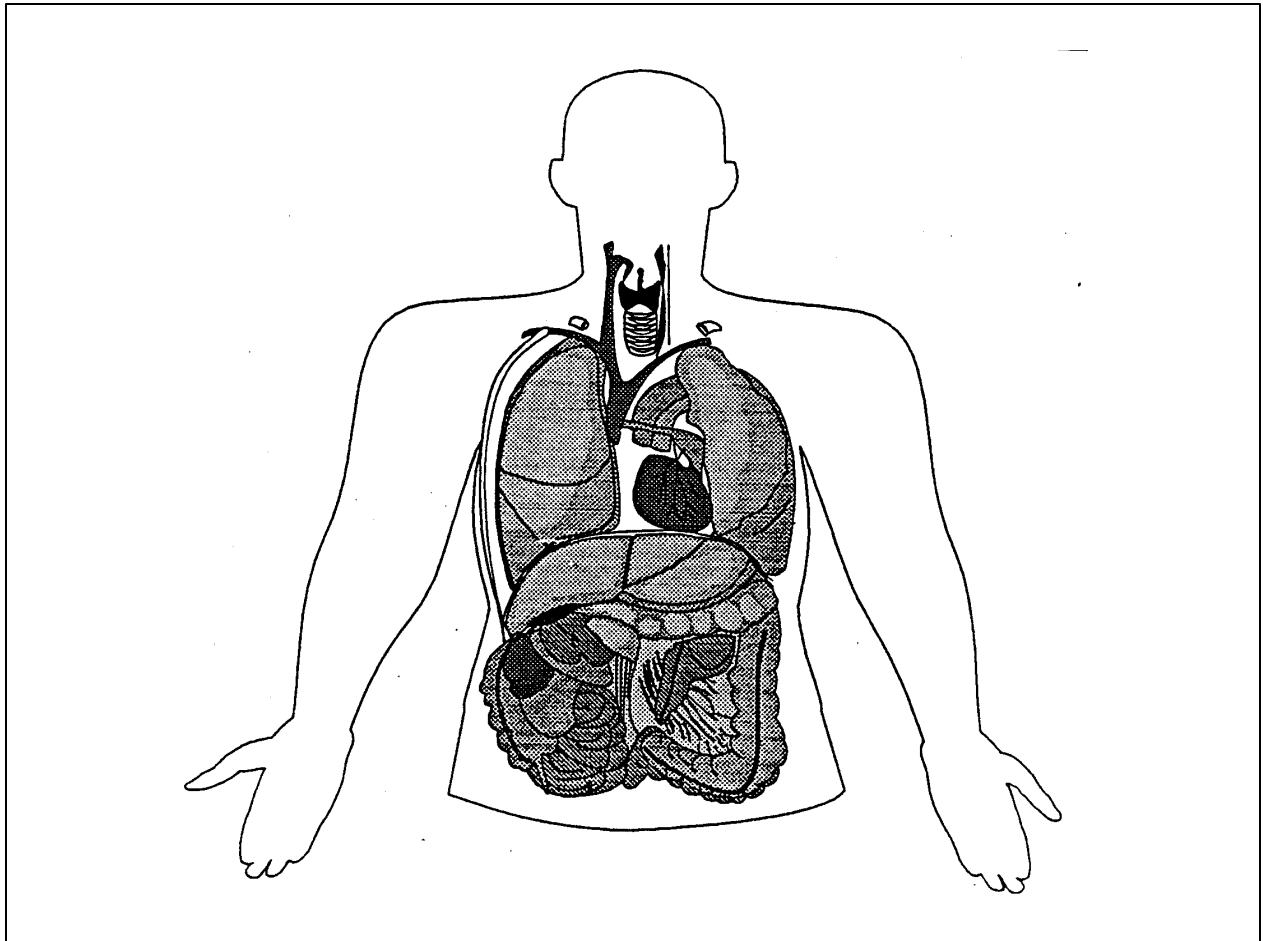


## *Lección 2*

# **Efectos biológicos de la contaminación del aire**

---



## **Preguntas centrales**

---

- ¿Qué mecanismos de protección obstaculizan el ingreso de sustancias tóxicas en el cuerpo y las eliminan cuando logran ingresar?
- ¿Cuáles son los principales sistemas de protección de la vida que el cuerpo posee y cómo funcionan?
- ¿Cuáles son las nueve clasificaciones generales de las sustancias tóxicas del aire que afectan la salud y qué efectos provoca cada clase en el funcionamiento normal del cuerpo?

## **Palabras clave**

---

- Absorción
- Macrófagos alveolares
- Biotransformación
- Cilia
- Tos
- Sistema digestivo
- Sistema endocrino
- Sistema mucociliar
- Moco
- Sistema osteomuscular
- Sistema nervioso
- Sistema reproductor
- Sistema respiratorio

# Efectos biológicos de la contaminación del aire

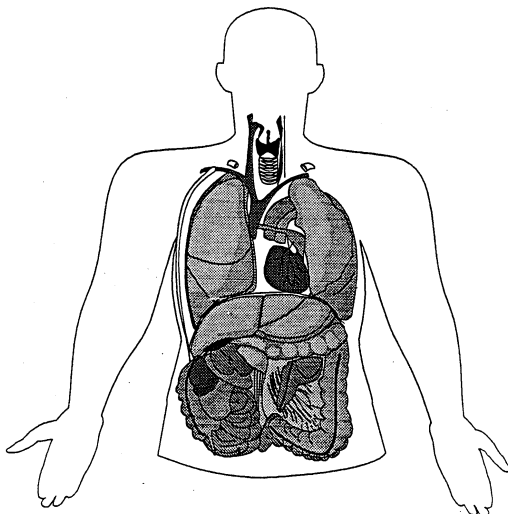
---

El cuerpo es un sorprendente conjunto de estructuras, sustancias, procesos y conductos diseñados para mantener a la persona nutrida, sana y consciente del entorno. Los mecanismos y partes del cuerpo se organizan en grupos bastante diferenciados, llamados sistemas, que realizan diversas funciones necesarias para la vida. Los sistemas del cuerpo comúnmente reconocidos son los siguientes:

- osteomuscular;
- respiratorio;
- nervioso (incluido el sensorial);
- digestivo;
- cardiovascular (incluida la sangre);
- reproductor;
- endocrino;
- excretor, e
- inmunológico.

*El cuerpo humano tiene nueve sistemas reconocidos de protección de la vida.*

Dichos sistemas están interconectados; es decir, el funcionamiento de cada uno generalmente afecta a, o depende de, uno o más de los otros. Aunque en esta lección se los trata por separado, usted apreciará cómo estos sistemas trabajan de manera conjunta, como un verdadero equipo.



*La absorción a través de los tejidos generalmente ocurre cuando una sustancia ingresa en el cuerpo*

---

Al abordar la anatomía y la fisiología humana, y particularmente los efectos de las sustancias tóxicas, es importante comprender qué se quiere decir con las expresiones “dentro del cuerpo” y “fuera del cuerpo”. El cuerpo es, en realidad, una masa de células atravesadas casi totalmente por un tubo, el tracto digestivo, y con sus puntos terminales conectados por otros dos tubos, el tracto respiratorio y el urogenital. No siempre lo que ingresa al organismo se absorbe. Algunas cosas, como los alimentos fibrosos o las monedas y canicas que los niños pequeños a veces ingieren, no se apartan del camino constituido por el tubo digestivo para ingresar en el cuerpo, sino que, afortunadamente, son transportadas en forma directa hasta ser evacuadas, pero la mayoría de gases, líquidos y sólidos microscópicos generalmente pasa a través de los tejidos y entra en el cuerpo.

El ingreso de sustancias al cuerpo a través de los tejidos —esto es, *la absorción*— por lo general ocurre en los pulmones e intestinos (predominantemente, el intestino delgado). La absorción también puede ocurrir a través de la piel y el revestimiento de la boca, entre otros.

## **Las defensas del cuerpo contra la invasión**

Las vías respiratorias, que van desde la nariz y la boca hasta los pulmones, y el tubo digestivo, que va desde la boca hasta el intestino grueso y delgado, están diseñados para ayudarlo a obtener del entorno los gases y nutrientes requeridos para la vida. Como usted sabe, también estamos rodeados por numerosas sustancias nocivas para la salud que ponen en peligro la vida. El cuerpo emplea diversos mecanismos de defensa para impedir que las sustancias químicas nocivas ingresen en él e interfieran con los procesos vitales. Esos mecanismos protectores se pueden agrupar, por lo general, en tres tipos:

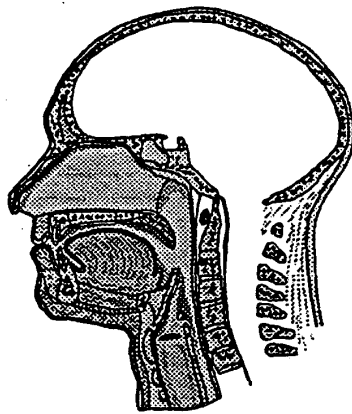
- barreras físicas;
- barreras mecánicas, y
- barreras químicas.

