



Prof. Edgar Lopategui Corsino  
M.A., Fisiología del Ejercicio

## REGULACION Y HOMEOSTASIA DEL AMBIENTE INTERNO Y CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS RESPUESTAS Y ADAPTACIONES AL EJERCICIO

### I. HOMEOSTASIA

#### A. Concepto

##### 1. Definición:

- a. Estado de equilibrio o constancia relativa del ambiente interno (líquido extracelular) del cuerpo, principalmente con respecto a su composición química, su presión osmótica, su concentración de iones de hidrógeno y su temperatura.
- b. Persistencia de condiciones estáticas o constantes en el medio interior del organismo que se mantiene mediante un proceso dinámico de retroalimentación y regulación.

##### 2. Características:

- a. El medio ambiente interior/líquido extracelular se mantiene en condiciones constantes a través de varios mecanismos del cuerpo.
- b. Las concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono, de nutrientes y desechos orgánicos, de iones inorgánicos y la temperatura deben todos permanecer relativamente inalterados en los líquidos corporales.
- c. Existe un estado estable/constante fisiológico:  
Esto significa que se ha alcanzado un balance entre las demandas impuestas sobre el cuerpo y la respuesta del cuerpo hacia dichas demandas.
- d. Ocurren algunos cambios en la composición del ambiente interno pero son mínimas las fluctuaciones, y se les mantiene a raya mediante múltiples procesos homeostáticos coordinados.
- e. Los órganos y tejidos del sistema del cuerpo trabajan para mantener la homeostasis:

##### 1) Ejemplos:

- a) Los pulmones brindan nuevo oxígeno que necesitan las células.
- b) Los riñones mantienen constantes las concentraciones de iones.
- c) El intestino proporciona elementos nutritivos.

#### B. Condiciones Fisiológicas que Indican una Homeostasis Corporal

1. Concentración óptima de gases, nutrimentos, iones y agua.
2. Temperatura óptima.
3. La presión es óptima para el buen estado y funcionamiento de las células.

## C. Alteración de la Homeostasis

### 1. Estrés:

#### a. Concepto:

Cualquier estímulo que origine un desequilibrio del medio ambiente interno (líquido extracelular).

#### b. Efecto:

##### 1) Altera de manera continúa la homeostasia del organismo:

Provoca un cambio en la estructura o en el medio químico interior del cuerpo.

#### c. Tipos de estímulos (origen/causa):

##### 1) Externos:

Calor, frío, ruidos muy fuertes o escasez de oxígeno.

##### 2) Internos:

Ejercicio, bajo contenido de oxígeno en el aire, presión arterial alta, dolor, tumores, ideas desagradables.

##### 3) Situaciones extremas:

a) Hemorragia.

b) Envenenamiento.

c) Exposición a dosis excesivas de radiaciones.

d) Infección grave.

e) Operaciones quirúrgicas.

## II. COMPARTIMIENTOS LIQUIDOS DEL CUERPO

### A. El Agua

1. Es el componente mas abundante en el cuerpo.

2. Constituye en el hombre aproximadamente el 60 por ciento de su peso corporal total.

### B. Clasificación/Componentes del Agua/líquido Corporal

#### 1. Líquido extracelular:

a. Constituye el ambiente inmediato (interno) para las células que baña.

b. Es el líquido que se halla por fuera de las células (las rodea).

c. Representa aproximadamente el 20% del peso corporal

#### d. Importancia:

Las células son capaces de vivir, desarrollarse y efectuar sus funciones especiales mientras dispongan en el medio interno de concentraciones adecuadas de oxígeno, glucosa, diversos aminoácidos y sustancias grasas.

#### e. Compuestos disueltos del líquido extracelular:

1) Grandes cantidades de iones de sodio, cloruro y bicarbonato.

2) Elementos nutritivos vitales para la sobrevivencia de las células:

Oxígeno, glucosa, ácidos grasos y aminiácidos.

