

Los mecanismos neuronales como objeto de los efectos de la selección medioambiental

Carlos Eduardo VALENCIA ALFONSO
Universidad Católica de Colombia
Beatriz BARRAGÁN SERRANO,
Corporación Universitaria Iberoamericana
(Bogotá, Colombia)

Resumen

Desde una perspectiva seleccionista, el comportamiento resulta de los efectos combinados de tres tipos de ambientes: el ancestral como selector de genes de la especie, el individual como selector de conductas de un solo organismo y el cultural como selector de comportamientos de una comunidad verbal. Cada uno de estos procesos de selección no actúa en el vacío, sino que debe producir cambios relativamente permanentes sobre entidades materiales a partir de las cuales se mantenga la conducta. Los procesos biológicos que median en la selección que hace el ambiente ancestral son los mecanismos genéticos; los procesos que median en la selección del ambiente cultural son los símbolos con relaciones verbales; mientras que aquellos que median en el ambiente individual son los mecanismos neuronales. Con base en estos argumentos, si las relaciones ambiente-conducta son aprendidas en la vida de un organismo, entonces el efecto de la selección se centra en los procesos neuronales que subyacen el aprendizaje y no sólo en el comportamiento abierto. Algunas teorías y experimentos son revisados para sustentar esta posición.

Palabras clave: evolución, selección natural, selección operante, aprendizaje, biología de la conducta, sistema nervioso.

Abstract

From a selectionist perspective, behaviour is a product of the combined effect of three different types of environments: an ancestral environment which is a species genes selector, an individual environment that acts as a selector of an organism's behavior, and a cultural environment which selects behavior from a verbal community. Each one of these selection processes cause relatively permanent changes on material entities, from which behavior can be maintained. Biological processes mediating selection of ancestral environments, are genetic mechanisms;

processes mediating cultural selection, are verbal related signs; and those mediating the individual environment, are neural mechanisms. Based on this argument, if environment - behavior relations are learned through an organism's life, then the selection effect must be focused on the neural process underlying learning and not on the open behaviour. Some theories and experiments are reviewed to sustain this position.

Key words: evolution, natural selection, operant selection, learning, biology of behaviour, nervous system.

Seleccionismo y esencialismo

¿Por qué una silla es una silla? Podría argumentarse que la silla es silla porque tiene cuatro patas, un sostén horizontal para sentarse y uno vertical para recostarse, es decir, traer a colación las propiedades y características de ese objeto. Pero también podríamos sostener que eso es una silla porque sirve para sentarse o porque sus materiales han interactuado con otros eventos de la realidad (leñador, hacha, carpintero) que la han llevado a ser lo que es. En estos dos últimos argumentos la silla es silla no por sus propiedades, sino por las relaciones que ha tenido y tiene con otros eventos de su medio ambiente.

Una posición que toma cada día mayor solidez en los diversos campos científicos es el seleccionismo. Según esta perspectiva, los objetos y los eventos de la naturaleza deben ser definidos de acuerdo a sus relaciones con otros objetos y eventos que los rodean, y no por propiedades que se consideran inherentes a ellos. Cada cosa es lo que es gracias a la interacción con el entorno y no debido a cierto tipo de esencia o cualidad. En contraste, encontramos las definiciones de tipo esencialista, que conceptualizan los objetos y eventos de acuerdo a características que se asumen propias de ellos y constituyen su esencia.

Una respuesta operante, por ejemplo, se define como aquella que puede alterar

(opera sobre) el medio ambiente; de la misma manera, una consecuencia es cualquier evento que altere la probabilidad de presentación de una conducta. Como se puede apreciar, estas definiciones incluyen cada una, otro evento con el cual aquel que está siendo definido se relaciona.

