



Homeostasis

Propósito general

Entender la importancia de los sistemas de control y circuitos de retroalimentación en mantener la homeostasis.

Propósito específico

Entender el concepto de medio interno y su importancia en fisiología.

Explicar la relación entre los conceptos de medio interno y de homeostasis.

1. Introducción

Homeostasis y medio interno

En 1870, Claude Bernard describió los principios básicos de la regulación fisiológica, evidenciando la necesidad del cuerpo de mantener un ambiente interno estable, lo que denominó como una "sorprendente constancia" del medio interno del organismo. Afirmó que los organismos complejos pueden mantener su medio interno (fluido extracelular) constante ante los desafíos del mundo externo. Bernard señalaba que "una existencia libre e independiente es posible solo por la estabilidad del medio interno".

El discurso de Bernard quien, originalmente propuso el concepto de la constancia del "medio interno", fue considerado demasiado abstracto. Hasta que en 1927 Walter Cannon acuñó el término "homeostasis" con la intención de transmitir la idea general propuesta por Bernard, y la definió como "una condición que puede variar, pero permanecer constante". El logro de W. Cannon se centró en ampliar la noción de "constancia" de Bernard del "medio interno" de una manera explícita y concreta. Como escribió en su obra "La sabiduría del cuerpo": "La palabra no implica algo establecido e inmóvil, un estancamiento. Significa una condición, una condición que puede variar, pero que es relativamente constante".

En 1950, N. Wiener utilizó el esquema de un mecanismo de control con retroalimentación negativa como modelo de homeostasis, en donde, el objetivo del control es mantener el nivel constante de sustancias (glucosa en la sangre, oxígeno, hormonas, etc.). La configuración define el nivel deseado de cada variable esencial. El modelo de Wiener representa un sistema de control de lineal, que si bien, se centra en el control de los niveles de sustancias, no reproduce el control de sus flujos. La ventaja de este enfoque radica en su simplicidad. Es por eso por lo que tiene un amplio uso en la actualidad.

En la década de 1960, los mecanismos reguladores homeostáticos en la fisiología comenzaron a describirse como procesos discretos después de la aplicación del análisis del sistema de control de ingeniería a los sistemas fisiológicos. Arthur Guyton



fue el primer autor que incluyó un enfoque de teoría de sistemas de control en su libro de texto, y su libro incluyó una atención detallada a los numerosos mecanismos reguladores del cuerpo. Por lo tanto, Guyton introdujo a muchos estudiantes el concepto de homeostasis como un mecanismo regulador activo que tendía a minimizar las perturbaciones en el medio interno.

La homeostasis fue bien entendida por los fisiólogos, quienes utilizaron la teoría del control para su comprensión. Es un concepto básico y necesario para comprender los mecanismos reguladores de la fisiología, en este sentido la definiremos como; mantener un estado estable dentro de un organismo, independientemente de si los mecanismos involucrados son pasivos (por ejemplo, el movimiento del agua entre los capilares y el intersticio, reflejando un “equilibrio” entre las fuerzas hidrostáticas y osmóticas) o activos (por ejemplo, el almacenamiento y la liberación de glucosa intracelular). Este “equilibrio” está garantizado gracias a los procesos fisiológicos que actúan de manera coordinada en el cuerpo y que impiden que los cambios en el entorno interfieran en su funcionamiento.

Factores como el pH, la temperatura, la osmolalidad del plasma, la glucosa y el calcio son críticos para el funcionamiento normal de la mayoría de los organismos y, por lo tanto, se controlan dentro de límites estrechos.

Para explicar la homeostasis utilizaremos el modelo clásico de sistema de control lineal propuesto por Weiner con la finalidad de que los estudiantes comprendan el concepto, lo analicen y sean capaces de aplicarlo para el estudio de los procesos fisiológicos.

Este estado de equilibrio dinámico es la condición de funcionamiento óptimo para el organismo e incluye variables, como la temperatura corporal y el balance de líquidos, que se mantienen dentro de ciertos límites preestablecidos (rango homeostático). Otras variables incluyen el pH del líquido extracelular, las concentraciones de iones de sodio, potasio y calcio, así como el nivel de azúcar en la sangre, y estos deben estar regulados a pesar de los cambios en el entorno, la dieta o el nivel de actividad. Cada una de estas variables está controlada por uno o más reguladores o mecanismos homeostáticos, que en conjunto mantienen la vida. Un sistema homeostático funciona de manera que provoca que cualquier cambio en la variable regulada sea contrarrestado por un cambio en la salida del efector para restaurar la variable hacia su valor de punto de ajuste. Los sistemas que se comportan de esta manera se dice que son de retroalimentación negativa. La homeostasis es producto de una resistencia natural al cambio de las condiciones óptimas, y el equilibrio es mantenido por muchos mecanismos reguladores. Todos los mecanismos de control homeostático tienen al menos tres componentes interdependientes para la variable que se regula: un **receptor**, un **centro de control** y un **efector**.