3) Desechos metabólicos:

- a) Bióxido de carbono, el cual es transportado desde las células a los pulmones.
- b) Otros productos de excreción celular que son transportados hacia los riñones

f. Características:

- 1) Se halla en movimiento constante por todo el cuerpo.
- 2) Constantemente se va mezclando por la circulación sanguínea y por difusión entre la sangre y los espacios tisulares.

g. Sub-componentes:

1) Líquido intersticial (intercelular o tisular):

- a) El líquido que llena los espacios microscópicos entre las células y los tejidos.
- b) Abarca el 80% del líquido extracelular.
- 2) El plasma:
  - a) El líquido extracelular existente en los vasos sanguíneos, i.e., la porción líquida de la sangre.
  - b) Representa el componente dinámico del líquido extracelular.
  - c) Constituye el 20% del líquido extracelular.
  - d) Función:

- Intercambia oxígeno, nutrientes, desechos y otros productos metabólicos con el líquido intersticial al pasar la sangre a través de los vasos capilares del cuerpo:

De esta manera se refresca continuamente el líquido intersticial que baña las células.

2. Líquido intracelular:

- a. Es aquel que se halla dentro de las células.
- b. Constituye el 40% del peso corporal.
- c. Composición:

1) Grandes cantidades de iones de potasio, magnesio y fosfato:

Comparado con los iones de sodio y cloruro que se encuentran en el líquido extracelular.

- 2) Mecanismos especiales para transportar iones a través de las membranas celulares conservan estas diferencias entre los líquidos extracelular e intracelular.

III. SISTEMAS/MECANISMOS BIOLÓGICOS DE CONTROL HOMEOSTÁTICOS

A. Concepto

Conjunto/serie de componentes interconectados que trabajan mediante reacciones que invierten los cambios que la activaron (retroalimentación negativa) con el fin de restablecer el equilibrio homeostático del medio interior.

## B. Función

Regular algunas variables/parámetros fisiológicos para mantenerlos cerca de valores constantes.

## C. Objetivos

### 1. General:

- a. Enfrentarse al estrés (estímulo que induce los cambios/variaciones en el medio interno).
- b. Conservar o restablecer la homeostasia.

### 2. Específico:

- a. Mantener/conservar relativamente constante (cerca de niveles/valores normales) la siguientes variables/parámetros físicos o químicos:
    - 1) Las concentraciones de los elementos sanguíneos.
    - 2) Las características de los líquidos del cuerpo:
      - a) Ejemplos:  
Oxígeno, glucosa, sodio, potasio, ácido clorhídrico, etc.
    - 3) El volumen y pH (nivel de acides) de los líquidos corporales.
    - 4) La temperatura del cuerpo.
    - 5) La presión arterial.
    - 6) La frecuencia cardíaca.
- etc.

## D. Naturaleza/Características de los Sistemas de Control Homeostáticos

### 1. Tipos:

- a. Todos los sistemas corporales.
- b. Principales sistemas:
  - 1) El sistema nervioso:
    - a) Ejemplo:  
Control nervioso de la presión arterial.
  - 2) El sistema endocrino:
    - a) Ejemplo:  
Regulación hormonal de la glucosa.

### 2. Componentes generales:

- a. Receptor:

Sensor que recibe el estímulo y detecta los cambios en el estado del parámetro/variable (i.e., detecta los cambios del medio ambiente interno).
- b. Centro integrador:
  - 1) Recibe la entrada/señal (información) del receptor.
  - 2) La señal es informada/reenviada a la caja de control.



c. Efector

- 1) Recibe y responde a la señal/información del centro de integración:

Altera la actividad (ritmo de salida) de dicha señal con el fin de restablecer el parámetro regulado a su punto normal (i.e., al valor de referencia del sistema).

- 2) Ejemplos: El corazón, los pulmones, el músculo etc.