En contraste, encontramos las definiciones de tipo esencialista como la memoria: capacidad para almacenar y evocar información, o el total de lo que uno recuerda, etc.; el pensamiento: el acto o proceso de pensar, es decir el poder de razonar o concebir ideas. Es claro en estas definiciones, como cada una de ellas hace referencia a las propiedades o características del objeto que está siendo definido. Este tipo de conceptos traen consigo varios problemas tales como: *a.* El razonamiento circular: la causa del comportamiento de recordar eventos del pasado remoto es la memoria a largo plazo, pero sólo se sabe que esta es la causa de la conducta en la medida en que se puede observar que el individuo recuerda hechos que ocurrieron hace mucho tiempo. *b.* La limitación en la investigación: la generación de nuevas inferencias, lleva a los investigadores a buscar experimentos en los cuales las observaciones se ajusten a su constructo en vez de modificarlo. *c.* Falta de parsimonia: en relación con lo anterior, cuando las nuevas observaciones no encajan con el constructo, se formulan nuevos conceptos para ex-

plicar estas discordancias (memoria a largo plazo, corto plazo, episódica, semántica, sensorial etc.) de manera que se utiliza un concepto diferente para explicar cada fenómeno. (Palmer y Donahoe, 1992; Donahoe y Palmer 1994).

Es necesario aclarar que una definición puede relacionar eventos y no ser una definición seleccionista. Hay que tener en cuenta otras variables tales como el carácter teleológico de la definición. El concepto de selección implica que aunque necesariamente se dé una dirección a lo que es seleccionado (pues se altera su variabilidad futura), esta dirección no está encaminada hacia ningún destino o meta última. En una definición propuesta por Klein (1994), el pensamiento es el proceso interno dirigido a hacer frente al ambiente con el propósito de dar sentido a las percepciones. Bajo tal concepción se están relacionando la actividad interna del organismo y los eventos del medio ambiente, pero tal relación implica un carácter teleológico de dirección y propósito, el cual claramente contradice los principios seleccionistas, ya que asuntos como "dirigido a" o "con el propósito de" dependerían en última instancia de las características *esenciales* del organismo. Un enfoque como el conduc-

tual, que se basa en el análisis del comportamiento y sus relaciones con los eventos medioambientales, tiene como objeto de análisis no a la conducta en sí misma, sino a las contingencias que se generan entre ella y el medio ambiente. Además, no está tan interesado en las causas como en las relaciones que tienen los fenómenos entre sí (Guerin, 1994). Por este motivo generalmente, aunque no siempre, sus definiciones son de tipo seleccionista.

La definición de selección, es en sí misma de tipo seleccionista, ya que especifica la relación entre diferentes eventos, por lo general del medio ambiente con los organismos, en la cual la acción de uno de ellos favorece la permanencia de ciertas características del otro. Algunas comparaciones de ambos tipos de definiciones se presentan en la tabla 1.

Tipos de selección

Los planteamientos darwinianos con respecto a los efectos del medio ambiente en la selección natural y en la continuidad de las especies, se reflejaron en el trabajo de Skinner en conceptos como la selección por consecuencias (López, 1994). Justo antes de fallecer, Skinner redactó un artí-

Tabla 1. Comparaciones entre las definiciones esencialistas y seleccionistas de algunos términos cotidianos y técnicos.

TÉRMINO	DEFINICIONES O CONCEPTOS	
	<i>Esencialista</i>	<i>Seleccionista</i>
Silla	Asiento individual con respaldo y por lo común con cuatro patas	Objeto que sirve para sentarse
Memoria	Dispositivo con capacidad de almacenar y evocar información	Cambio en el SNC a partir de un estímulo
Conducta	Comportamiento intencional orientado a la obtención de consecuencias	Evento comportamental que altera el medio ambiente

culo en el que justifica porque la psicología no puede ni debe ser una ciencia de la mente. En este escrito Skinner propone que el comportamiento del ser humano como un todo, puede ser explicado como el resultado de tres tipos de selección (Skinner, 1990) y por lo tanto cualquier tipo de explicación mentalista o internalista de la conducta carece de sentido. En primer lugar tenemos la *selección natural* en la cual el medio ambiente se relaciona con la variabilidad genética de los organismos. En esta relación son seleccionados individuos con ciertos comportamientos genéticamente determinados que les permiten adaptarse al medio y por lo tanto sobrevivir para dejar descendencia. En segundo lugar la *selección operante*, aquella en la que el medio ambiente interactúa con el comportamiento de un individuo durante su lapso de vida de forma tal que algunas de sus conductas son favorecidas o reforzadas por consecuencias del medio y tienen por lo tanto mayor probabilidad de ocurrir en el futuro. Y por último la *selección cultural* en la que el medio ambiente selecciona comportamientos comunes a un grupo social. Gracias al favorecimiento genético del aparato fonador humano y a la permanencia de la emisión de sonidos como una operante altamente reforzada, ciertos sonidos vocales (y posteriormente la elaboración de símbolos escritos, tallados, manuales, etc.) tienen mayor probabilidad de ocurrir en un individuo. La selección cultural deriva su importancia de estos procesos, ya que los comportamientos seleccionados son compartidos por muchos organismos sin que todos ellos hayan estado expuestos directamente a las mismas contingencias y sin que hayan sido heredados a través de la genética. Más bien estos comportamientos son aprendidos de

