



Héctor Vielma N.

# 16 Homeostasia y regulación: El mantenimiento de un ambiente interno tolerable para la vida

**i** Cuántas veces habrás oído decir «aquí o allí no se puede vivir», «Ese es un lugar inhóspito». Lo mismo podrían estar diciendo las células, tejidos y órganos de nuestro cuerpo. Ciertamente, hay ambientes en los que no es posible vivir, porque la vida, tal como la conocemos, solo se manifiesta bajo ciertas condiciones, tanto externas como internas, del organismo.

Por ejemplo, los organismos unicelulares están sujetos directamente a todos los cambios de su ambiente externo: a la concentración de oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), sales, acidez, así como a la temperatura e intensidad de la luz. Este ambiente les permite satisfacer todas sus necesidades.

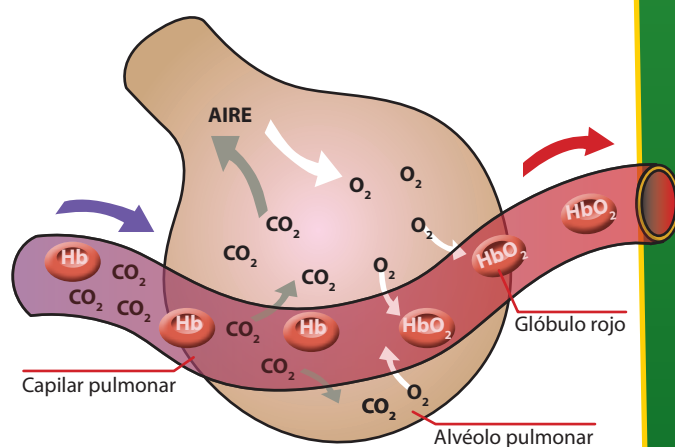
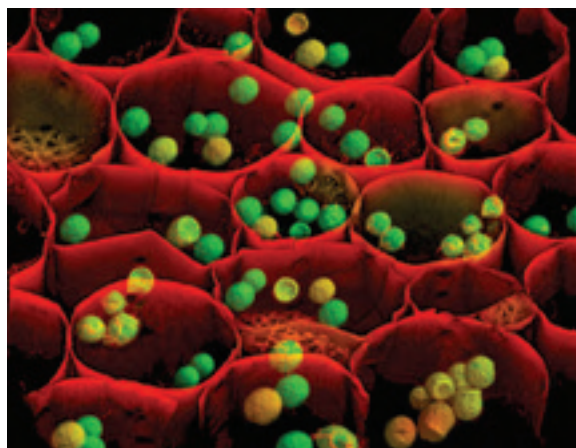
La mayoría de las células de pequeños animales multicelulares simples, como las esponjas y las medusas, funcionan como los microorganismos. Ellas están en contacto directo con un ambiente físico que les permite recibir nutrientes y eliminar desechos. Como te podrás imaginar, este estilo de vida es muy limitado, pues ninguna parte del cuerpo del animal puede tener más que algunas capas de células de espesor, solo aquel que le permita la difusión de los elementos. Por otra parte, cada célula debe ser capaz de satisfacer todas sus necesidades; por lo tanto, el animal está restringido a ambientes que le permitan cubrir todas ellas.

# Un medio interno para la vida

La existencia de animales multicelulares complejos solo fue posible gracias a la evolución de un medio interno. El medio interno consiste en líquidos extracelulares que bañan cada célula del cuerpo, los cuales proporcionan los nutrientes y reciben los desechos. Sus condiciones físicas y químicas deben ser mantenidas en niveles relativamente constantes, favorables para las células. Estas están así protegidas del ambiente externo, lo que hace posible que el animal ocupe un hábitat que sus células no podrían tolerar, si estuvieran expuestas directamente a él.

Tal como sucede en una sociedad, en los organismos multicelulares complejos, como nosotros, las células pudieron especializarse en tareas que contribuirían a mantener aspectos específicos del medio interno. Por ejemplo, algunas se organizaron en tejidos especializados en mantener el equilibrio de la sal y el agua; otras, en aportar nutrientes; mientras que otras, en mantener niveles apropiados de oxígeno y dióxido de carbono.

Además, los tejidos y órganos especializados forman sistemas dentro del ambiente interno del cuerpo, como agrupaciones de profesionales y expertos, que con su trabajo proporcionan algo que todas las células del animal necesitan. Así por ejemplo, los «expertos en digestión y absorción» (sistema digestivo) proporcionan los nutrientes; mientras que los «profesionales de la circulación», entre otras cosas, distribuyen el oxígeno y los nutrientes.



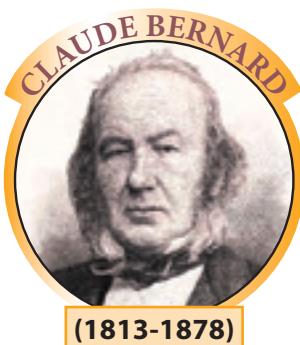
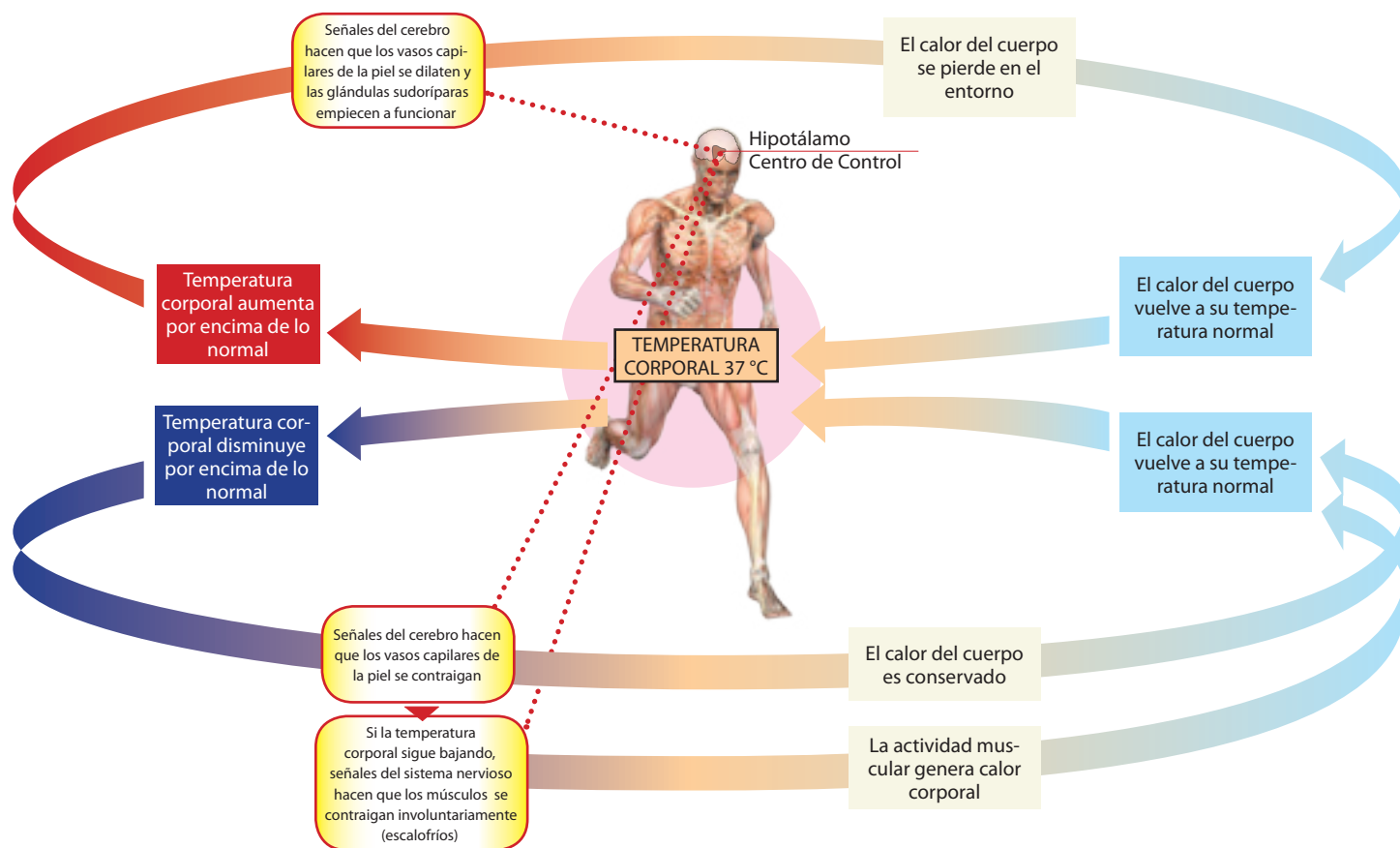
## En búsqueda del equilibrio

La composición del medio interno se perturba continuamente por cambios en el ambiente externo y por las actividades de las propias células. Imagínate en un desierto: debido a la pérdida de agua por sudoración, tu medio interno podría aumentar su temperatura o disminuir su volumen y cambiar su composición. Simultáneamente, tus células captarían nutrientes del medio interno y liberarían desechos en él. Las actividades de tus órganos y tejidos especializados deben corregir de forma continua la composición física y química del medio interno, de manera que permanezca propicio para la vida. El mantenimiento de condiciones relativamente constantes en el medio interno es lo que se denomina homeostasis u homeostasia.



# ¿Cuándo se pierde la homeostasia?

La homeostasia es una condición de equilibrio dinámico esencial en los animales complejos. Si un órgano no funciona adecuadamente, este equilibrio puede llegar a perderse y, como resultado, las células se dañan y mueren. Como el organismo funciona como un todo integrado, no solo se dañan las células del órgano afectado, sino también las de otros órganos, lo cual constituye un problema serio que puede agravarse. Para evitar esto, la actividad de los distintos órganos debe ser controlada y regulada en respuesta a los cambios de los medios externo e interno. Algo similar ocurre en las sociedades humanas, cuyas actividades deben ser controladas y reguladas para que el orden se mantenga y la sociedad funcione; de lo contrario, sobreviene el caos. De hecho, los principios homeostáticos también se aplican a poblaciones y ecosistemas.



El fisiólogo francés Claude Bernard propuso que la estabilidad del medio interno de los organismos era el requisito para su supervivencia. En 1929, el fisiólogo americano Walter B. Cannon extendió esta idea e introdujo el término homeostasia para referirse a la constancia relativa del ambiente interno de los animales y a los mecanismos mediante los cuales esta se mantiene. Este término pronto invadió la literatura médica y a partir de 1930 los médicos hablaban de devolver la homeostasia a sus pacientes. Los políticos y sociólogos también adoptaron este término. Cannon aceptó de buen grado la generalización del concepto y más tarde sugirió que la democracia era la forma de gobierno que alcanzaba el equilibrio homeostático.



# El concepto de homeostasis también se aplica a las plantas

**A**l contrario de los animales, las plantas no cuentan con centros de control como el cerebro. No obstante, ellas cuentan con mecanismos descentralizados que trabajan para mantener el ambiente interno y asegurar la supervivencia de su cuerpo; por ejemplo, las plantas pueden responder a un determinado ataque mediante el engrosamiento de las paredes celulares alrededor de las heridas y secretando fenoles y otros compuestos tóxicos para agentes agresores.

La mimosa púdica es fácilmente distinguible por su reacción al tacto que parece adormecerse, desarrollada como defensa ante los predadores.

Fuente: [img23.imageshack.us/img23/5708/mimosa\\_pudica.jpg](http://img23.imageshack.us/img23/5708/mimosa_pudica.jpg)

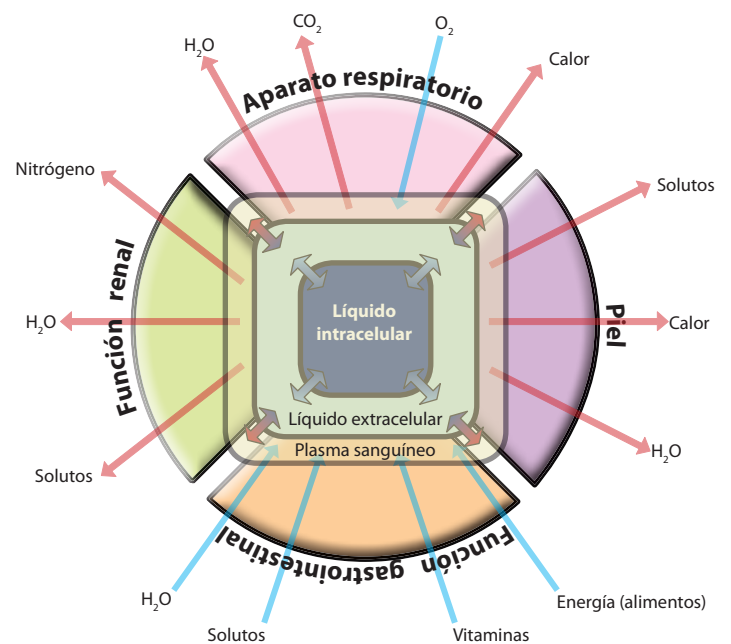


**¿Sabías que** a pesar de la enorme importancia del concepto de homeostasia, Cannon nunca recibió el Premio Nobel? Una lamentable equivocación, reconocida en su oportunidad por el propio Comité Nobel. No cabe duda de que los conceptos introducidos por Bernard y Cannon han sido de notable influencia en la historia de la biología.



## No existen elementos vivos aislados

En el transcurso de la vida de un animal, materia, energía y estímulo, pasan a través del cuerpo produciendo perturbaciones de su estado normal o fisiológico, que deben ser controladas para que este se conserve vivo. Por ello, los seres vivos necesitan regular y mantener estables diversas variables como temperatura, contenido de sal y agua, acidez, concentraciones de nutrientes y otros factores fisiológicos. Cuanto más compleja sea una forma de vida, más estricta será la regulación de su medio interno. Así, las aves y los mamíferos, los animales con las mayores habilidades regulatorias, son capaces de controlar la mayor cantidad de variables, con gran precisión, lo que los coloca en el tope de la escala evolutiva.



**Modelo conceptual de equilibrio en el sistema animal.** Las flechas rojas indican el sentido neto hacia afuera y las azules hacia adentro de los flujos más relevantes. La acción integral de los subsistemas respiratorio, renal, gastrointestinal y de la piel mantiene la homeostasis animal.

Fuente: Freire, E. «Fluindex: un sistema computacional de apoyo a la terapia en medicina veterinaria» en *Avances en Ciencias Veterinarias*, Vol. 7, Nº 1 (1992), Chile. <http://www.revistas.uchile.cl/index.php/ACV/rt/printerFriendly/4688/4575>

# Adaptación y homeostasis

**P**ara favorecer su supervivencia, los seres vivos, en presencia de cambios en el ambiente externo, pueden generar respuestas y hasta modificar «su maquinaria corporal a fin de adaptarse a la nueva situación» (*adaptación fisiológica*). La adaptación también incluye la aclimatación, que se refiere a una serie de cambios adaptativos, como el aumento de glóbulos rojos y hemoglobina. Eso podría ocurrirle a una persona que se mude de una población costera a un pueblo como San Rafael de Mucuchíes (estado Mérida), el más alto de Venezuela.



Los animales también reaccionan a modificaciones en su ambiente mediante mecanismos de cambios de comportamiento, que pueden o no ser parte de un sistema homeostático. Muchos organismos, a través del comportamiento, regulan su medio interno; por ejemplo, una iguana que siente frío, eleva su temperatura interna al reposar bajo la luz solar, tomando de esta manera su «desayuno de sol» sobre una roca caliente. Cuando la iguana empieza a recalentarse, se desplaza en busca de la frescura de una sombra.

Nosotros, al igual que otros organismos, tenemos mecanismos de control que no requieren actividad consciente; así por ejemplo, si te olvidas de almorzar, tu hígado liberará azúcar de la que tiene almacenada para mantener los niveles sanguíneos de glucosa dentro de los límites normales (homeostasia). Las hormonas, los mensajeros químicos que circulan en la sangre (sistema endocrino), regulan, entre otros procesos, el almacenamiento y la liberación de la glucosa, mientras que en otros casos es el sistema nervioso el que participa en la conservación de la homeostasia. En otro capítulo, *Controlando la maquinaria corporal*, tendrás la oportunidad de conocer más sobre estos dos grandes sistemas de control e integración del cuerpo.



**En San Rafael de Mucuchíes**  
Promedio: más de cinco millones de glóbulos rojos

3.140 msnm



**En Pampatar**  
Promedio: cuatro millones de glóbulos rojos

0 msnm

msnm=metros sobre el nivel del mar

Cada animal, de acuerdo con su composición genética, tiene una determinada *tolerancia* a cambios en su ambiente tanto externo como interno, gracias a la cual puede vivir dentro de ciertos límites de condiciones ambientales. Más allá, el organismo puede todavía sobrevivir a extremos ambientales y adaptarse, pero cuando estos superan su capacidad de adaptación, el organismo corre el riesgo de morir. La aclimatación modifica la tolerancia y la resistencia a condiciones cambiantes.

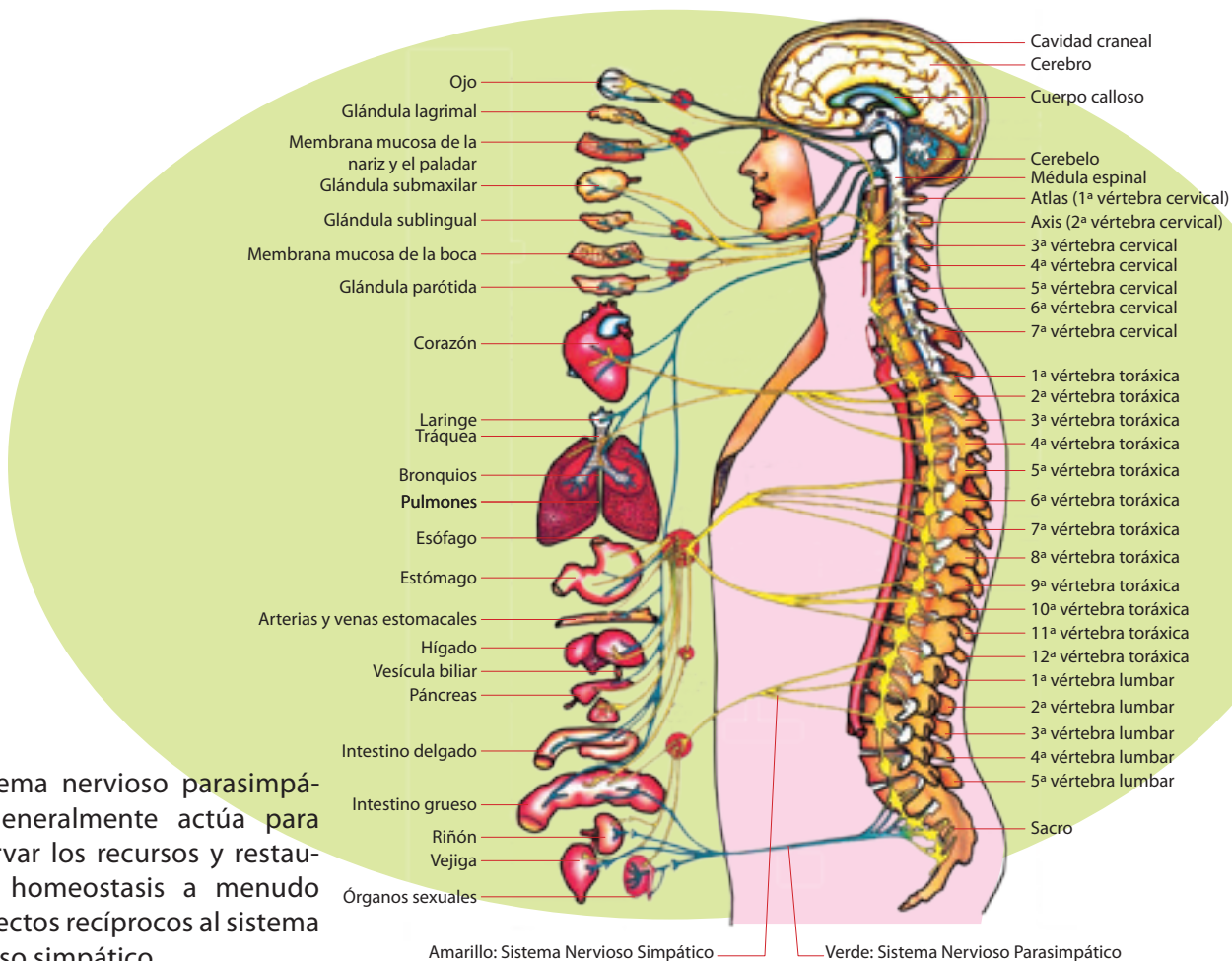


# El control y la regulación homeostática requieren información

Hoy en día, quizás los niños y los adolescentes son los más familiarizados con mensajes, señales y canales de comunicación de sus televisores, computadoras y celulares, que les permiten informarse y comunicarse. De manera similar, la separación física de los tejidos y órganos de nuestro cuerpo hacen necesarios mensajes, señales y canales de comunicación a distancia para controlar sus funciones. Pero, ¿cuáles son estos canales y sus respectivos mensajes y señales? Estos son:

1. Las fibras nerviosas, a lo largo de las cuales se propagan «mensajes eléctricos» (impulsos nerviosos o potenciales de acción), que hacen que ellas liberen sustancias químicas.
2. Los neurotransmisores, que a su vez actúan en las fibras nerviosas vecinas, para generar o impedir los impulsos nerviosos.
3. La circulación, que transporta hormonas que llevan «mensajes químicos».
4. El espacio extracelular, a través del cual se difunden las hormonas y los neurotransmisores.

En los músculos y glándulas, las señales eléctricas y químicas utilizadas para transmitir mensajes deben ser captadas y convertidas en respuestas; por ejemplo, liberando nuevas sustancias químicas y generando impulsos nerviosos en músculos, que hacen que estos se contraigan y produzcan acciones específicas, como el latido cardíaco o el movimiento de nuestros brazos y piernas.



El sistema nervioso parasimpático generalmente actúa para conservar los recursos y restaurar la homeostasis a menudo con efectos recíprocos al sistema nervioso simpático.

# Homeostasia y retroalimentación informativa

Como ya se explicó, la homeostasia es un estado de equilibrio dinámico que mantiene el medio interno del cuerpo dentro de ciertos límites de condiciones que las células puedan tolerar. En casi todos los animales hay tres tipos de componentes que interactúan para mantener el equilibrio homeostático: los receptores sensoriales, los integradores y los efectores. Los receptores sensoriales son células o partes de ellas que detectan formas de energía, como la presión. Cualquier forma de energía específica que un receptor detecte es un estímulo; por ejemplo, cuando un ser humano besa a otro, la presión de sus labios cambia, los receptores de los tejidos del labio traducen el estímulo en señales que viajan al cerebro. El cerebro es un ejemplo de un integrador, un puesto de mando central que recopila información acerca de los estímulos y envía señales a músculos, glándulas o a ambos. Estos son los efectores del cuerpo, que proporcionan las respuestas adecuadas. Una respuesta al beso podría ser ruborizarse o devolverlo.

El cerebro también evalúa la información de cómo debieran estar operando las cosas con relación a puntos de referencia; por ejemplo, cuando la concentración de  $\text{CO}_2$  en la sangre que pasa por una determinada arteria se desvía mucho del valor normal (punto de referencia), el cerebro inicia acciones para que los efectores específicos, en diferentes regiones del cuerpo, aumenten o disminuyan determinadas actividades, que restablezcan la concentración normal de  $\text{CO}_2$ . Estamos hablando de la retroalimentación informativa de la que existen dos tipos importantes: la retroalimentación negativa y la retroalimentación positiva.

Cuando una variable interna o externa del cuerpo cambia con respecto a límites normales, se dispara una respuesta que revierte el cambio. En este caso, estamos en presencia de una retroalimentación negativa. Para comprenderla, piensa en un horno con termostato. Cuando su temperatura cae por debajo del valor establecido, se envía una señal al mecanismo interruptor que enciende el horno; una vez que este se calienta y coincide con el nivel preestablecido, el termostato envía una señal al mecanismo que apaga el horno. De manera similar, los mecanismos de retroalimentación negativa ayudan a mantener nuestra temperatura corporal basal (alrededor de  $37^\circ\text{C}$ ), tanto en ambientes fríos como cálidos. Por otra parte, cuando sacamos la mano del fuego porque nos estamos quemando, esto también representa un ejemplo de retroalimentación negativa.



Una pequeña actividad: ¿Podrías describir algo que te haya ocurrido que pudiera catalogarse como una retroalimentación negativa?

Piensa ahora en tu perro mascota corriendo en un cálido día. Su cuerpo se calienta y algunos receptores activan eventos que disminuyen la actividad del perro; ahora este busca la sombra y se echa bajo un árbol. Parte de su calor corporal se evapora por la lengua mediante el jadeo. Estos mecanismos de control (conscientes e inconscientes) contrarrestan el sobrecalentamiento, aminorando las actividades que generan calor metabólico y trasladando el calor corporal excedente al aire de su entorno.



La mayoría de los mecanismos de control homeostático de nuestro cuerpo involucran retroalimentación negativa; sin embargo, también existe la retroalimentación positiva (pero necesariamente limitada, pues de lo contrario conduciría a la muerte). Por ejemplo, cuando tenemos sed y tomamos un vaso de agua, y nos damos cuenta de que calma la sed, entonces seguimos tomando; en este caso, estamos experimentando un ejemplo de retroalimentación positiva; pero cuando dejamos de tomarla porque ya no tenemos sed, entonces vivimos un ejemplo de retroalimentación negativa; en todo caso, se ha restablecido la homeostasia. En síntesis, la retroalimentación positiva ocurre cuando una respuesta aumentada, al volver al mecanismo de control, determina un aumento aún mayor. La retroalimentación positiva es poco frecuente, pero vital. Sin ella nuestro sistema nervioso no funcionaría: no se podrían generar los impulsos nerviosos; no podríamos reproducirnos, pues la ovulación también es producto de una retroalimentación positiva; así como el aumento en frecuencia e intensidad de las contracciones uterinas para ocasionar el parto, pero cuando este ocurre, se restablece la homeostasia.

Ahora bien, lo que hemos tratado de describir es un patrón general para detectar, evaluar y responder a un flujo continuo de información acerca de los medios interno y externo de los animales; valga decir, los mecanismos de retroalimentación.

Como habrás podido apreciar, durante toda actividad los diferentes sistemas del cuerpo trabajan de manera asombrosamente coordinada para lograr la homeostasis. A pesar de que la retroalimentación es un mecanismo regulador corporal de una relativa simplicidad, tiene sus desventajas:

- 1) La compensación de los cambios es generalmente incompleta.
- 2) Las respuestas pueden ser lentas.
- 3) Demasiada retroalimentación produce inestabilidad.

Por ello, se requiere que el cuerpo utilice, en combinación con la retroalimentación, el control proporcional que ajusta el rendimiento o respuesta, momento a momento, en proporción con el grado de fluctuación de la variable a controlar (por ejemplo, la temperatura corporal), sin esperar a que ocurra la retroalimentación.





El control proporcional mejora la velocidad de la respuesta, cancela los errores de la retroalimentación y no provoca inestabilidad. Por ejemplo, la piel contribuye a regular la temperatura corporal por medio de receptores (termorreceptores) que funcionan como sensores que captan, momento a momento, las variaciones de temperatura ambiental. Un caso particular es cuando hace frío; esta disminución de temperatura es captada por los termorreceptores que envían señales o impulsos nerviosos al cerebro, lo que genera respuestas antes de que se haya completado la retroalimentación: titiritar, buscar un abrigo, moverse a otro sitio.

Mientras la retroalimentación y el control proporcional son estrategias para la resolución inmediata de problemas de control, la adaptación es una forma de control a largo plazo, es lenta y puede ser muy compleja. Se conocen adaptaciones de todo tipo en toda clase de organismos; por ejemplo, adaptaciones a la salinidad en bacterias, protozoarios, crustáceos, aves y hasta mamíferos (delfines de río). Los cambios por adaptación también incluyen tamaño corporal, consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, etc.



Tu nivel normal de una determinada hormona puede cambiar según sea de día o de noche, o si estás en ayunas o has comido; de lo cual se infiere que los ciclos diurnos y nocturnos, así como el estado metabólico, influyen en los sistemas reguladores del cuerpo. Por otra parte, nuestro cuerpo es «bombardeado» permanentemente por muy variados estímulos a los cuales tiene que responder. Como si fuera poco, la regulación de las funciones corporales depende, en gran medida, de la inhibición y estimulación de manera simultánea.

Por último, los mecanismos biológicos de homeostasia poseen a menudo varios sistemas de retroalimentación capaces de actuar sobre la misma variable, que proporcionan factores de constancia y seguridad al organismo, pero complicaciones y «dolores de cabeza» al estudioso de los sistemas de control biológico. A medida que se conozcan más detalles acerca de los diversos mecanismos homeostáticos y de los puntos en que estos fallan, podrá contarse con terapias más eficaces para contrarrestar muchas enfermedades. En síntesis, «la esencia de la fisiología, es decir, del funcionamiento corporal, y de la vida misma, es la regulación homeostática».

## Cuestiones de bioética Manteniendo las creencias aun a riesgo de perder la vida



Al igual que un sistema bien afinado, el cuerpo constantemente equilibra las sustancias ácidas y básicas para mantener su pH (grado de acidez o de alcalinidad) en un equilibrio dinámico. No obstante, cuando una persona se enferma o está sometida a estrés, el pH puede aumentar o disminuir mucho, lo cual pone en riesgo su vida. En muchos hospitales, los médicos administran de manera invariable soluciones intravenosas de ciertos líquidos para mantener el pH de los pacientes dentro de límites normales; sin embargo, algunas personas se oponen a las soluciones intravenosas y a las transfusiones sanguíneas, entre otras razones, por creencias religiosas. Piensa en el caso de una niña diagnosticada con una leucemia linfoblástica, en la cual la única posibilidad de supervivencia es una transfusión sanguínea, y sus padres, por creencias religiosas, no lo permiten. ¿Tienen los padres el derecho a oponerse a este tratamiento? ¿La libertad religiosa puede estar por encima del derecho a la vida? En nuestro país se ha sentado jurisprudencia al respecto, al establecer el Tribunal Supremo en una reciente sentencia, difundida por un diario de circulación nacional (El Universal, 14-9-2008) que «el derecho a la vida merece protección absoluta, aun en contra de la voluntad de su titular». ¿Estás de acuerdo con esta sentencia?

# Instituto de Zoología y Ecología Tropical

El Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET) está adscrito a la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. Allí se ha constituido un equipo de investigadores y docentes de muy alto nivel, en diferentes áreas de la zoología, ecología y disciplinas afines. La casi totalidad del personal del IZET presta su colaboración a los posgrados de Zoología y Ecología de la Facultad de Ciencias. Puede afirmarse, sin duda alguna, que en la actualidad el IZET es un centro de referencia nacional e internacional sobre la biología del trópico americano y su enseñanza.



gama de actividades científicas de los investigadores del IZET es tan grande que sería muy difícil resumirla en estas breves líneas.

Los investigadores del IZET (ya suman cerca de 60 científicos) han estado presentes en casi todo el país, particularmente en la región llanera, el macizo guayanés, áreas marinas y fluviales, la región amazónica y los humedales. A todo ello habría que sumar ambientes urbanos y suburbanos afectados

por impactos ambientales o sometidos a frecuentes incidencias de enfermedades transmitidas por insectos u otros grupos animales.

Esta institución nació en 1965 bajo el nombre de Instituto de Zoología Tropical (IZT), con el objetivo principal de analizar los diferentes componentes del ambiente tropical y las interacciones que se establecen entre ellos. Sus investigadores han realizado estudios en prácticamente todos los niveles de organización biológica, comenzando desde organismos unicelulares, parásitos o de vida libre, hasta ecosistemas terrestres y acuáticos de distinto grado de complejidad. Sus principales campos de investigación son la sistemática zoológica, la ecología teórica y aplicada, tanto animal como vegetal, ecología microbiana, evolución, parasitología, ecología de suelos. En realidad, la

El IZET cuenta con dependencias como el Museo de Biología, el Acuario Agustín Codazzi y la Biblioteca Janis Racenis, que han tenido gran importancia para la actividad extensionista de este instituto. A ello se añade la publicación *Acta Biológica Venezolana*, la cual es dirigida por investigadores de esta institución. El país tiene cifradas grandes expectativas en cuanto a que el IZET seguirá colaborando en áreas fundamentales para la nación venezolana, como son el inventario y conservación de la biodiversidad, la educación ambiental y la formación de jóvenes científicos en el área de la biología tropical.

## Para saber más...

Goldstein, L. (1982). *Fisiología comparada*. Nueva Editorial Interamericana, México D.F.

Hickman, C. P. Jr.; Roberts, L. S. y Larson, A. (2002). *Principios integrales de zoología*, 11ª edición. McGraw-Hill Interamericana de España.

Purves, W. K.; Sadava, D.; Orians, G. H. y Heller, H. C. (2001). *Vida: la ciencia de la biología*, 6ª edición. Editorial Médica Panamericana.