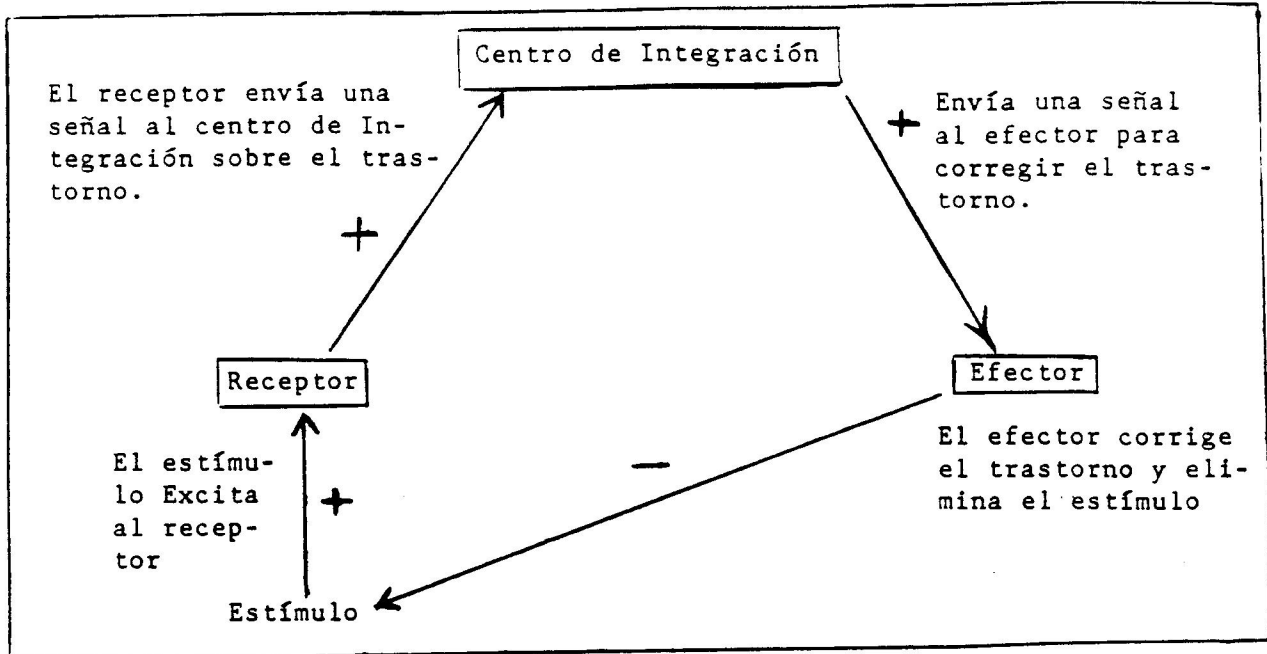


Figura 1

Representación Diagramática de los Componentes de un Sistema/Mecanismo Biológico de Control Homeostático

(Reproducido de: Powers & Howley, 1990, Pág. 19)

3. Otros componentes o condiciones envueltas

a. El parámetro o variable:

- 1) Es la que sufre la el trastorno homeostático ocasionado por el estímulo.

- 2) Ejemplos:

- a) Glucosa en la sangre.
- b) Temperatura corporal.
- c) Presión sanguínea corporal.

b. El estrés o estímulo:

- 1) Representa el cambio en el ambiente interno que provoca el trastorno en el parámetro/variable dada.
- 2) Excita al receptor para que envíe información sobre el cambio al al centro de control integrador.

c. La respuesta o cambio funcional:

Representa aquella respuesta emitida por efector dirigida a contrarrestar o eliminar el estímulo o trastorno homeostático original.

#### 4. Sistemas de retroalimentación:

##### a. Función general:

La información captada a la salida del sistema regresa al punto de origen.

##### b. Retroalimentación:

Los últimos efectos del cambio en la salida por parte del sistema deben hacérsele conocer en alguna forma al sensor/receptor que inició la secuencia.

##### c. Retroalimentación negativa (regulación "feedback" o servomecanismo negativo):

###### 1) Concepto:

- a) Representa el método/medio más importante de regulación utilizado por el cuerpo (de los sistemas de control) para mantener la homeostasis, con la cual resulta una desorganización de la homeostasia con cambios funcionales que devuelven la normalidad al medio ambiente celular.
- b) Mecanismo por el cual un aumento (salida) del sistema origina una disminución en la entrada (el estrés o estímulo inicial), i.e., se invierten los cambios del estímulo inicial.
- c) Serie de cambios/reacción del organismo (salida) por el cual se contrarresta (invierte, niega, "contraequilibra") la situación de estrés (entrada) que originó el disturbio homeostático, de manera que la variable/parámetro retorne a su valor medio determinado, conservando así la homeostasis.
- d) Es una señal de información que "comunica" al mecanismo de mando (o unidad funcional), lo bien que desempeña su función, al establecer o mantener una variable en el nivel deseado.

###### 2) Característica:

- a) La respuesta es negativa con relación al estímulo inicial.

###### 3) Función:

Cambiar el medio ambiente celular hacia una condición opuesta (negativa) que es producida por el estrés.

###### 4) Objetivo final:

Restaurar la variable/parámetro regulada hacia lo normal después de su desplazamiento inicial, de manera que se restablezca la homeostasis.

###### 5) ¿Que provoca/activa este mecanismo?:

Cuando algún factor/variable alcanza concentraciones excesivas o demasiado bajas, i.e., un estrés o estímulo que inicia un disturbio/desequilibrio de la homeostasis.

###### 6) Razón de ser llamado negativo esta retroalimentación:

La respuesta del sistema de control es negativa (opuesta) al estímulo, i.e., se "contraequilibra" o "niega" el cambio o estímulo inicial.

7) Ejemplos:

- a) Si la concentración de oxígeno en los líquidos corporales es demasiado baja, por estimulación nerviosa u hormonal se "retroalimenta" esta información hacia el mecanismo de control de oxígeno que automáticamente lo restituye a un nivel mas alto (a su valor medio normal).
- b) Si los músculos durante el ejercicio comienzan a reducir el nivel de azúcar en la sangre (glucosa), el páncreas controla la reducción secretando glucagón, que a cambio acelera la entrada de glucosa en la sangre proveniente de las reservas del hígado, devolviendo así a la normalidad el nivel de glucosa (variable/parámetro alterada inicialmente por estímulo/estrés o ejercicio) en la sangre (a niveles homeostáticos).

d. Retroalimentación positiva:

1) Concepto:

Una perturbación inicial en un sistema que desencadena una serie de eventos que aumentan aún más el trastorno homeostático.

2) Característica:

La "salida" (o estímulo inicial) intensifica/aumenta la "entrada" (o el resultado).

3) Efectos:

a) Crea inestabilidad y, muchas veces, la muerte.

b) Se crean círculos viciosos:

Se repite el ciclo nuevamente una y otra vez hasta la muerte.

4) Medio de controlar/dominar un grado ligero de retroalimentación positiva:

Los mecanismos/sistemas de control homeostático de retroalimentación negativa del cuerpo, lo cual evita el círculo.

e. Función de los mecanismos de retroalimentación en el cuerpo:

1) Para el control nervioso, hormonal y enzimático.

2) Actuar, en ocasiones, directamente sobre el mecanismo estimulante central.

3) Trabajar con muchos componentes en una cadena ampliamente eslabonada.

4. Amplificación o ganancia de un sistema de control:

a. Concepto:

El grado de eficacia con el cual un sistema de control mantiene constantes las condiciones de medio ambiente interno, i.e., la efectividad en la cual el sistema de control mantiene la homeostasis.

b. Características de los sistemas de control:

Un sistema de control con una gran ganancia es capaz de corregir alteraciones en homeostasis que un sistema de baja ganancia.

c. La ganancia de un sistema de control de retroalimentación negativa:

1) Definición:

La razón/proporción de la cantidad de corrección requerida para mantener una homeostasis sobre la cantidad de disturbio/anormalidad existente después de corregirse el sistema.

2) Fórmula:

$$\text{Ganancia} = \frac{\text{Cantidad de Corrección Requerida}}{\text{Cantidad de Anormalidad Existente Después de la Corrección}}$$

#### IV. EL EJERCICIO

##### A. Una Prueba de Control Homeostático

1. El ejercicio posee el potencial de romper/alterar muchas variables homeostáticas:

a. Ejemplos:

- 1) Durante un ejercicio fuerte, los músculos esqueléticos producen grandes cantidades de ácido láctico, lo cual causa un aumento en la acidez intracelular y extracelular. Este aumento en la acidez representa un serio desaffo/reto al sistema de control corporal ácido-básico.
- 2) Un ejercicio fuerte también resulta en grandes aumentos para los requisitos de oxígeno en el músculo y grandes cantidades de bióxido de carbono producido:

Estos cambios deben ser contrarrestados en la respiración (ventilación pulmonar) y en el flujo sanguíneo para así aumentar el transporte de oxígeno hacia los músculos activos y remover metabólicamente el bióxido de carbono producido.