los ancestros gracias al refuerzo social proveído por su conducta verbal (educación formal, tradición oral, escritos, símbolos, religión etc.).

La selección no se da entonces como un proceso aislado. Una aproximación seleccionista a la explicación de los eventos tiene en cuenta la complejidad de estos como el resultado de la interacción de tres fenómenos: variabilidad, selección y retención. Comenzando por la variabilidad en las características de los objetos o eventos a seleccionar, un proceso de selección favorece a algunas de ellas sobre otras, y las características favorecidas son entonces conservadas a través de la acción de un proceso de retención (Donahoe y Palmer 1994).

Como ya se observa en la clasificación de Skinner, los diferentes acontecimientos del medio deben ejercer su efecto selector sobre algo, comportamiento en este caso (genético y aprendido, individual o culturalmente), que tiene cierta *variabilidad*. Es decir, que lo favorecido y lo no favorecido debe tener características diferentes ya que de otra manera ambos habrían sido seleccionados o eliminados. Los organismos difieren unos de otros en sus estructuras genéticas y en sus comportamientos gracias a la acción de procesos anteriores de selección y retención. Por su parte, en la *selección*, como se dijo anteriormente, el medio diferencialmente favorece algunas características y no a otras. Finalmente en la *retención*, una vez una característica ha sido seleccionada debe durar si ha de estar disponible como variabilidad para futuras selecciones. Los cambios durables en el comportamiento son el objeto del aprendizaje y es a partir de tales cambios que el comportamiento complejo está construido (Donahoe y Palmer 1994). Como veremos más adelante, estos cambios son mejor

definidos como cambios en los mecanismos de la conducta y no en la conducta misma, pues ésta se encuentra determinada por muchos factores además del aprendizaje (Domjan y Burkhard, 1993). Esta posición identifica el aprendizaje con la adquisición de funciones neuronales nuevas (Bunge, 1980).

Si combinamos esta trilogía de procesos que constituyen la globalidad de la selección, con la categorización propuesta por Skinner, tendríamos que suponer que ninguno de estos tipos de selección (natural, operante y cultural) se presentaría solo,

y que por lo tanto la selección natural, como la operante y la cultural deben estar compuestas por un conjunto de procesos como la variabilidad, la selección y la retención. Cada uno constituiría un grupo de procesos más específicos que interactúan en ciclos repetidos. El problema surge cuando intentamos identificar los eventos para cada uno de los procesos en las diferentes categorías de selección (tabla 2).

En los tres tipos de selección es necesario clarificar dos cosas. Primero, podemos ver que el organismo se relaciona con el medio ambiente siempre a través de su

Tabla 2. Cada categoría se encuentra compuesta por repetidos ciclos de los tres procesos (variabilidad, selección y retención). La tabla muestra diferentes eventos que pueden tomar parte de cada proceso.