El **receptor** es el componente sensorial que controla y responde a los cambios en el entorno, ya sea externo o interno. Ejemplos de receptores son los termorreceptores y mecanorreceptores. El **centro de control** establece el rango de mantenimiento (los límites superior e inferior aceptables) para la variable en particular (como la temperatura). El centro de control responde a la señal determinando una respuesta adecuada y enviando señales a un **efector**, que puede ser uno o más (como los músculos, un órgano o una glándula). Cuando la señal se recibe y se activa, se proporciona una **retroalimentación negativa** al receptor que detiene la necesidad de una señalización adicional. Algunos ejemplos de centros de control incluyen el centro respiratorio y el sistema renina-angiotensina. Un efector es el objetivo sobre el que se actúa, para que el cambio vuelva al estado normal. A nivel celular, los receptores incluyen receptores nucleares que provocan cambios en la expresión génica a través de la regulación a la alta o la baja, y actúan en mecanismos de

retroalimentación negativa. Un ejemplo de esto es el control de los ácidos biliares en el hígado. Algunos centros, como el sistema renina-angiotensina, controlan más de una variable.

Los mecanismos homeostáticos se originaron para mantener una variable regulada en el medio interno dentro de un rango de valores compatibles con la vida.

Para enfatizar el proceso de estabilización, podemos distinguir dos tipos de variables una **variable regulada** (detectada) y una **variable no regulada** (controlada).

Una **variable regulada** (detectada) es aquella para la cual existe un sensor dentro del sistema y que se mantiene dentro de un rango limitado por mecanismos fisiológicos. Por ejemplo, la presión arterial y la temperatura corporal son variables reguladas, porque los barorreceptores y los termorreceptores (estos receptores son los sensores) existen dentro del sistema y proporcionan el valor de la presión y la temperatura, respectivamente al mecanismo regulador.

Las **variables no reguladas** (controladas) son las que pueden ser cambiadas por el sistema, pero para las cuales no existen sensores dentro de él. Las variables no reguladas se modulan para lograr una regulación constante de la variable. Por ejemplo, el sistema nervioso autónomo puede cambiar la frecuencia cardíaca para regular la presión arterial, pero no hay sensores en el sistema que midan la frecuencia cardíaca directamente. Por lo tanto, la frecuencia cardíaca es una variable no regulada.

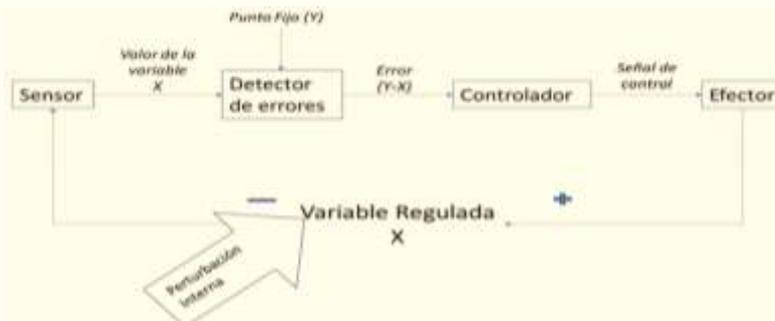


Fig. 1. Diagrama de un sistema de regulación homeostático. Si el valor de la variable regulada (X) cambia por un estímulo que perturbe el medio interno, este sistema intentará regresarlo a un punto fijo (Y), por lo tanto, también se conoce a este sistema como un sistema de retroalimentación negativa. En este ejemplo la variable regulada disminuyó (signo menos), el sensor mide esta perturbación, el detector de errores compara dicha medición (X) con el valor que debe tener (Y) y como salida da una señal de error. El controlador manda una señal de control al efector que se encarga de producir un aumento (signo de +) en la variable regulada para acercarla al punto Y.