- 3) Más aún, durante un ejercicio fuerte, los músculos activos producen grandes cantidades de calor que deben ser eliminados para prevenir el sobrecalentamiento:

En esta situación, los sistemas de control del cuerpo deben responder rápidamente para prevenir alteraciones drásticas en el ambiente interno.

##### B. Control Homeotático Durante Diferentes Intensidades de Ejercicios y Condiciones Ambientales

1. Ejercicios submáximos en un ambiente fresco:

En esta condición, los sistemas de control del cuerpo son capaz de mantener un estado estable/constante homeostático.

2) Ejercicios intensos/fuertes o trabajo prolongado en un ambiente hostil (i.e., alta temperatura/humedad):

En este caso, se excede la habilidad de un sistema de control para mantener un estado estable/constante homeotático.

#### V. LOS EFECTOS DEL EJERCICIO Y ENTRENAMIENTO

##### A. Ejercicio Crónico (entrenamiento)

1. Definición:

- a. Sesiones repetidas de ejercicio sobre varios días o meses.

B. Ejercicio Agudo (Ejercicio)

1. Definición:

- a. Una simple sesión de ejercicio.

C. Respuesta al Ejercicio

1. Definición:

- a. Los cambios funcionales e inmediatos que ocurre durante una sola sesión de ejercicio.

2. Características:

- a. Son cambios súbitos.
- b. Son cambios temporeros.
- c. Desaparecen rápidamente después de finalizado el periodo de ejercicio.

D. Adaptación

1. Definición:

Más o menos, un cambio duradero en estructura o función que sigue al entrenamiento que, aparentemente, capacita al organismo a responder de forma más fácil a subsecuentes sesiones de ejercicio.

2. ¿Cuándo ocurren las adaptaciones?:

- a. Ordinariamente, después de varias semanas de entrenamiento.
- b. Algunas adaptaciones ocurren pasado cuatro o cinco días de entrenamiento.

3. Ejemplos:

- a. Reducción en la frecuencia cardíaca para una carga de ejercicio submáximo:

Parece capacitar a la bomba cardíaca a enviar la misma cantidad de sangre a los tejidos corporales con un costo menor de energía para el corazón.

- b. El aumento del músculo en tamaño producido por un fuerte programa de levantamiento de pesos:

1) Valor de la adaptación:

Capacita al levantador de pesa a ejercer más fuerza muscular que antes del entrenamiento.

E. Cambios Homeostáticos y Retroalimentación Negativa que Ocurren en las Respuestas y Adaptaciones al Ejercicio

1. Cambios en la función corporal producidos por el ejercicio o el entrenamiento:

- a. Estos tienden a reducir la totalidad del estrés inducido por el ejercicio sobre el organismo.

b. Ejemplos:

- 1) Los músculos que se contraen son fuertemente sometidos al estrés cuando se ven obligados a usar más oxígeno:
  - a) Respuesta al ejercicio (vía retroalimentación negativa) que regula/cambia dicho disturbio homeostático hacia valores normales o equilibrio homeostático:
    - Aumento en la frecuencia cardíaca y en la frecuencia respiratoria:

El resultado es que se reciben más oxígeno hacia los músculos que se contraen para reducir el estrés por falta de oxígeno.
- 2) El aumento de sudor que acompaña a las repetidas sesiones de ejercicio bajo temperaturas altas:
  - a) El calor ambiental crea un estrés en todos los tejidos del cuerpo.
  - b) Adaptación:

Después del entrenamiento en condiciones de calor, este estrés disminuye porque el aumento en la producción de calor ayuda a enfriar el cuerpo por evaporación.

## VI. PATRONES GENERALES DE LAS RESPUESTAS Y ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO Y AL ENTRENAMIENTO

### A. Consideraciones Preliminares

1. La mayoría de dichos patrones son ejemplos regulaciones vía retroalimentación negativa.
2. Aparentemente funcionan con el fin de ayudar al cuerpo a minimizar los cambios homeostáticos durante el ejercicio.