PROCESOS QUE INTERACTÚAN			
TIPO	Variabilidad	Selección	Retención
<i>Selección Natural</i>	Diferentes cargas genéticas por mutaciones al azar, combinaciones de los padres, alteraciones externas (radiación, drogas), que generan diferentes conductas. Por ejemplo: genes que permitan comer plantas y genes que no.	Dependiendo de las condiciones del medio, éste favorece ciertas conductas y no otras. Por ejemplo: si sólo hay plantas para comer, aquellos organismos con genes que les permitan alimentarse con ellas sobrevivirán.	La base de las conductas seleccionadas se encuentra en el código genético de cada individuo.
<i>Selección Operante</i>	Diferentes repertorios conductuales de origen genético variados a través del aprendizaje que relaciona cada conducta con sus consecuencias directas. Por ejemplo: comer plantas rojas y plantas verdes.	Dependiendo de las condiciones del medio, éste favorece ciertas conductas y no otras. Por ejemplo: si las plantas rojas son indigestas, la probabilidad de comerlas decrementa pues si lo hace se enferma. Mientras que la probabilidad de comer las verdes se incrementa porque éstas alimentan.	La base de las conductas seleccionadas se encuentra en cambios en los procesos bioquímicos celulares de las neuronas.
<i>Selección Cultural</i>	Diferentes repertorios conductuales de origen genético variados a través del aprendizaje que relaciona cada conducta (verbal) con consecuencias sociales provistas por los miembros de la comunidad. Por ejemplo: comer plantas rojas y plantas verdes.	Dependiendo de las condiciones del medio, este favorece ciertas conductas y no otras. Por ejemplo: si los ancestros se han intoxicado con las rojas, proveerán instrucciones y castigo social que haga decrecer la probabilidad de comerlas, e instrucciones y refuerzo social que incremente la de comer verdes.	La base para las conductas seleccionadas por la comunidad verbal se encuentra registrada en eventos de esa cultura tales como la conducta de sus miembros, su lenguaje, cantos, tradición oral. O en estímulos en cuya presencia se obtiene refuerzo social diferencial (escritos, símbolos, tótems).

comportamiento. Sólo las características expresas pueden ser seleccionadas por el ambiente (éstas incluyen por supuesto a la conducta abierta), pues el favorecimiento se da exclusivamente sobre el comportamiento que ya ha ocurrido. Los procesos microconductuales, fisiológicos, bioquímicos y genéticos de los cuales el comportamiento abierto depende, sólo pueden ser seleccionados indirectamente. Segundo, los diferentes tipos de selección no ocurren de manera aislada e independiente, sino que interactúan en todo momento afectándose unos a otros. Por ejemplo, cierta selección cultural que refuerce la conducta de suicidarse como "la manera más efectiva de ser feliz en la eternidad, al morir con honor" alterará la variabilidad sobre la cual actúa la selección natural, pues el grupo de genes de quienes se suicidan ya no se puede heredar. Además modificará la selección operante, pues a partir de ese momento no habrá organismo con variabilidad conductual sobre el cual seleccionar comportamientos.

En la selección natural, las diferentes cargas genéticas de los individuos determinan una población de conductas innatas sobre las cuales opera la selección. Dependiendo de las condiciones que se encuentran en el medio ambiente algunos de estos comportamientos innatos le permitirán a los organismos sobrevivir y por lo tanto sus genes se multiplicarán. Por otro lado, los organismos con conductas genéticamente determinadas que no se adaptan a las condiciones del medio no podrán transmitir sus genes. Este proceso alterará la futura variabilidad de cargas genéticas pues los genes de quienes no sobrevivieron no harán parte de ella. Aquellas conductas que fueron seleccionadas por el medio son retenidas en los genes. Es de-

cir, que a pesar de que el medio opera sobre los comportamientos (genéticamente determinados), lo que está reteniendo o seleccionando son genes (cadenas de ADN) que determinan cierto tipo de conductas innatas. Aquello que es retenido se encuentra en los cromosomas del organismo.

De otro lado en la selección cultural, las comunidades tienen diferentes patrones de comportamiento que han sido aprendidos en primera instancia por el enfrentamiento directo de sus ancestros a las contingencias. A partir de ese aprendizaje las distintas culturas refuerzan o castigan socialmente cierto tipo de conductas. Por ejemplo algunas culturas aprendieron por selección operante que el incesto tenía como consecuencia la generación de individuos con malformaciones congénitas y problemas en el desarrollo. Sin embargo, la mayoría de nosotros tiene una baja probabilidad de cometer incesto, no por haber sufrido las consecuencias de tener un hijo con tales problemas sino por el castigo social que nuestra cultura le proporciona a este comportamiento. De esta manera, existe una variabilidad conductual en las distintas comunidades, que es el resultado de la selección que los individuos de la cultura hacen sobre sus congéneres. Para que se lleve a cabo este tipo de selección, es necesario que los comportamientos seleccionados sean retenidos de alguna manera. Por lo general estos comportamientos son retenidos en eventos que tienen un *significado* (historia de reforzamiento común) similar para los miembros de la comunidad. Estos eventos pueden ser la conducta de los demás miembros de la comunidad, sus costumbres, rituales, y en general sus patrones comportamentales. Sin embargo también es posible conservar las

contingencias establecidas por la cultura, aún en ausencia de individuos que hayan hecho parte de ella, ya que tales contingencias pueden haber sido registradas en eventos estimulares como la escritura, la talla, los símbolos etc. Es así como en nuestra cultura occidental, podemos aprender muchas conductas provenientes de contingencias establecidas por "la sabiduría oriental" así nunca hayamos conocido a uno de los miembros de esta cultura.