El modelo que utilizaremos para explicar un sistema homeostático (ver figura 1) incluye los siguientes cinco componentes críticos:

1. Un **sensor** que mida el valor de la variable regulada.
2. Un mecanismo para establecer el "rango normal" de valores para la variable regulada. En el modelo que se muestra en la Fig. 1, este mecanismo está representado por el "**punto de ajuste**", aunque este término no significa que este rango normal sea en realidad un "punto" o que tenga un valor fijo.
3. Un "**detector de errores**" que compara la señal transmitida por el sensor (que representa el valor real de la variable regulada) con el punto de ajuste. El resultado de esta comparación es una señal de error que es interpretada por el controlador.



4. El **controlador** interpreta la señal de error y determina el valor de las salidas de los efectores.
5. Los **efectores** son aquellos elementos que determinan el valor de la variable regulada.

2. Actividad en la sesión

1. Para comprender el concepto de homeostasis, haremos un experimento utilizando como variable a la frecuencia cardiaca.

La frecuencia cardiaca está modulada principalmente por las acciones de dos sistemas (el sistema nervioso simpático que incrementa la frecuencia cardiaca y el sistema nervioso parasimpático que la disminuye), la frecuencia cardiaca se mantiene en un rango de valor estable para la vida, pero está **controlada** por asas de retroalimentación negativa a través de sensores indirectos (los cuales que monitorizan otros parámetros, por ejemplo, la concentración de gases en sangre, o la presión arterial).

En este ejercicio en primer lugar observaremos dichas fluctuaciones de la frecuencia cardiaca (FC) en el estado de reposo.

Estrategia

- 1) Por parejas calcula la frecuencia cardiaca de tu compañero y regístrala cada 30 segundos, durante 5 min, y grafícala como un histograma utilizando la tabla que se encuentra en el anexo.
- 2) Comparen sus resultados y respondan las siguientes preguntas:
 - a) ¿Cuál es tu FC promedio?
 - b) ¿Cuál es el rango (el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo) de valores en las 10 mediciones?
- 3) Con los datos del grupo construye un histograma considerando los siguientes rangos de FC (50-59, 60-69, 70-79, 80-89, 90-99, >100).
 - c) ¿Cuál es el valor promedio de la frecuencia cardiaca del grupo?
- 4) Pon a prueba el hecho de que aquellos que realizan ejercicio regular durante la semana tienen una FC menor que el resto del grupo y explica tus resultados.
- 5) Haz otra pregunta de investigación (fundamenta por qué es válida).
- 6) Explica por qué tu gráfica de pulso en reposo sugiere que existen mecanismos de retroalimentación negativa.
- 7) Haz un dibujo considerando todos los elementos que debe tener un sistema de control homeostático y explica con dichos elementos que pasaría en alguien que tiene un descenso en la presión arterial.
- 8) Diseña un experimento para evaluar el efecto de modificar alguna variable sobre la frecuencia cardiaca.



9) En el experimento que diseñaste explica cuál fue la perturbación y cuáles fueron los mecanismos homeostáticos que se pusieron en marcha para corregirla.

3. Pregunta de reflexión

¿Todos los sistemas de retroalimentación negativa son homeostáticos?

Respuesta: Aunque la retroalimentación negativa es un elemento esencial de los mecanismos reguladores homeostáticos, la presencia de retroalimentación negativa en un sistema no significa que el sistema tenga una función homeostática. La retroalimentación negativa existe en muchos sistemas que no involucran regulación homeostática. Por ejemplo, la retroalimentación negativa desempeña un papel en el reflejo de estiramiento muscular, pero este reflejo no está relacionado con el mantenimiento de la constancia del medio interno. En otros casos, la presencia de retroalimentación negativa puede minimizar la oscilación de una variable, aunque esa variable en sí no se mantiene relativamente constante (es decir, no es una variable regulada). El control de los niveles de cortisol en la sangre es un ejemplo de los efectos de amortiguación oscilantes de la retroalimentación negativa.

4. Anexo

Frecuencia cardiaca (LPM)										
100										
90										
80										
70										
60										
50										
Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5. Referencias

1. Cannon, W.B., ORGANIZATION FOR PHYSIOLOGICAL HOMEOSTASIS. *Physiological Reviews*, 1929. 9(3): p. 399-431.
2. Raúl Sampieri Cabrera, Samuel Bravo, & Virginia Inclán-Rubio. (2019). <http://doi.org/10.5281/zenodo.2667857>



CC BY

Esta obra está bajo una
Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional