hormona juvenil inmediatamente después de haber alcanzado el estado adulto completo. La hormona se acumula en cantidades relativamente considerables en el abdomen de los machos de dos especies de polillas de seda. La cantidad acumulada es suficientemente grande, lo cual permite su extracción e inclusive, después de largos años de trabajo laborioso, se ha podido determinar su estructura química. La hormona posee una estructura molecular relativamente simple y podrían sintetizarse cantidades considerables de ella o al menos sustancias estrechamente relacionadas con ella. Esta posibilidad resulta interesante ya que, si se aplica en ciertos períodos del ciclo de vida de un insecto, de hecho lo conduce a un desarrollo anormal y, por tanto, a la muerte. Por ejemplo, si se pulverizan hormonas juveniles sobre orugas maduras o sobre el follaje del cual se alimentan, se impide que pueda surgir una población normal. El insecto ni siquiera efectúa con éxito la muda para convertirse en una larva gigante. Presumiblemente este método de aplicar la hormona lleva una distribución tan dispareja de la hormona en el interior del cuerpo de la oruga que no todos los tejidos responden adecuadamente. De todas maneras el animal muere pronto. Si los huevos del insecto se ponen en contacto aun con pequeñas trazas de la hormona juvenil, su desarrollo embrionario normal es perturbado. Estos fenómenos han llevado a pensar que, de poderse sintetizar la hormona juvenil en forma barata y en grandes cantidades, sería un insecticida efectivo. Parece que inclusive la probabilidad de que los insectos se vuelvan resistentes a la sustancia sea muy reducida, por cuanto es un componente normal de sus organismos. Tampoco parece posible que la hormona juvenil pudiese tener efectos tóxicos sobre otros organismos (distinguiéndose en ello de los insecticidas convencionales, tales como los arsenatos de plomo y el DDT). Por otra parte, muchos insectos (por ejemplo, la abeja) son benéficos al hombre y el uso de la hormona juvenil como insecticida podría causar en ciertas situaciones mayores problemas que los que ella solucionaría. Sin embargo, parece que a un nivel molecular existen diferencias en las hormonas juveniles de los diversos grupos de insectos y varias hormonas juveniles sintéticas muestran cierta selectividad en su acción. Quizás estas diferencias puedan ser explotadas por el hombre en su empeño incesante de destruir los insectos que perjudican sus cultivos y transmiten enfermedades.

ENDOCRINOLOGIA HUMANA

26-4 LA GLANDULA TIROIDES

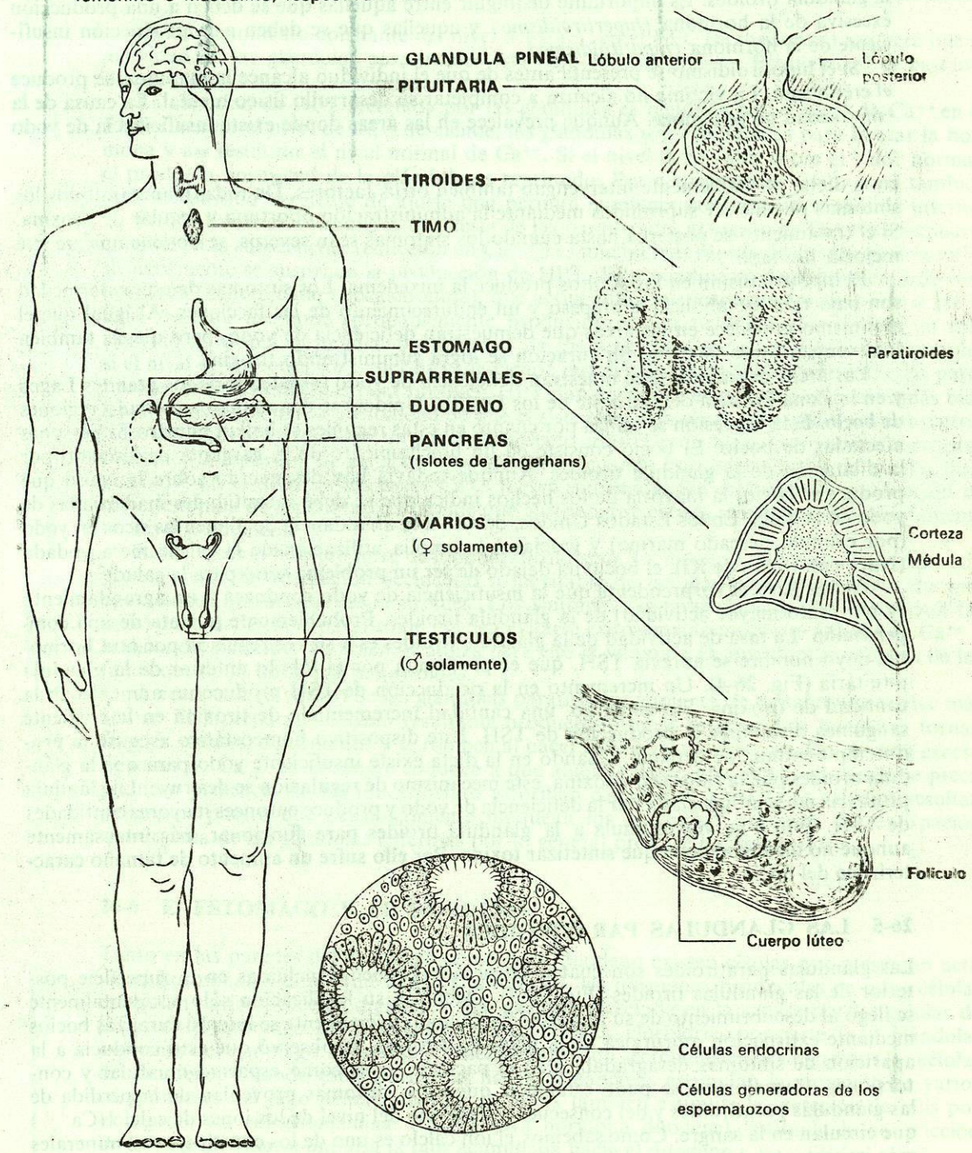
La glándula tiroides es una estructura doblemente lobulada localizada en la parte anterior del cuello (Fig. 26-4). En relación con su tamaño posee una irrigación sanguínea extraordinariamente abundante. La hormona más importante que libera en la sangre es el aminoácido *tiroxina,* que contiene yodo en su molécula. Esta sustancia ha podido ser aislada de tejidos tiroidales y puede fácilmente sintetizarse en cantidades comerciales. Mediante aplicación de inyecciones de tiroxina se pueden contrarrestar los síntomas producidos al ser extirpada la glándula tiroides, en los animales de experimentación.

En el hombre, la función más general de la glándula tiroides es el control del metabolismo del organismo. Cuando se administra tiroxina la cantidad de calor producida por el cuerpo se aumenta. Puesto que la producción de energía es una función que depende de la respiración celular, debemos suponer que la administración de tiroxina aumenta la rata del consumo de oxígeno. Esto sucede realmente. Midiendo el consumo de oxígeno se puede diagnosticar funcionamiento defectuoso de la glándula tiroides.

Además de afectar al metabolismo del cuerpo, la glándula tiroides influye sobre gran número de otras funciones del cuerpo. Entre otros efectos se cuenta el de estimular la síntesis de proteína. Se ha podido establecer que la influencia de la tiroxina en la síntesis de la proteína puede ser el fundamento de muchas (no de todas) sus demás funciones. Después de pocos minutos de haber sido suministrada a una rata de experimentación, la tiroxina, produce un alto aumento en la síntesis de ARN mensajero, e inmediatamente después, de proteína. Además este efecto es inhibido completamente por la acción de la actinomicina D. Ello indica que la tiroxina actúa en la desçifración del código genético, o sea, en la

CAPILLA ALFONSINA

Fig. 26-4
Las glándulas endocrinas del humano. En los dos sexos se encuentran las mismas glándulas, con excepción de las gónadas. Estas son los ovarios y los testículos, según sean los individuos de sexo femenino o masculino, respectivamente.



estimulación de la acción del gen. El efecto de la tiroxina sobre ciertas otras funciones, tales como consumo de oxígeno y crecimiento, también es inhibida por la actinomicina D.

La mayoría de los efectos de la tiroxina se duplican en todos los animales vertebrados. Sin embargo, en los anfibios se ha podido establecer una función especial de la glándula tiroides. En estos animales la metamorfosis de larva a adulto es promovida por la tiroxina. Si se administra tiroxina (o aun solamente yodo) a un renacuajo pequeño, éste puede experimentar metamorfosis prematura y convertirse en una rana enana. Por otra parte, si se suprime quirúrgicamente la glándula tiroides de un renacuajo, se impide la metamorfosis.

Algunas razas de la salamandra común nunca sufren metamorfosis y por tanto conservan siempre la respiración branquial (estas salamandras llegan a la madurez sexual y se reproducen como larvas). No obstante, si se les administra tiroxina, llevan a efecto metamorfosis y se convierten en salamandras tigres comunes. Probablemente no sea una casualidad que estas formas, comúnmente denominadas *ajolotes,* se hallen en los lagos de las montañas altas en la parte occidental de los Estados Unidos y en el Norte de México, en cuyos suelos y aguas se halla muy poco yodo (Fig. 26-5).