Hemos dejado en último lugar a la selección operante puesto que plantea un problema que constituye el eje del presente artículo. La variabilidad de los comportamientos que son seleccionados por el medio en la selección operante está constituida por el repertorio conductual de un organismo. Se dice entonces que las consecuencias que tienen cada una de las conductas, favorecen a unas más que a otras incrementando su probabilidad de ocurrencia en el futuro. Sin embargo, no es claro el papel del proceso de retención. Como en las selecciones anteriores, el medio interactúa con el comportamiento del individuo, pero en la selección natural, lo que es retenido y determina la futura variabilidad, son los genes. En la selección cultural, lo que es retenido son símbolos escritos, verbales, religiosos (y por supuesto una comunidad verbal expuesta a contingencias de reforzamiento relacionadas con ellos), que van a determinar el comportamiento culturalmente aprendido de las futuras generaciones. Pero en la selección operante, se dice que lo que se retienen son comportamientos abiertos. Los comportamientos abiertos son eventos discretos que ocurren con un principio y un final identificable, de manera que lo que es seleccionado no pueden ser ellos en sí,

porque se terminan, pasan, quedan en el pasado. Este comportamiento debe ser retenido en un evento material que cambie en función de las contingencias de selección, y que se mantenga en ese cambio para que el comportamiento siga dándose de manera adecuada ante tales contingencias, hasta que ellas sean diferentes. Los mecanismos neuronales del aprendizaje constituyen el objeto seleccionado en el proceso de selección operante, pues los cambios neuroquímicos son una entidad material (al igual que los genes y los símbolos) cuyo cambio es seleccionado y se mantiene para adaptar la conducta al medio. En general, la materia que retiene los comportamientos seleccionados involucra las neuronas del sistema nervioso central, en especial aquellos cambios celulares y bioquímicos que se dan cuando unas neuronas se comunican con otras (Donahoe y Palmer 1994). Mario Bunge (1980), respecto a esta posición concerniente a las bases neuronales del aprendizaje, establece que toda actividad neuronal es aprendida en la medida en que involucre un sistema de plasticidad de neuronas capaces de adquirir una conectividad regular. En esta definición se identifica el aprendizaje con la adquisición de funciones neuronales nuevas. Cada vez es más popular en el área del aprendizaje el concepto de plasticidad neuronal entendido como un aumento o disminución de la fuerza de las conexiones sinápticas debido a la experiencia, durante períodos que pueden variar en duración (Kandel et al., 1997), y algunos autores sugieren que incluso el término *aprendizaje* es a menudo reemplazado por la expresión "plasticidad", más amplia y con menos carga teórica (Churchland, 1986)

Conducta neuronal

Los mecanismos neuronales del aprendizaje son comportamiento. No deben ser entendidos como causa del mismo sino como parte de él. El cerebro, no inicia comportamientos espontáneamente, estos se asumen siempre en función del medio ambiente de manera coherente con una lógica determinista según la cual un sistema no puede autocausarse (Bunge, 1983). “*El cerebro es parte del cuerpo y lo que hace es parte de lo que el cuerpo hace*” (Skinner, 1990, p. 1206).

Se ha demostrado, por ejemplo que los acontecimientos diarios, la estimulación sensorial, la privación y diferentes tipos de aprendizaje, causan una debilidad de la efectividad de las conexiones sinápticas en algunas circunstancias y un fortalecimiento de tales conexiones en otras (Kandel *et al.*, 1997). Lo que es seleccionado entonces por las contingencias operantes, no es sólo el comportamiento abierto, sino todo el conjunto de comportamientos relacionados con la consecuencia. Desde la activación sensorial hasta la ejecución motora.