---

## Barreras físicas del cuerpo contra la invasión

El material del que está hecho el cuerpo y la forma en que está diseñado ayudan a prevenir la penetración de sustancias extrañas. Los seres humanos estamos cubiertos por un traje completamente hermético y a prueba de agua: la piel, que cuando se encuentra intacta y saludable constituye una barrera física efectiva contra la invasión de sustancias extrañas. Las vías respiratorias, con sus entradas y salidas, están perfectamente diseñadas para interceptar las partículas transportadas por el aire antes de que lleguen a las partes más profundas de los pulmones, donde podrían causar mayor daño.

En primer lugar, cuando el aire entra por la nariz pasa a través de un extenso filtro de revestimientos cubiertos de mucosidad, pelos nasales e intrincados conductos. El **moco** es un lubricante espeso secretado por las células en los revestimientos de muchas cavidades y circuitos corporales. La forma de las cavidades nasales hace que el aire que ingresa se agite y entre en contacto máximo con los revestimientos cubiertos de mucosidad de las vías respiratorias. Las partículas inhaladas que no quedan obstruidas en la región nasal tienen mayor probabilidad de ser interceptadas cuando el aire hace una curva de 90 grados al pasar por la faringe (la parte posterior de la garganta) antes de entrar en la tráquea. La efectividad de esta región para detectar gérmenes inhalados se pone de manifiesto en la alta incidencia de dolores de garganta.



*Las vías respiratorias superiores están diseñadas para hacer que las partículas que ingresan en el cuerpo queden atrapadas.*

Bajo el nivel de la tráquea, las vías respiratorias presentan numerosas bifurcaciones de diámetro cada vez más pequeño y cada bifurcación genera una nueva oportunidad para la introducción de partículas en las paredes de las vías respiratorias. El cuerpo incluso posee un mecanismo que contrae las vías respiratorias, denominado *broncoconstricción*,

---

que ayuda a incrementar las probabilidades de que las partículas inhaladas entren en contacto con el revestimiento de las vías respiratorias. Ciertos agentes irritantes transportados por el aire pueden provocar una acción refleja por la cual los músculos lisos que rodean parte de las vías respiratorias se contraen y de ese modo reducen el diámetro de los conductos.

### **Eliminación de elementos invasores de las vías respiratorias por medios mecánicos**

No basta solo con interceptar las partículas inhaladas; estas también deben removerse de las vías respiratorias para mantener el funcionamiento efectivo del sistema de intercambio de gases. Los tres mecanismos que se especializan en la remoción de elementos irritantes de las vías respiratorias son los siguientes:

- el estornudo o la tos;
- el movimiento mucociliar, y los
- macrófagos alveolares

Sin duda usted está familiarizado con el estornudo y la tos, que constituyen los primeros intentos del cuerpo por deshacerse de los agentes irritantes inhalados. El estornudo, que sirve a la región nasal, tiene como propósito expulsar el material agresivo fuera del cuerpo. La tos es un mecanismo reflejo que ayuda a la faringe, a la tráquea y a los bronquios superiores. Una tos efectiva expulsa el agente irritante del cuerpo o lo coloca en un lugar donde puede ser removido de las vías respiratorias al expectorar o deglutir.



La tos también puede ser provocada voluntariamente, pero no será tan enérgica como la tos refleja.

*El movimiento mucociliar tiene la función de despejar de los pulmones las partículas que han quedado atrapadas.*

**El movimiento mucociliar:** implica, como su nombre lo dice, el movimiento del moco ayudado por la moción ciliar. Ya hemos definido qué es el moco. Los cilios son pequeñas proyecciones de las superficies de algunas células, a manera

---

de pelos. Los revestimientos del tracto respiratorio están ciliados desde la nariz hasta los bronquiolos más pequeños.

Todos los cilios respiratorios ejercen fuerza hacia la faringe e impulsan la capa de moco en esa dirección, por medio de ondas. Cualquier partícula atrapada por el moco alcanza un punto en el que puede expectorarse o deglutirse. Tanto la cantidad de moco como la rapidez de evacuación pueden incrementarse durante los periodos de ingreso máximo de partículas en las vías respiratorias.

A pesar de los mecanismos de defensa físicos y mecánicos mencionados, algunas partículas pequeñas regularmente logran alcanzar los alvéolos y penetrar en los pulmones. En este nivel, las partículas irritantes enfrentan la última línea de defensa mecánica, los macrófagos alveolares. Los **macrófagos alveolares** envuelven las partículas y las expulsan de los pulmones, y bien las transportan para que sean evacuadas mediante el movimiento mucociliar, bien las llevan hasta los espacios existentes entre las células pulmonares. Desde ese punto, las sustancias pueden despejarse a través del sistema linfático.

*Los macrófagos alveolares realizan la función decisiva de despejar los residuos de los alvéolos.*

## **El último frente de defensa: la guerra química**

Las sustancias que vencen las barreras físicas y mecánicas del cuerpo quedan libradas a los mecanismos químicos de defensa. Para los invasores bióticos, como las bacterias, el ataque químico en realidad empieza en la superficie de la piel y se da con mayor fuerza en el ambiente ácido del aparato digestivo. Aquellos invasores que se absorben y entran en el torrente sanguíneo son atacados por el sistema inmunológico. En general, resulta más fácil eliminar a los invasores vivos que desintoxicar el cuerpo de sustancias tóxicas inertes, como la mayoría de los contaminantes del aire, pero el cuerpo también está preparado para hacer este trabajo.

*Una meta de la biotransformación es hacer que las sustancias no deseadas sean fáciles de eliminar.*

Por lo general, este último frente de defensa implica cambiar la estructura química de una sustancia para hacerla menos tóxica y más fácil de eliminar. La biotransformación usualmente sirve para tomar los compuestos sumamente lipofílicos (aquellos que el cuerpo puede absorber con más facilidad) y transformarlos en compuestos más hidrofílicos,

---

de eliminación más sencilla. Dicho proceso es solo una de las diversas reacciones metabólicas que ocurren continuamente en nuestros cuerpos. Abordaremos con más detalle el metabolismo en la lección 3.

1. Usualmente las sustancias se introducen en el cuerpo mediante el proceso de \_\_\_\_\_.
2. Clasifique los elementos listados a continuación como mecanismos protectores de orden físico, mecánico o químico. Escriba la letra correcta en cada espacio en blanco.

<input type="checkbox"/> Movimiento mucociliar	a. Químico
<input type="checkbox"/> Pelos nasales	b. Mecánico
<input type="checkbox"/> Tos y estornudo	c. Físico
<input type="checkbox"/> Bifurcaciones de las vías respiratorias	
<input type="checkbox"/> Macrófagos alveolares	
<input type="checkbox"/> Biotransformación	

*Los niños y los ancianos presentan una alta sensibilidad a la mayoría de sustancias tóxicas.*

Como mayormente ocurre, las personas presentan una amplia variación en cuanto a su capacidad de resistir y contrarrestar las exposiciones a sustancias tóxicas. Además, las personas debilitadas por enfermedades o las de determinado rango de edad son particularmente sensibles a los tóxicos. Los lactantes y los niños pequeños a menudo se encuentran en desventaja porque sus sistemas de defensa no están plenamente desarrollados. Por otro lado, los ancianos generalmente poseen mecanismos de defensa insuficientes para contrarrestar la acción de los productos químicos que se encuentran en la vida cotidiana. El gobierno de los Estados Unidos orienta todos los reglamentos de contaminantes del aire a la protección de los miembros más susceptibles de la sociedad, lo que constituye una estrategia en la que se presupone como escenario posible el más desfavorable.

A continuación haremos una breve introducción de los diferentes sistemas del cuerpo y de su funcionamiento normal.



---

## Funcionamiento normal del cuerpo

Una vez más mencionamos la lista de los diversos sistemas vitales del cuerpo:

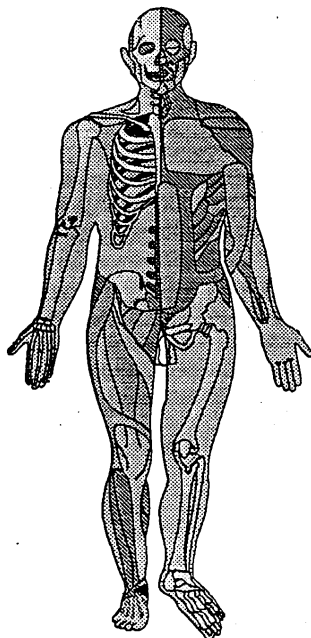
- osteomuscular;
- respiratorio;
- nervioso (incluidos los sentidos);
- digestivo;
- cardiovascular (incluida la sangre);
- reproductor;
- endocrino;
- excretor, e
- inmunológico.