### B. Modelo General de las Respuestas al Ejercicio (Véase Figura 2)

#### 1. El estrés o estímulo:

##### a. El ejercicio:

- 1) Perturbación en la homeostasis, o cambio en la estructura o en el medio químico de las células que produce/causa:
  - a) Elevación de la temperatura corporal.
  - b) Aumento en la acidez (pH) de la sangre.
  - c) Caída en el oxígeno contenido en los líquidos corporales.
  - d) Incremento en el bióxido de carbono.
  - e) Otras perturbaciones en la homeostasis.

#### 2. El receptor:

##### a. Función:

Sensibilizar uno o algunos de los cambios en el medio interno químico (disturbio homeostático).

##### b. Estructura:

Moléculas de ciertas células del cuerpo.

c. Localización:

- 1) Músculo                      3) Páncreas
- 2) Cerebro                      etc.

3. Vía de respuesta:

- a. Recibe la información del receptor.
- b. Posibles tipos de vías/mecanismos envueltos:
  - 1) Vía nerviosa.
  - 2) Vía hormonal.
  - 3) Vía intrínseca o local (cambios que ocurre únicamente dentro de un órgano específico)

4. Organos Objeto (efectores):

- a. Reciben la señal transmitida por la vía de respuesta.
- b. Se encargan de cambiar su funciones para producir la respuesta al ejercicio.
- c. Localización:
  - 1) Corazón                      3) Músculo
  - 2) Pulmones                      etc.

5. Respuesta o cambio funcional:

- a. Función:  
Corregir el trastorno inicial provocado por el ejercicio.
- c. Tipos de repuestas:
  - 1) Aumento de la frecuencia cardíaca.
  - 2) Aumento en la respiración.
  - 3) Aumento en el flujo sanguíneo.
  - etc.

6. Retroalimentación negativa:

- a. Contraequilibra, invierte o niega el disturbio homeostático causado por el estímulo inicial (el ejercicio), de manera que se restablezca la homeostasis.
- b. Es el modo por el cual ocurre la respuesta o cambio funcional al ejercicio en su regreso.

C. Ejemplos Específicos de una Respuesta Fisiológica al Ejercicio

1. Vía nerviosa:

- a. Perturbación homeostática que induce el estrés/estímulo del ejercicio:  
Acumulación/aumento de ácido láctico en la sangre.
- b. Receptor:  
Cuerpos/senos carótidos en el cuello superior (células nerviosas especializadas).

b) Receptor:

Dentro de las células musculares.

c) Vía de respuesta:

Activación de enzimas en el músculo para la degradación de carbohidratos.

d) Organo objeto:

Dentro de las células musculares

e) Respuesta o cambio funcional:

- Reposición de las reservas de energía de disposición rápida:  
Dicha respuesta invierte el trastorno homeostático inicial.

D. Modelo General de las Adaptaciones al Entrenamiento (Véase Figura 3)

1. La vía de adaptación:

a. Concepto:

El mecanismo que eventualmente causara un cambio duradero en estructura o función después de sesiones de ejercicios repetidas.

b. Problema:

Nadie está seguro que las adaptaciones totalmente debido al entrenamiento físico.

VII. REFERENCIAS

1. Guyton, Arthur C. Tratado de Fisiología Médica. 5ta. ed.; México: Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., 1977. Pags. 2-11.
2. Lamb, David R. Physiology of Exercise: Responses & Adaptations. 2da. ed.; New York: Macmillan Publishing Company, 1984. Pags. 10-18.
3. Lamb, David R. Fisiología del Ejercicio: Respuestas y Adaptaciones. Madrid: Augusto E. Pila Teleña, 1978. Págs. 22-28.
4. Power, Scott K. y Edward T. Howley. Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance. Dubuque, IA: Wm.C. Brown Publishers, 1990. Págs. 15-23.
5. Strand, Fleur L. Fisiología Humana: Un Enfoque Hacia los Mecanismos Reguladores. México: Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., 1982. Págs. 3-8.
6. Vander, Arthur J., James H. Sherman y Dorothy S. Luciano. Fisiología Humana. 2da. ed.; Bogotá, Colombia: Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A., 1978. Págs. 90-100.