Inmersos en una cultura dualista, suponemos la existencia paralela de dos entes en un solo organismo, pero si abrimos el cuerpo de éste, no vamos a encontrar una entidad diferente de la que conforman nuestros propios órganos, que a su vez son el resultado de la acción conjunta e integrada de las células (Clavijo, 1994). El sistema nervioso es un sistema bastante peculiar en el sentido de que sus componentes celulares cambian de una manera consistente con los eventos que ocurren a su alrededor, incluyendo los eventos que le rodean dentro del organismo. Usualmente decimos que nuestro cerebro almacena la información del medio ambiente y de nues-

tro comportamiento. Sin embargo esto no pasa de ser una metáfora, pues dentro del cerebro no están almacenados nuestros padres, hermanos o el perro. No cabrían. Tampoco están almacenadas sus imágenes, ya que lo que tenemos en el cerebro no es una imagen, no es materia reflejando rayos de luz (usualmente ésta no llega a nuestras neuronas). Mucho menos son sus ideas, conceptos abstractos, pensamientos o cualquier otra cosa que trate de definir inmaterialmente lo que tenemos en el cerebro. Lo que ocurre en el sistema nervioso en general, no son más que cambios químicos, producidos por eventos que ocurren a su alrededor, externo o corporal. Si pasa una mariposa, entonces ocurrirán cambios en los conos y bastones de nuestra retina, cambios en el nervio óptico y en corteza occipital. Seguramente, y dependiendo de la relevancia del evento, también habrá cambios que sean relativamente permanentes y no una simple activación. A estos cambios les llamamos aprendizaje o plasticidad neuronal. Pero también el sistema nervioso cambia en función de lo que ocurre en nuestro cuerpo, si no hay oxígeno en la sangre, si un músculo tiene un calambre, si tenemos dolor de espalda, hay cambios en la neuroquímica del sistema. Por último, el sistema nervioso cambia cuando algunos eventos ocurren en él mismo: si ciertas redes neuronales están activadas (tener una “cognición”) otras redes pueden activarse con respecto a la primera activación (tener una “metacognición”).

Estas características son exclusivas del sistema nervioso ya que por ejemplo no ocurren cambios directos en el hígado cuando pasa una mariposa ni cuando nos duele la garganta. No ocurrirían cambios en el corazón cuando estamos ante un ladrón de no ser por el sistema nervioso. In-

tente darle un buen susto directamente al músculo cardíaco de un paciente, durante una cirugía a corazón abierto. No se va a inmutar. El sistema nervioso es el único que tiene la capacidad de cambiar de manera relativamente permanente ante los eventos estimulares que lo rodean.

Esto no significa que sea autocausado o que pueda autocausarse, pues siempre dependerá de eventos medioambientales. La activación de una red (recuerdo) depende de que haya un estímulo que estuvo presente (o uno similar) cuando los cambios en esa red se dieron por primera vez. Por ejemplo la rata, el conejo o el peluche blanco para el Albertito de Watson. El calambre obedece a la temperatura medioambiental, la falta de oxígeno a un ambiente poco oxigenado etc. En resumen, la actividad neuronal es considerada como conducta y por lo tanto debe seguir las mismas leyes del comportamiento abierto y en esta medida, no es generada de manera espontánea ni causa la conducta abierta. Es parte de ella.

Comportamiento simple

Gran parte de la experimentación alrededor de la relación de la actividad neuronal con el comportamiento abierto ha sido desarrollada en animales, en particular con invertebrados debido a la relativa simplicidad de su sistema nervioso central. Son ya bien conocidos los experimentos de aprendizaje asociativo y no asociativo en la *aplysia* y la *hermissenda* (Byrne y Crow, 1995). De especial interés para el presente artículo, son los hallazgos concernientes a los mecanismos neuronales responsables del aprendizaje no asociativo (en especial la sensibilización) en la *aplysia*, pues evidencian como los cambios en el sistema