Los siguientes puntos sobre dichos sistemas se centran en los componentes y mecanismos que los contaminantes tóxicos del aire pueden afectar con mayor probabilidad.

### Sistema osteomuscular

El sistema osteomuscular está constituido por todos los músculos (excepto el corazón), los huesos, los dientes y los cartílagos del cuerpo humano, junto con el tejido conjuntivo asociado (tendones y ligamentos). Las tres funciones principales de este sistema son las siguientes:

- proporcionar la forma y el movimiento del cuerpo;
- proteger ciertos órganos y tejidos blandos: el cráneo protege el cerebro, las vértebras (la espina dorsal) protegen la columna vertebral, mientras que las costillas y el esternón protegen el corazón y los pulmones.
- Producir glóbulos en la médula de ciertos huesos (véase la discusión posterior sobre el sistema cardiovascular y la sangre).



*El sistema osteomuscular proporciona forma y movimiento al cuerpo, protege ciertos órganos y tejidos y ofrece un marco para la producción de glóbulos.*

---

El hueso es el espacio donde se almacenan el plomo, el fluoruro y el estroncio. En realidad, 90% del plomo en el cuerpo se encuentra en el esqueleto, lo que no representa un problema importante, porque dicho elemento no es tóxico para el tejido óseo. En contraste, el fluoruro y el estroncio causan fluorosis esquelética y osteosarcoma.

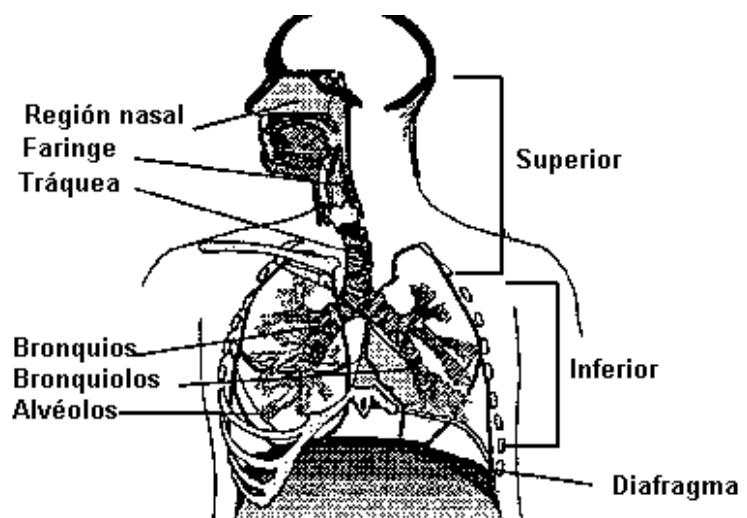
## Sistema respiratorio

Obviamente, el principal sistema afectado por los contaminantes tóxicos del aire es el **sistema respiratorio**, que puede resultar un blanco o un sistema diana en sí mismo, como en la neumoconiosis, el enfisema pulmonar, el cáncer de garganta y el cáncer de pulmón, o puede ser una puerta de ingreso para sustancias tóxicas que entran en contacto con la sangre y que luego esta transporta por todo el cuerpo.

En general, el sistema respiratorio humano está diseñado para suministrar al cuerpo los gases esenciales de la atmósfera circundante (principalmente oxígeno) y para expulsar los gases residuales (sobre todo dióxido de carbono). Este sistema de intercambio de gases lamentablemente no distingue entre los beneficiosos y los provenientes de sustancias tóxicas nocivas del aire, que ingresan en el cuerpo con la misma efectividad que el oxígeno vital.

*El aparato respiratorio está diseñado para transportar e intercambiar gases entre la atmósfera y la sangre.*

*El sistema respiratorio se divide tradicionalmente en superior e inferior.*



---

Las vías respiratorias se dividen tradicionalmente en superiores e inferiores. Las vías respiratorias superiores —constituidas por la región nasal, la faringe y la tráquea— sirven para calentar, humedecer y limpiar el aire y conducirlo hasta los pulmones. Los bronquios, bronquiolos y alvéolos constituyen las vías respiratorias inferiores o pulmones, donde el gas se intercambia con la sangre. La fuerza conductora o motor de la respiración es el diafragma, un músculo grande que abarca la cavidad abdominal en la base de los pulmones. En consecuencia, un tóxico que perjudique la acción muscular también puede tener efectos adversos en el aparato respiratorio.

Recordemos que el sistema respiratorio tiene numerosas formas de impedir que las sustancias tóxicas particuladas ingresen en el cuerpo. Sin embargo, no ocurre lo mismo con los tóxicos gaseosos, que una vez inhalados se absorberán hasta cierto punto. La única variable es el lugar donde ocurre la absorción. Un gas soluble en el agua tiene más probabilidades de ser absorbido en las vías respiratorias superiores. Tales gases pueden despejarse con el moco o pueden ingresar en el cuerpo a través del revestimiento epitelial del tracto respiratorio. Por otro lado, los gases menos solubles tienen más probabilidades de ser transportados al tracto respiratorio inferior y a los alvéolos, donde la absorción depende más de las presiones parciales de los gases que se encuentran en el aire que se ha respirado.

Los efectos tóxicos en el sistema respiratorio incluyen:

- constricción de las vías respiratorias y edema (acumulación de líquido);
- interferencia con el mecanismo mucociliar de evacuación;
- destrucción de las células que revisten las vías respiratorias;
- fibrosis: cambio en la composición de las células, y
- cáncer.

3. Identifique las tres funciones principales del sistema osteomuscular.

4. ¿Cuál es la función principal del tracto respiratorio inferior?

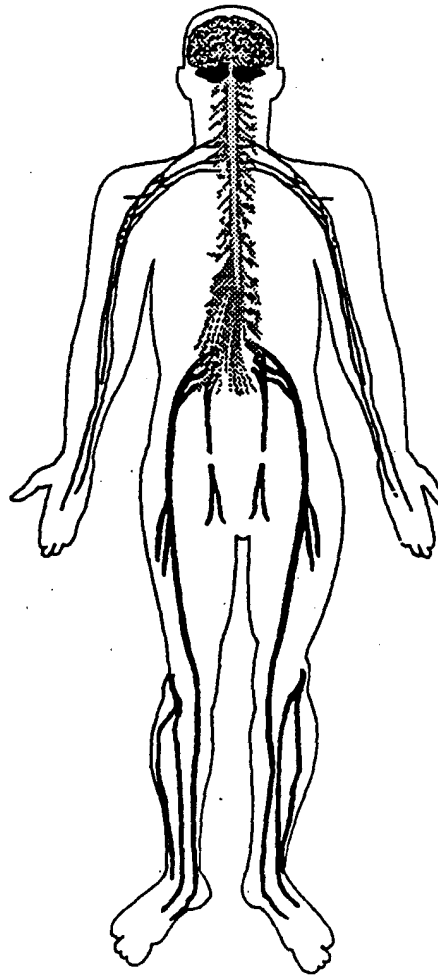
---

## El sistema nervioso (incluidos los sentidos)

*El sistema nervioso es, dicho de manera sencilla, una compleja red de comunicación similar a un sistema telefónico.*

*El funcionamiento efectivo del sistema nervioso depende del balance apropiado de ciertos compuestos químicos.*

El sistema nervioso humano cumple diversas funciones, como la percepción y transmisión de información sobre los medios externos e internos que provocan las diversas acciones y reacciones musculares, así como el monitoreo y control de diversos mecanismos y la descarga de sustancias químicas. Esta complicada red de comunicación depende



de la interacción unificada de sus diversos componentes, que van desde las células nerviosas individuales o neuronas, pasando por los ganglios (centros de distribución de impulsos nerviosos), hasta la médula espinal y el cerebro. El sistema nervioso tiene dos divisiones principales: el sistema nervioso periférico (SNP), que proporciona conductos neuronales, sensoriales y motrices, y el sistema nervioso central (SNC), conformado principalmente por la médula espinal y el cerebro, que procesa información sensorial, genera

los procesos de pensamiento, monitorea y controla las funciones corporales. Durante la operación normal del sistema, las terminaciones nerviosas sensoriales reciben y transmiten la información al sistema nervioso central, que almacena la información o transmite una respuesta mediante las neuronas efectoras apropiadas, o ambas cosas.

---

Las neuronas sensoriales, ubicadas por todo el cuerpo, se especializan en ciertas sensaciones (dolor, calor, presión). La retina de los ojos, en realidad, no es más que un conglomerado de terminaciones nerviosas, altamente especializadas, sensibles a la luz, que forman parte de la red sensorial.

Las neuronas efectoras llevan los impulsos del sistema nervioso central a los músculos y glándulas para estimular la acción apropiada, ya sea un movimiento o una secreción química, en respuesta a determinado estímulo sensorial. La vaina de mielina es un componente importante de muchas neuronas. Constituye una especie de aislamiento que rodea la parte exterior de las fibras nerviosas, mantiene el funcionamiento adecuado del sistema nervioso y previene cortocircuitos.

Un factor fundamental para el funcionamiento normal del sistema nervioso es el balance químico adecuado tanto dentro de las neuronas (en el interior y exterior de las membranas de las células nerviosas) como entre ellas (en las brechas o sinapsis que existen entre las células). La relación adecuada entre los iones (compuestos químicos cargados eléctricamente) y las células nerviosas proporciona la base para que los impulsos eléctricos se transmitan a las neuronas.

Entre los efectos tóxicos producidos en el sistema nervioso están los siguientes:

- anoxia (falta de oxígeno);
- desajuste iónico, e
- interferencia con los neurotransmisores químicos o sus receptores.

## **Sistema digestivo**

El sistema digestivo básicamente consta de una serie de tubos unidos por los extremos, que se extiende desde la boca hasta el intestino grueso, con diversas estructuras accesorias, glándulas, músculos y órganos. Un término comúnmente usado para referirse al sistema digestivo es *tracto gastrointestinal*. Sus dos funciones principales —relacionadas entre sí— son: 1) mantener el movimiento del material ingerido a lo largo del tubo digestivo y 2) desintegrar el material ingerido en sustancias básicas que

---

las células del cuerpo puedan absorber y usar. A continuación se identifican los órganos principales que intervienen en esos procesos:

*El sistema digestivo involucra diversas partes del cuerpo que van desde la boca hasta el intestino grueso.*

- boca y dientes;
- glándulas salivales;
- esófago;
- estómago;
- hígado;
- vejiga y conductos de la vesícula biliar;
- páncreas;
- intestino delgado, e
- intestino grueso.

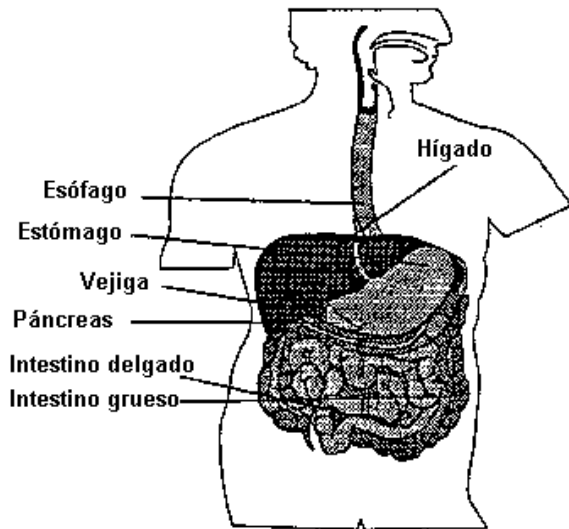
Como procesador principal de los materiales extraños que ingresan en el cuerpo, el sistema digestivo está expuesto continuamente a sustancias tóxicas. El cáncer, debido a la naturaleza penetrante de la enfermedad, puede perjudicar el sistema digestivo en casi cualquier punto (boca, garganta, estómago, páncreas). Posteriormente, en esta lección, usted aprenderá más sobre el cáncer y sus agentes causales. Por el momento, nos concentraremos en el órgano digestivo que tiene mayores probabilidades de sufrir consecuencias adversas por la exposición a contaminantes tóxicos del aire, *el hígado*.

En realidad, el hígado cumple muchas funciones cruciales. Una de sus funciones digestivas es ayudar a desintegrar gotas grandes de grasa en gotitas pequeñas y más digeribles. La bilis realiza esta desintegración en el intestino delgado.

La bilis es una sustancia amarillo-verdosa secretada por el hígado y almacenada en la vesícula biliar. Ciertos componentes de la bilis también sirven para activar las enzimas que ayudan a digerir las grasas y que son secretadas por el páncreas en el intestino delgado.

El hígado también es un componente importante para el metabolismo o la biotransformación. Tiene la función de alterar químicamente los nutrientes, las hormonas, los componentes sanguíneos desechados y otras sustancias extrañas, para fines de nutrición, almacenamiento, desintoxicación y excreción. No es necesario tratar en detalle los complejos mecanismos involucrados en estos procesos para apreciar la importancia del hígado. Dado que este

órgano es tan multifacético, cualquier tóxico que lo dañe puede tener efectos de gran alcance..



*El hígado es un órgano crucial para el cuerpo.*

Otro punto importante relacionado con el hígado es el hecho de que el metabolismo no siempre da como resultado la desintoxicación. El hígado también puede alterar químicamente sustancias inocuas y convertirlas en tóxicas. Entre los efectos tóxicos vinculados con el hígado están los siguientes:

*Cuando el hígado metaboliza o altera una sustancia, el resultado no siempre es positivo.*

- acumulación de grasas (“hígado graso”);
- ictericia (acumulación de bilirrubina en la sangre);
- muerte celular (necrosis);
- cirrosis (acumulación de tejido hepático dañado), y
- cáncer.

5. Explique brevemente la importancia del balance químico adecuado en el funcionamiento de un sistema nervioso saludable.
6. Explique cómo ayuda el hígado para la digestión de grasas en el intestino delgado

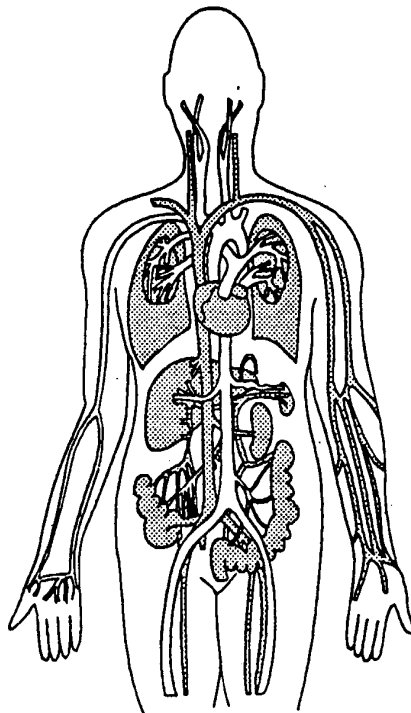
---

## El sistema cardiovascular y la sangre

El sistema cardiovascular usa la sangre para transportar tanto nutrientes a las células del cuerpo como los residuos del metabolismo fuera de las células. El corazón es una masa muscular del tamaño de un puño, con cámaras, válvulas y fibras nerviosas. Cualquier sustancia que dañe los músculos o el sistema nervioso tiene el potencial de alterar el funcionamiento adecuado del corazón. Asimismo, las sustancias que causan constricción (contracción) o dilatación (ensanche) de los vasos sanguíneos pueden afectar la función circulatoria.

La sangre tiene numerosos componentes y cada uno de ellos es decisivo de una manera particular para la vida. Los glóbulos rojos participan en el transporte de gases en el torrente sanguíneo; principalmente llevan el oxígeno a las células y remueven el dióxido de carbono de estas. Las plaquetas ayudan a mediar en la coagulación de la sangre,

*Los tres principales componentes de la sangre son los glóbulos rojos, los leucocitos y las plaquetas.*



un mecanismo que debe mantenerse minuciosamente afinado puesto que la sangre que coagula con mucha facilidad es tan peligrosa como aquella que no lo hace. Los leucocitos ayudan a obstaculizar las infecciones y las enfermedades. La mayor parte de estos diferentes tipos de células, salvo algunos leucocitos, se producen en la médula de ciertos huesos (los huesos largos de la pierna, los huesos de la cadera). Obviamente, cualquier sustancia tóxica para la médula ósea, como el benceno, puede causar efectos graves y generalizados.



---

Entre los efectos tóxicos en el sistema cardiovascular y en la sangre se incluyen los siguientes:

- cáncer de médula ósea;
- arterioesclerosis (aparentemente, tiene un componente ambiental), y
- anemia (reducción significativa de glóbulos rojos).

## **Sistema reproductor**

Tanto el **sistema reproductor** femenino como el masculino poseen estructuras que crean y almacenan células sexuales (gametos) y ambos tienen mecanismos y conductos diseñados para conseguir que estos gametos lleguen a un punto en el que puedan unirse. Sin embargo, los dos sistemas divergen después de la fecundación. Solo el sistema femenino es capaz de alojar al embrión y al feto, nutrirlo y alumbrarlo.

Los contaminantes tóxicos del aire pueden interferir con el proceso reproductor en diversos puntos. El dibromocloropropano y otros insecticidas pueden truncarlo en su origen; por ejemplo, al bloquear la formación de esperma. Asimismo, la radiación y algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés: *polycyclic aromatic hydrocarbons*) pueden interferir en la misma etapa en el sistema femenino al detener el desarrollo de gametos o causar esterilidad permanente. Los efectos tóxicos en el sistema reproductor incluyen los siguientes:

- disminución del índice de fertilidad (femenina o masculina);
- incapacidad del embrión o feto para sobrevivir;
- teratogénesis o alteración en la descendencia (mayores detalles en la siguiente sección), y
- cáncer (por ejemplo, a los ovarios o a la próstata).

*Un embrión o feto en etapa de crecimiento constituye otro posible receptor final de la toxicidad en el sistema reproductor.*

## **Sistema endocrino**

Además del sistema nervioso, otro sistema que ayuda a integrar las actividades corporales y a mantener la constancia del ambiente interno en el ser humano es el sistema endocrino. Si comparamos el sistema nervioso con una intrincada red telefónica, de comunicación casi instantánea, el sistema endocrino corresponde al sistema postal, por ser

un poco más lento. Este sistema está compuesto de diversas glándulas que, en todo el cuerpo, secretan sustancias químicas llamadas *hormonas*.

Las hormonas son, sencillamente, mensajeros químicos que provocan respuestas particulares en sus blancos. En general, el aparato circulatorio “lleva el correo” al sistema endocrino y entrega las hormonas a sus puntos de acción. El cuadro 2-1 resume los componentes primarios del sistema endocrino del cuerpo humano.

**Cuadro 2-1. Componentes primarios del sistema endocrino**

Glándula(s)	Ubicación	Hormona(s)	Efectos
Pituitaria	Debajo del cerebro	Diversas	Influye en el metabolismo celular en ciertas partes del cuerpo. Ejerce control sobre otras glándulas endocrinas.
Tiroides	En el cuello, alrededor de la laringe.	Diversas	Controla el metabolismo y el desarrollo celular. Controla los suministros de energía corporal.
Paratiroides (2)	Cerca de la tiroides.	Parathormonas	Controla los niveles de calcio y de iones fosfóricos en la sangre, decisivos para el funcionamiento apropiado de los nervios y músculos.
Suprarrenal (2)	Una sobre cada riñón	Esteroides	Mantiene el equilibrio adecuado de agua y sal en la sangre.
		Epinefrina y norepinefrina	Prepara el cuerpo para la dinámica de "lucha o huida".
Islotes de Langerhans	Dispersos en todo el páncreas	Glucagón e insulina	Controla el metabolismo de los carbohidratos.
Gónadas (ovarios en la mujer y testículos en el hombre)	Abdomen inferior	Diversas	Controla el desarrollo de las características sexuales secundarias.

El cáncer es la principal amenaza para el funcionamiento adecuado del sistema endocrino y, como es conocido, puede tener efectos de gran alcance.

7. Identifique tres componentes sanguíneos diferentes y describa la función de cada uno.
8. Mencione tres efectos tóxicos en el sistema reproductor humano.
9. Describa brevemente cómo funciona el sistema endocrino.

## **Sistema excretor**

El cuerpo tiene muchas maneras de librarse de los materiales no deseados. Prácticamente cualquier sustancia que sale del cuerpo es un portador potencial de tóxicos: la orina, las heces, el aire espirado, la transpiración, las lágrimas e incluso la leche. Ya hemos tratado acerca de algunas de estas sustancias al hablar de los sistemas corporales. La presente sección se centra en la orina y los riñones, que remueven esos residuos que pueden volverse solubles en el agua.

Los riñones son filtros complejos y elaborados que tamizan el suministro de sangre al cuerpo, remueven los residuos y retienen los materiales esenciales, como los nutrientes y el agua. En consecuencia, los riñones controlan la composición tanto de la orina como de la sangre. Para que los riñones sean efectivos, el flujo sanguíneo debe ser constante y el aparato que funciona como filtro debe mantenerse despejado y activo. Las sustancias que interfieren con el flujo uniforme de la sangre y la orina o que alteran la filtración o los mecanismos de resorción se denominan sustancias tóxicas renales. El cadmio, el mercurio, el tetracloruro de carbono y el cloroformo son algunos de los más comunes.

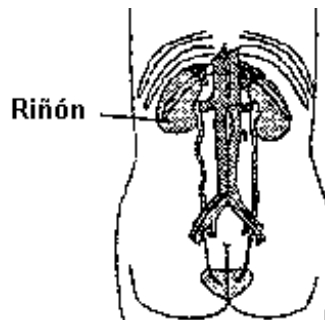
La orina producida por los riñones se transporta, a través de tubos llamados *uréteres*, a la vejiga, el depósito del sistema excretor. Aquí se almacena hasta que se excrete del cuerpo a través de otro tubo, la uretra.

Muy similares al hígado, los riñones se encuentran en extrema desventaja cuando se exponen a contaminantes ambientales. No solo son blanco de algunos tóxicos sino que también deben procesar la sangre, lo cual prácticamente garantiza que cualquier compuesto químico que el cuerpo haya absorbido entre en contacto con ellos.

*Como principales filtros sanguíneos del cuerpo, los riñones no solo determinan qué abandona el cuerpo sino también qué permanece en él.*

---

Entre los efectos tóxicos en el sistema excretor están los siguientes:



- Disminución en la tasa de filtración.
- Obstrucción del flujo de orina.
- Deterioro de los túbulos renales (con filtración posterior).
- Cáncer.

## Sistema inmunológico

El sistema inmunológico es una red de diversos tipos de células esparcidas por todo el cuerpo. Sus tres funciones principales son las siguientes:

- eliminación de agentes infecciosos que invaden el cuerpo;
- vigilancia contra neoplasmas que puedan surgir (cáncer);
- rechazo de los injertos tisulares extraños.

*Cuando el sistema inmunológico se neutraliza, el cuerpo pierde parte importante de su sistema de defensa.*

La capacidad de distinguir entre células normales del cuerpo y agentes invasores es decisiva para el cumplimiento de esas funciones. Cuando se pierde la capacidad de hacer dicha distinción, el sistema inmunológico puede atacar partes del propio cuerpo, condición que se conoce como *autoinmunidad*. La neutralización del sistema inmunológico, ya sea intencional (durante un trasplante quirúrgico) o no intencional (por los tóxicos ambientales), a menudo abre la puerta al desarrollo de infecciones y cáncer.

Entre los efectos tóxicos del sistema inmunológico están los siguientes:

- inmunosupresión;
- proliferación incontrolada de células inmunológicas (leucemia);
- alteración de los mecanismos de defensa, y
- alergia (hipersensibilidad) o autoinmunidad.

---

El asma es uno de los tipos principales de hipersensibilidad. En los Estados Unidos, afecta de 3 a 5 por ciento de la población. Tanto trabajadores industriales como consumidores están expuestos a muchos materiales capaces de inducir el asma. Entre los tóxicos transportados por el aire, las sustancias que comúnmente causan el asma incluyen el formaldehído, los plaguicidas, las resinas (por ejemplo, el diisocianato de tolueno), el níquel, el cromo, el mercurio y el berilio.

Se ha demostrado que algunos compuestos de metales pesados producen autoinmunidad. Las investigaciones actuales se centran en determinar el mecanismo que subyace a este fenómeno.

## **Procesos vitales básicos**

Ya que hablamos del funcionamiento corporal normal, retrocedamos hasta las funciones más básicas de la vida: la replicación genética y la división celular. Estos son los procesos que aseguran la continuidad de la vida y la reproducción de las especies. La interferencia en dicho nivel de funcionamiento puede tener consecuencias nefastas debido a que tales procesos son básicos para la existencia.

### *Replicación genética*

En el núcleo de cada célula corporal hay materiales que determinan las características hereditarias, el anteproyecto de quién será uno. A menudo se menciona el ADN, que algunos consideran el ladrillo de la vida. Dicho material se organiza en pequeñas unidades codificadas llamadas *genes*, que rigen cada rasgo físico del cuerpo, desde el color de los ojos hasta la talla de calzado. Los estudios indican que los genes influyen mucho en los procesos de pensamiento y la conducta.

*Cada célula del cuerpo contiene genes codificados, que rigen la apariencia, las funciones corporales, e influyen en el comportamiento.*

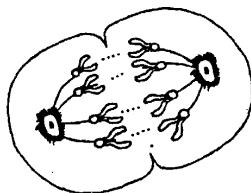
Los genes se agrupan en numerosas hebras denominadas *chromosomas*. Cada especie animal o vegetal tiene un número característico de cromosomas en cada célula normal, llamado *número diploide*. Los gametos, células usadas para la reproducción, son un caso especial: tienen solo la mitad del número diploide estándar de cromosomas (número haploide). De esta manera, cuando dos de los gametos se

---

unen para formar un nuevo organismo, este tiene el número diploide de cromosomas y así se mantiene la integridad de las especies.

El número diploide para el hombre es 46. Se podría pensar que los demás organismos, ya que son menos avanzados que los seres humanos, tienen menos cromosomas, pero esto solo es cierto para el número de genes, mas no para el de cromosomas. Aunque las moscas de la fruta tienen solo 8 cromosomas y el maíz 20, los caballos tienen 66, la pimienta negra 128, y los cangrejos de río 196.

*Cada vez que una célula se divide, los genes deben duplicarse.*



Es importante entender que todas las plantas y animales producen continuamente células nuevas. Cuando un organismo unicelular produce una célula nueva, en realidad ha creado un nuevo organismo. La mayoría de plantas y animales produce células nuevas ya sea para crecer o para reemplazar las células viejas o gastadas. Para mantener la integridad de una especie y asegurar la salud y el bienestar de cada célula y organismo, cada nueva célula producida debe tener el número de cromosomas que caracteriza a la especie. (La excepción se da en la formación de gametos, como se mencionó anteriormente.) En otras palabras, para cada célula nueva todos los genes deben copiarse y reproducirse exactamente. La replicación de genes es un proceso complejo, minuciosamente sincronizado, que implica la interacción conjunta de muchas partes de las células. Después de la réplica, la célula está preparada para dividirse.

### *División celular*

En el cuerpo ocurren dos tipos básicos de división celular: mitosis y meiosis. Los nombres no son lo más importante; más bien conviene comprender cuáles son las diferencias entre ambos procesos. La mitosis es la división celular regular y cotidiana para formar células nuevas e idénticas. La meiosis consiste en el proceso por el cual se crean células germinales, con el número haploide de cromosomas. En general, la mitosis ayuda a mantener la uniformidad en un individuo, mientras que la meiosis contribuye a sostener la

integridad y a promover una diversidad beneficiosa dentro de una especie. Del mismo modo que la replicación genética, ambos procesos implican un manejo complicado y coordinado de los componentes subcelulares. Las principales diferencias entre mitosis y meiosis se resumen en el cuadro 2-2.

**Cuadro 2-2. Comparación entre mitosis y meiosis**

Criterio	Mitosis	Meiosis
Número de divisiones celulares	Una	Dos
Número de células formadas	Dos	Cuatro
Número de cromosomas en cada célula formada	Diploide	Haploide
Tipo de célula formada	Somática (cuerpo) - completamente idéntica	Germen (gametos) - completamente diferente

De acuerdo con lo antes mencionado, el proceso de mitosis es continuo en los organismos vivos y en la mayoría de células ocurre bastante rápido. Algunas células del cuerpo se dividen una vez cada 20 minutos. Con esta tasa, una célula podría multiplicarse en aproximadamente 70 mil millones de células en medio día (es evidente que eso no sucede: la división celular de individuos saludables es cuidadosamente regulada por los genes). Es fácil observar por qué es tan importante hacer copias exactas de genes; un pequeño error puede ser grave. La próxima sección trata diversos tipos de efectos adversos, incluidas las mutaciones y el cáncer, los dos problemas principales que ocurren con la replicación genética y la división celular.

*Las células del cuerpo humano crecen y se dividen constantemente.*

10. ¿Por qué los riñones se encuentran en gran desventaja en cuanto a las exposiciones tóxicas ambientales?
11. ¿Cuáles son las tres funciones principales del sistema inmunológico?
12. Las hebras pequeñas del ADN que controlan los rasgos físicos e influyen en parte en la conducta se denominan \_\_\_\_\_.

---

## ¿Cómo afectan los contaminantes tóxicos del aire la manera en que funciona el cuerpo?

Los contaminantes tóxicos del aire pueden clasificarse de diversas maneras. Este curso introduce brevemente los tres esquemas más comunes de clasificación: según las fuentes, según los efectos que tienen en la salud y según sus propiedades químicas. Ya revisamos cómo funciona el cuerpo cuando está saludable, así que veamos primero la clasificación de contaminantes tóxicos según sus efectos en la salud.

*Las sustancias tóxicas tienen una amplia gama de efectos en el sistema corporal del ser humano.*

Cuando se buscan las causas de muchas enfermedades y condiciones de salud, los investigadores generalmente sospechan que los factores son agentes ambientales no infecciosos. Estos pueden tener la forma de productos químicos, radiación o ciertos fenómenos o materiales físicos, y sus efectos van desde la mera irritación hasta la muerte de las células, los tejidos o incluso del organismo. Los agentes tóxicos pueden ejercer sus efectos en todo el cuerpo de diferentes maneras y en diferentes sistemas. Según sus efectos, los tóxicos se suelen clasificar en las siguientes categorías:

- mutágenos;
- carcinógenos;
- tóxicos del desarrollo (teratógenos);
- neurotóxicos;
- tóxicos hepáticos o hepatotóxicos;
- tóxicos pulmonares;
- tóxicos que causan disfunción reproductora;
- agentes tóxicos de efectos agudos, y
- agentes tóxicos de efectos crónicos.

Dado que esta clasificación se basa en los efectos, las diferentes categorías no son mutuamente excluyentes. Las sustancias químicas a menudo afectan a varios órganos, pero también pueden causar diferentes tipos de toxicidad en un solo órgano. Por ejemplo, un mismo tóxico puede ser carcinógeno, mutágeno y, por tanto, entrar también en la clasificación de agentes que producen efectos crónicos; los neurotóxicos generalmente son de efectos tóxicos agudos; etcétera.



---

## Mutágenos

Los mutágenos son sustancias que causan mutaciones o alteraciones en el material genético. Según lo que hemos visto en la sección sobre reproducción celular, el material genético (ADN) es el “anteproyecto” que controla toda la actividad celular, desde la producción de energía hasta su reproducción. La alteración de este “anteproyecto” puede conducir a un funcionamiento inadecuado de la célula. En realidad, las mutaciones constituyen el hecho principal entre diversos tipos de efectos adversos en la salud. Por ejemplo, se cree que la mayoría de tipos de cáncer surgen de un daño provocado sobre un gen que controla la división celular.

*Un mutágeno es una sustancia que altera el material genético.*

La alteración del material genético de una célula puede adoptar tres formas:

- cambio en la composición química del ADN;
- alteración del ajuste físico del ADN, y
- adición o supresión de todos los cromosomas.

En términos técnicos, solo la primera alteración, el cambio químico, se considera una mutación. Los genetistas clasifican el reajuste físico del ADN como un hecho clastogénico y la presencia de un número anormal de cromosomas en una célula se llama *aneuploidea*. Los términos nuevos no son lo más importante en esta sección. Para fines de la exposición, considérese cualquier alteración anormal del material genético como una mutación y cualquier agente que causa tal cambio como un mutágeno.

Es importante señalar que la mayoría de células son capaces de reparar el ADN. Siempre que estos mecanismos de reparación estén intactos, se puede confiar en que la mayoría de mutaciones se corregirá antes de que creen un problema. Sin embargo, cuando se comprometen los mecanismos de reparación es probable que un mayor número de mutaciones genere consecuencias adversas. Algunos estudios han indicado que el deterioro del sistema de reparación del ADN es responsable en parte de muchos de los efectos adversos en la salud que generalmente se observan en la edad avanzada.

*Por lo general, las células saludables son capaces de reparar el material genético dañado.*

---

El daño genético puede conducir a una serie de efectos, que van desde el funcionamiento celular deficiente a la muerte celular o incluso la muerte del organismo. Veamos:

Un cambio en el ADN puede alterar las proteínas de las células. Qué proteínas se ven afectadas y en qué tipo de células ocurre la alteración son factores importantes para determinar los efectos finales. Cuando la mutación ocurre en una célula del embrión en desarrollo, el resultado puede ser una anomalía reproductiva (aborto espontáneo) o la generación de anormalidades en la descendencia. Si la mutación afecta a una proteína que controla el funcionamiento celular adecuado, el resultado puede ser una enfermedad crónica. Las alteraciones genéticas que afectan la reproducción celular pueden detener la proliferación de una célula y causar su muerte o su proliferación incontrolada, como en un cáncer.

Asimismo es posible que el daño genético no tenga efecto perjudicial alguno. Debe recordarse que cada célula del cuerpo tiene un complemento total de cromosomas; es decir, cada célula contiene toda la información necesaria para la estructura y el funcionamiento adecuado de todo el cuerpo. Obviamente, gran parte del ADN en una célula está inactiva. Por ejemplo, una célula en la planta del pie no usa el plan genético específico para la producción de saliva. Si el gen o los genes codificados para la producción de saliva estuviesen dañados en una de las células del pie, nadie lo notaría, y la salud no se vería afectada; sería una “mutación silenciosa”.

Entre los mutágenos gaseosos o transportados por el aire más comunes están el DDT, la dioxina, el ozono, las sales de plomo, el benceno y el cloruro de vinilo. El cloruro de vinilo puede causar una mutación que por lo general desemboca en una clase particular de cáncer hepático.

13. Defina brevemente los mutágenos.

14. Presente dos razones por las cuales una mutación puede no tener un efecto evidente.

---

## Carcinógenos

Los carcinógenos son las sustancias químicas que inducen el cáncer. El cáncer es el crecimiento anormal e incontrolado de células; también se le llama *neoplasia* o *tumor*. Actualmente, el cáncer constituye una preocupación central de salud en el mundo. Cerca de 20 por ciento de todas las defunciones acaecidas en los Estados Unidos se relacionan con el cáncer. Además, se calcula que en los Estados Unidos entre 50 y 90 por ciento de todos los tipos de cáncer están relacionados con factores ambientales asociados con el estilo de vida y la exposición industrial. Un buen ejemplo de un factor vinculado con el estilo de vida es el tabaquismo, que ha sido relacionado con el cáncer al pulmón, a la laringe, al páncreas y a la vejiga.

Cuatro reacciones que indican una tasa anormal de incidencia de neoplasias son las siguientes:

- presencia de tipos de tumores no vistos en los controles;
- mayor incidencia de tipos tumorales observados naturalmente en los controles;
- aparición temprana de tumores, y
- mayor número de tumores por individuo en un grupo de exposición, comparado con los miembros del grupo control.

La carcinogénesis —la inducción y formación de un tumor— parece ser un proceso gradual que empieza con un químico. Este hecho inicial es, generalmente, una alteración genética. Sin embargo, debe recordarse que la mayoría de células tiene la capacidad de reparar el ADN; por consiguiente, no todas las células que han pasado por este evento inicial desarrollan el cáncer. La etapa siguiente en la carcinogénesis involucra a una sustancia química promotora. Un promotor es un carcinógeno que trabaja para incrementar la incidencia de cáncer solo después de que ha ocurrido el inicio de la enfermedad. El desarrollo de cáncer requiere, al parecer, exposiciones repetidas por un periodo prolongado y los estudios han indicado que los efectos pueden ser reversibles cuando cesa la exposición. Algunas sustancias químicas tienen la capacidad de ser iniciadores y promotores, y se las denomina apropiadamente *carcinógenos completos*.

*Los carcinógenos son sustancias que causan un crecimiento celular anormal o incontrolado.*

*Los iniciadores químicos son necesarios para empezar el proceso de carcinogénesis.*

*Una sustancia química promotora actúa para incrementar la incidencia de cáncer, pero solo después de que la iniciación ha ocurrido.*

*Los carcinógenos ambientales se tornan nocivos, en su mayor parte, solo después de su conversión a partir de alguna forma inofensiva.*

También deberíamos familiarizarnos con algunos otros términos referentes a la carcinogenicidad. Un carcinógeno primario es una sustancia que por el solo hecho de estar en el ambiente produce cáncer. Por otro lado, un procarcinógeno se convierte en carcinógeno solo después de una conversión a partir de una forma benigna. La mayoría de los carcinógenos ambientales son de este tipo. Los cocarcinógenos, aunque no son carcinogénicos en sí mismos, incrementan la potencia del efecto carcinogénico de otras sustancias químicas.

Aunque en los últimos años se ha aprendido mucho acerca del inicio y desarrollo de cáncer, todavía es difícil establecer relaciones claras de causa y efecto para posibles carcinógenos. Una dificultad para identificar carcinógenos específicos es su prolongado periodo de latencia, comúnmente de 15 a 40 años entre la exposición y la manifestación de la enfermedad. No obstante, los investigadores redoblan sus esfuerzos para advertirnos acerca de los carcinógenos potenciales. Debido a la estrecha relación entre carcinogenicidad y mutagénesis se usan algunas pruebas de corto plazo sobre mutagenicidad como pruebas de tamizaje para la carcinogenicidad. Sin embargo, actualmente ninguna de estas pruebas es suficiente para hacer un juicio definitivo acerca de la carcinogenicidad. La evidencia más concreta generalmente proviene de los estudios epidemiológicos realizados con seres humanos.

El cuadro 2-3 presenta una lista parcial de los carcinógenos humanos comprobados y de los probables, junto con los principales lugares del cuerpo donde ejercen su toxicidad.

**Cuadro 2-3. Algunos carcinógenos humanos y sus ámbitos corporales de toxicidad**

Compuesto químico	Ámbitos carcinogénicos
A-Aminobifenil	Vejiga
Asbesto	Pulmones, mesotelio
Benceno	Médula ósea
Bencina	Vejiga
Berilio	Pulmones
Cromo	Vías respiratorias
Radionucleidos	Médula ósea, pulmones
Cloruro de vinilo	Hígado

---

Los radionucleidos son una clase particular de mutágenos y carcinógenos. Ya en el siglo XVI, la radiación causaba una enfermedad mortal al pulmón en los mineros europeos. A inicios del siglo XX, esta enfermedad se asoció con el radón.

*Las mutaciones y el cáncer son los principales problemas de salud relacionados con la exposición a la radiación.*

La radiación ionizante se diferencia de la luz visible y de otras radiaciones de bajo nivel en el hecho de que puede desprender electrones a partir de átomos. Cuando este tipo de radiación transfiere su energía a una célula y desprende los electrones orbitales que integran a los átomos en moléculas, la célula puede morir o sobrevivir dañada. La mutación resultante puede iniciar el cáncer o transmitirse a la descendencia.

Los estudios realizados en Japón con los sobrevivientes de la bomba atómica —que sirven de base para las normas actuales de exposición a la radiación— indicaron que la leucemia mieloide, un cáncer a la médula ósea, fue el único que resultó de la exposición a la radiación. Recientes estudios han revelado que la exposición ocupacional a la radiación ionizante de bajo nivel aumenta el riesgo de cáncer en los tejidos respiratorios, digestivos y los que forman la sangre.

## **Tóxicos del desarrollo**

En la sección anterior sobre mutágenos se mencionó que algunas mutaciones pueden causar anormalidades en la descendencia. Los agentes que dañan directamente al feto en dosis que no afectan a la madre se clasifican como teratógenos. Estos son solo un tipo de sustancias tóxicas del desarrollo. Entre los efectos teratogénicos se pueden mencionar: órganos o estructuras tisulares anormales, funcionamiento metabólico o químico deficiente y retardo mental. Algunas anormalidades teratogénicas y disfunciones pueden ser tan sutiles como para no tener prácticamente efecto alguno sobre el organismo.

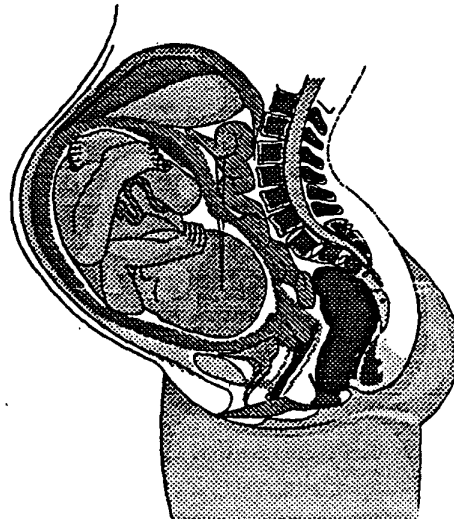
*Los teratógenos son sustancias que dañan al feto pero no a la madre.*

Un factor importante que influye en la toxicidad de los teratógenos, además de los factores estándar de toxicidad —magnitud y duración de la exposición— es el tiempo en que ocurre la exposición durante el desarrollo del feto. Cada sistema corporal en desarrollo pasa por un periodo crítico durante el cual es particularmente sensible al desarrollo anormal químicamente inducido. En los seres humanos, la

---

mayoría de estos períodos de desarrollo crítico se presentan entre la tercera y la duodécima semana de desarrollo del feto. Por lo general, las anomalías producidas por la exposición después de este periodo son menos graves.

*Un factor crítico en la teratogenicidad es la etapa de desarrollo del feto en la que ocurre la exposición.*



Otras sustancias tóxicas que afectan el desarrollo pueden ejercer sus efectos durante los primeros años de vida, antes de que todos los sistemas del cuerpo terminen de desarrollarse. Un ejemplo es el plomo, que puede impedir el crecimiento del sistema nervioso central y causar discapacidades permanentes en el aprendizaje si los niños lo consumen o inhalan. Otros teratógenos químicos supuestos o conocidos incluyen la dioxina, el mercurio orgánico, el arseniato de sodio y el humo del cigarrillo.

15. Describa brevemente el cáncer.
16. Un carcinógeno promotor no puede causar cáncer hasta que sea activado por un \_\_\_\_\_.
17. ¿Qué es un teratógeno?

### **Neurotóxicos**

La toxicidad puede ocurrir en diversos puntos del sistema nervioso.

- cerebro;
- otros cuerpos de células nerviosas;

- 
- fibras nerviosas;
  - vainas de mielina que cubren las fibras nerviosas;
  - uniones de nervio a nervio y de nervio a músculo.

Las células nerviosas tienen una tasa metabólica alta y, por consiguiente, requieren más oxígeno que otras células corporales. Dado que un suministro adecuado de oxígeno es esencial para un buen funcionamiento cerebral, cualquier sustancia que comprometa el flujo sanguíneo al cerebro (el cianuro, por ejemplo) puede causar graves daños.

El plomo es un neurotóxico típico, muy conocido por sus efectos perjudiciales. Algunos historiadores creen que la caída del Imperio Romano puede haberse debido, en parte, a los efectos adversos del plomo en las cañerías. La potencia extrema del plomo se atribuye, parcialmente, a sus diversos mecanismos de acción. Puede afectar el funcionamiento neuronal al degenerar los axones, destruir la vaina de mielina e interferir con los neurotransmisores químicos en la sinapsis.

*El plomo ataca el sistema nervioso de diversas formas.*

Los insecticidas organofosforados (por ejemplo, el malatión y el paratión) también interfieren con la función química de neurotransmisión del sistema nervioso, comúnmente causan debilidad y parálisis y a veces la muerte. Otros ejemplos de productos neurotóxicos son la acrilamida, el DDT y algunas formas de mercurio.

## **Hepatotóxicos (tóxicos del hígado)**

Como se indicó anteriormente, los efectos tóxicos en el hígado incluyen la acumulación de grasa, la ictericia, la muerte celular, la cirrosis y el cáncer. Además, las sustancias químicas que incrementan o disminuyen los niveles de enzimas metabólicas en el hígado pueden afectar la toxicidad de otros compuestos mediante la alteración de su metabolismo.

*El tetracloruro de carbono es un hepatotóxico prominente.*

El tetracloruro de carbono, probablemente el hepatotóxico más conocido, no es tóxico para el hígado en su forma no metabolizada. Esta es una de esas sustancias químicas cuya toxicidad se ve incrementada por el hígado en lugar de disminuir. Además, se sabe que los efectos tóxicos del tetracloruro de carbono en el hígado (que incluyen casi todos los extremos tóxicos mencionados anteriormente) se intensifican cuando se exponen previamente al alcohol.

---

Otros hepatotóxicos comunes son el berilio, el cloroformo, el tricloroetileno y el cloruro de vinilo. El berilio produce necrosis; el cloroformo y el tricloroetileno producen necrosis e hígado graso; los vapores de cloruro de vinilo pueden causar cáncer hepático.

### **Tóxicos pulmonares**

Los efectos tóxicos en los pulmones incluyen la irritación y constricción de las vías respiratorias, la necrosis, el edema (retención excesiva de líquido), la fibrosis (cambios en el tipo o la composición de las células) y el cáncer. Los resultados finales varían desde el malestar hasta la asfixia y la muerte. Aunque los efectos irritantes generalmente son reversibles, la exposición crónica a un irritante puede conducir al daño celular permanente.

El asbesto, el arsénico y la radiación son tres de las causas más comunes de cáncer de pulmón. El asbesto también puede causar fibrosis, tal como otros agentes minerales. La sensibilización alérgica y su posterior irritación y edema son los resultados comunes de la exposición a los compuestos como el diisocianato de tolueno.

18. Describa cuatro formas en que las toxinas pueden afectar el sistema nervioso.
19. Identifique seis consecuencias de la toxicidad en el hígado.
20. Los efectos irritantes en los pulmones son irreversibles... ¿siempre, a veces, nunca?

### **Agentes que causan disfunciones reproductoras**

Los contaminantes tóxicos del aire que causan disfunciones reproductoras pueden clasificarse en tres tipos generales:

- aquellos que reducen la fecundidad;
- aquellos que reducen las oportunidades de que el embrión o feto sobreviva, y
- aquellos que causan efectos teratogénicos.



---

Ya hemos abordado los teratógenos —productos químicos que causan defectos congénitos— en la clasificación de los tóxicos que afectan el desarrollo.

Los agentes que reducen la fecundidad pueden actuar en los mecanismos reproductores del hombre o de la mujer. La toxicidad en los ovarios se puede observar mediante la quimioterapia con la radiación. Además, los investigadores han informado que algunos hidrocarburos poliaromáticos (PAH, por sus siglas en inglés) afectan directamente a los oocitos. Algunos de estos compuestos, como el benzopireno y el dimetil-benzantraceno, son productos de combustión. En cuanto al sistema masculino, ya se ha establecido claramente que el dibromocloropropano, un insecticida, es un compuesto antiespermatogénico.

### **Otros agentes tóxicos que provocan efectos agudos o crónicos**

Algunos tóxicos no aparecen en las siete clasificaciones anteriormente presentadas. Estos se clasifican de manera más sencilla según la duración de exposición requerida para provocar una respuesta tóxica. Algunos agentes son intensamente tóxicos y provocan una respuesta solo después de una exposición de corto plazo. El formaldehído es un agente tóxico que produce efectos agudos como irritación de los ojos, de la piel y de los revestimientos respiratorios. Otras sustancias requieren una exposición de largo plazo o en forma repetida para tener un efecto. Se dice que dichas sustancias presentan una toxicidad crónica.

Aunque el asbesto también es tratado como un tóxico pulmonar, es un ejemplo típico de tóxico que produce efectos crónicos. El hecho de que cause escaso o ningún efecto agudo hace que el asbesto sea mucho más insidioso. Obsérvese que, generalmente, algunos agentes presentan toxicidad tanto aguda como crónica en diferentes tejidos.

*Los efectos tóxicos en el sistema inmunológico incluyen tanto la estimulación como la inhibición.*

Algunos contaminantes tóxicos del aire pueden inhibir o suprimir el sistema inmunológico. La estimulación ocurre mediante uno de varios mecanismos: la producción de una respuesta alérgica o desencadenando la producción de sustancias químicas como el interferón, un intermediario de

---

la respuesta alérgica. Las sustancias tóxicas que inhiben el sistema inmunológico pueden aumentar la sensibilidad a la infección y a veces abren las puertas a la carcinogénesis.

21. ¿Cuáles son los tres tipos generales de disfunción reproductora?
22. Las sustancias tóxicas que inhiben el sistema inmunológico pueden aumentar las probabilidades de que el cuerpo desarrolle \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_.

## Respuestas a las preguntas de autoevaluación

1. Absorción.
2. B  
C  
B  
C  
B  
A
3. La forma corporal y el movimiento; la protección de órganos y tejidos; la producción de glóbulos sanguíneos.
4. Efectuar el intercambio de gases en la sangre.
5. Un equilibrio químico adecuado en las membranas de las neuronas y en las brechas existentes entre ellas es esencial para la transmisión fluida de los impulsos nerviosos.
6. El hígado secreta la bilis, una sustancia que descompone las gotas grandes de grasa y activa las enzimas que la digieren.
7. Los glóbulos rojos transportan los gases, principalmente  $O_2$  y  $CO_2$ ; las plaquetas son importantes para la coagulación de la sangre; los leucocitos ayudan a atacar a los agentes que causan enfermedades.
8. Reducción de la fecundidad; deficiencias del embrión para sobrevivir; teratogénesis.
9. Las glándulas endocrinas secretan hormonas que son transportadas por el torrente sanguíneo hasta sus puntos de acción.
10. Dado que los riñones se ocupan de procesar la sangre, están expuestos a casi todos los agentes tóxicos ambientales que se introducen en el cuerpo.
11. Eliminación de los agentes infecciosos; vigilancia contra eventuales neoplasias; rechazo de los agentes tisulares extraños.
12. Genes.
13. Los mutágenos son sustancias que causan mutaciones o alteraciones en el material genético.
14. La mayoría de las células tiene mecanismos de reparación del ADN; las mutaciones a menudo se corrigen antes de que puedan causar algún daño.
16. Iniciador.
17. Un teratógeno es un producto químico que daña a un feto en desarrollo sin afectar a la madre.

- 
18. Pérdida de oxígeno en el cerebro; degeneración neuronal; destrucción de la vaina de mielina; interferencia química.
  19. Alteración de los niveles enzimáticos, cáncer, muerte celular, cirrosis, acumulación de grasas, ictericia.
  20. A veces.
  21. Disminución del índice de fertilidad y de las probabilidades de supervivencia del embrión o feto, efectos teratogénicos.
  22. Infección, cáncer.