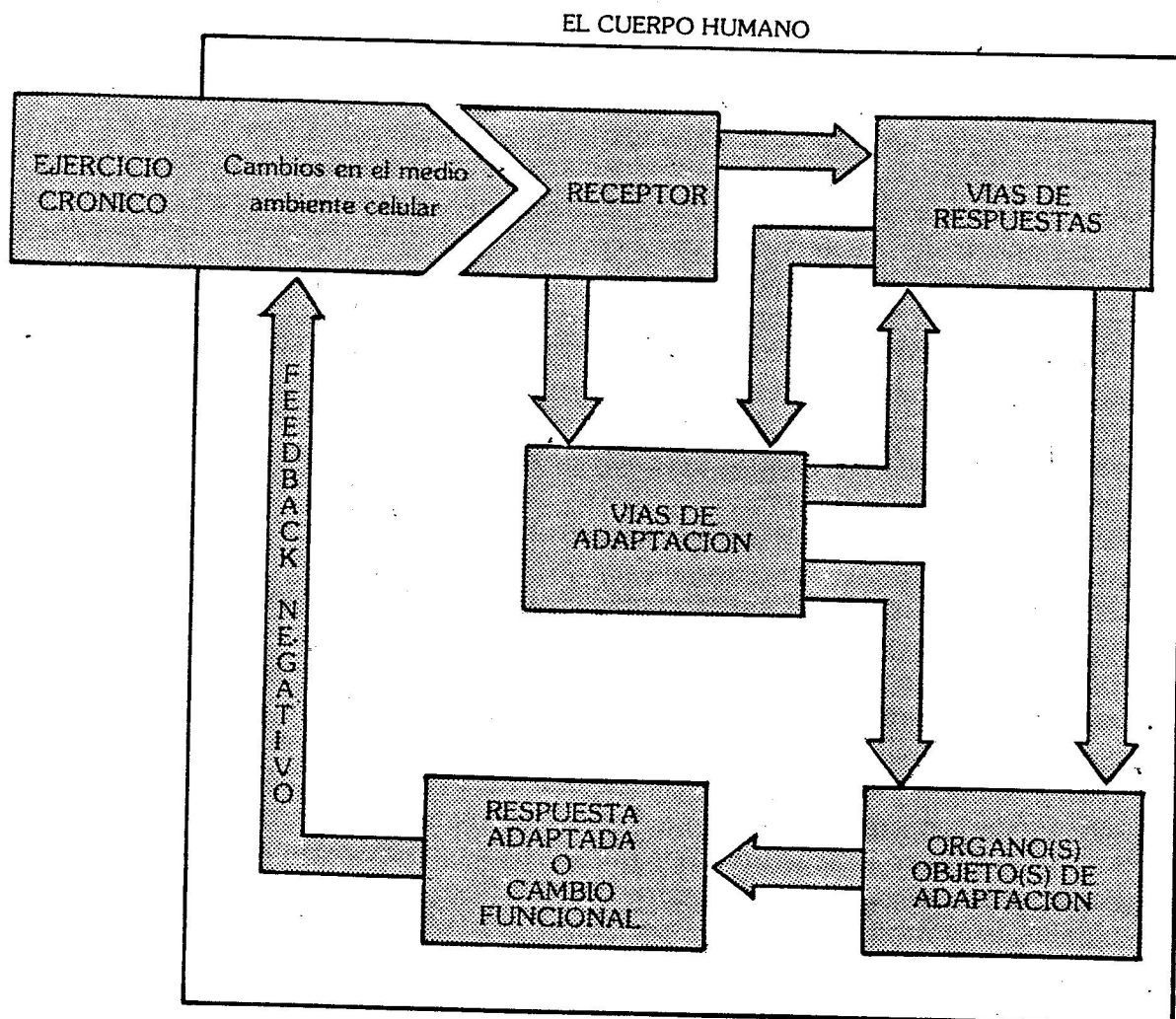


Figura 3

Figura 1.3. Esquema general y simplificado de las adaptaciones al entrenamiento.  
(Reproducido de: Lamb, 1978, pág. 26.)