nervioso central pueden ser seleccionados y permanecer (ser retenidos) durante cierta cantidad relativa de tiempo como base para la presentación de conducta observable. La sensibilización es una disposición creciente para responder ante la repetida presentación de un estímulo (Domjan y Burkhard, 1993). En el experimento de Byrne y Crow se da un corto entrenamiento que consiste en la presentación repetida de choques al cuerpo del invertebrado. La respuesta refleja es una contracción de la cola y otros órganos de la *aplysia* y esta respuesta se hace más probable en la medida en que se van presentando las repeticiones del estímulo, produciendo una sensibilización a corto plazo, es decir, que luego de dejar de presentar el estímulo, la disposición para responder ante una nueva presentación del mismo decae rápidamente. Los mecanismos neuronales responsables de este aprendizaje funcionan de la siguiente manera: en primera instancia, el choque genera la liberación de serotonina por parte de una neurona facilitadora hacia la neurona sensorial; esta descarga en los receptores de la neurona sensorial desencadena varios procesos bioquímicos paralelos que terminan en la activación de enzimas y síntesis de proteínas que modifican las propiedades de los canales de calcio y potasio de la membrana neuronal; al alterarse dichos canales se da una facilitación para la despolarización de la membrana, un incremento en su excitabilidad, mayor duración en el potencial de acción y principalmente un aumento en el transporte de vesículas hacia el telodendrión de la neurona; estas alteraciones conllevan en conjunto a una facilitación en la liberación de neurotransmisores por parte de la neurona sensorial en activaciones subsecuentes, de manera que se incrementa la probabilidad de acti-

var la neurona motora responsable del reflejo, es decir, se lleva a cabo el proceso de sensibilización aunque este se mantiene sólo a corto plazo, pues los cambios de la membrana generados por las proteínas, decaen con rapidez. A partir de un incremento en la frecuencia y la constancia de la presentación de la estimulación, es posible mantener una sensibilización a largo plazo. A mayor liberación de serotonina por parte de la neurona facilitadora, la activación de los procesos bioquímicos empieza a afectar regiones de ADN que incrementan (a través del ARN) la síntesis de algunas proteínas específicas. Estas últimas procesan (internalizan y degradan) moléculas de adhesión en las células neuronales, que le permiten a la neurona alterar su interacción con otras células y la reestructuración de su ramaje axónico. De esta manera, la neurona sensorial puede crear nuevas conexiones con la misma neurona postsináptica motora, o hacer nuevas conexiones con otras neuronas motoras. Esto desde luego, mantiene alta la probabilidad de desencadenar el potencial de acción responsable del reflejo durante una mayor cantidad de tiempo, pues aparte de los cambios químicos neuronales, ocurren cambios estructurales. Tales cambios son precisamente el objeto de la selección que el medio ambiente hace sobre la conducta, pues constituyen modificaciones con una permanencia relativa que son la base del comportamiento futuro hasta que las contingencias del medio se alteren.

Otros estudios moleculares en invertebrados citados por Kandel *et al.* (1997) han mostrado cambios sinápticos específicos relacionados con la *memoria a largo plazo* de estos organismos. Por el entrenamiento repetido, la proteína quinasa se traslada al núcleo de neuronas sensoriales

para fosforilar ciertas proteínas reguladoras que a su vez activan genes que producen otras proteínas responsables de efectos neuronales a largo plazo tales como el crecimiento de las conexiones sinápticas. Las neuronas sensoriales de los animales entrenados, mostraron dos veces más terminales presinápticas que aquellos no entrenados. Las neuronas motoras por su parte, crecieron hasta adaptarse a los *inputs* sinápticos adicionales. Estos cambios morfológicos parecen ser típicos de los procesos a largo plazo. Existe también relación entre el funcionamiento simpático de la amígdala y el condicionamiento clásico. En estudios de condicionamiento del miedo, un estímulo neutro que no evoca respuestas autónomas, se empareja con una descarga eléctrica que produce respuestas autónomas en la pata de un animal. Después de varios emparejamientos, el estímulo inicialmente neutro elicitaba reacciones de miedo. Esta respuesta ante un EC ha demostrado estar directamente relacionada con alteraciones duraderas de la eficacia sináptica (potenciación a largo plazo) en la amígdala.

Encontramos también evidencia experimental que demuestra cómo cuerpos neuronales responden de manera diferencial al reforzamiento contingente, incrementando su comportamiento. En un experimento desarrollado por Stein y Belluzzi (1989) una pequeña porción de tejido neuronal fue tomada. La actividad de este tejido fue registrada por un microelectrodo que medía la frecuencia de la actividad de una neurona presináptica. El axón de esta neurona, liberaba ocasionalmente pulsos nerviosos estimulando la acción de una neurona postsináptica. Al aplicar pequeñas cantidades de dopamina de manera contingente en el espacio sináptico inmediatamente después de que la neurona postsináptica había sido

activada, se mostraron incrementos significativos en la frecuencia con que la neurona presináptica activaba la postsináptica, en comparación con los niveles de línea de base. Por supuesto uno podría suponer que el incremento en el comportamiento de la neurona presináptica obedece al hecho de que existe mayor cantidad de dopamina en el espacio sináptico y que por lo tanto existe mayor probabilidad de emisión de pulsos. Lo curioso de los resultados es que aplicando la misma cantidad de dopamina durante un ensayo, pero de manera no contingente a la emisión de pulsos, la conducta neuronal no muestra un incremento significativo en comparación a la línea de base.

Comportamiento complejo

A nivel de los experimentos anteriormente descritos, es por lo general aceptado el papel de los procesos bioquímicos en el aprendizaje, ya que el comportamiento observado (comúnmente reflejo) es lo suficientemente sencillo como para estar basado en variaciones del sistema nervioso. Al hablar de comportamiento complejo, generalmente identificado con *funciones superiores*, se utilizan una serie de construcciones y metáforas como la del almacenamiento mencionada anteriormente. Sin embargo, nunca decimos que tenemos almacenado un reflejo en la médula espinal (Donahoe y Palmer, 1994). Se recurre entonces a conceptos de lo mental, aún como función de lo neuronal (Bunge, 1980), según los cuales no es clara la continuación evolutiva entre los animales (en especial los inferiores) con el animal humano. ¿A alguien se le ocurriría decir que una pulga tiene mente? Si otros animales no tienen mente, entonces presumiríamos que en ellos, los procesos que llamamos,

percepción, atención y solución de problemas pueden ser explicados en términos de las funciones neuronales (Churchland, 1986), sin embargo para los animales humanos, aceptamos y recurrimos a conceptos aún más abstractos como motivación, emoción, razonamiento, pensamiento etc. La imaginación, por ejemplo, es actividad del cerebro, y este tipo de acción se relaciona con los comportamientos de interés para la psicología. La mayoría de los eventos que se han considerado objetos de la psicología, como el pensamiento, la conciencia, etc., si bien nos interesan, se hace necesario construirlos de una manera diferente y comprender cuál es su relación con una ciencia de lo material, que lidia con movimientos, actos o conductas de los organismos (Clavijo, 1994).

Con base en lo anterior es posible entonces suponer, que aún los comportamientos más complejos tienen una base de conducta neuronal que se encuentra en función de los eventos medioambientales, de manera que pueden llegar a ser explicados con base en sus correlatos neuronales.

Por ejemplo, el aprendizaje motor *voluntario* está relacionado con modificaciones nerviosas a nivel cerebeloso. En un experimento con un mono citado por Kandel *et al.* (1997), se observó la actividad de ciertas fibras cerebelosas conocidas como musgosas y trepadoras, cuando ocurría un cambio en el movimiento de los músculos flexores y extensores de la muñeca. El mono estaba entrenado en mover una palanca de manera suave y rápida hasta un punto determinado. La mano estaba conectada a un motor que introducía peso sobre la mano desplazándola inesperadamente. El movimiento de la palanca era preciso en los primeros ensayos hasta que se introducía el peso y la respuesta se vol-

vía imprecisa durante varios ensayos hasta que volvía a normalizarse teniendo en cuenta la nueva condición. Cuando el peso era constante, el movimiento suave y preciso se acompañaba por fluctuaciones estereotipadas de descargas sencillas de las fibras musgosas acompañadas de descargas complejas de las fibras trepadoras. Cuando el peso cambiaba, la frecuencia de descargas complejas aumentaba drásticamente y la frecuencia de las sencillas disminuía. A medida que el mono se habituaba a esta nueva condición, las descargas regresaban a la normalidad, pero la frecuencia de descarga de las fibras musgosas se mantenía por debajo de su nivel anterior. Este experimento evidencia un cambio relativamente permanente en las neuronas, asociado a una situación motora compleja nueva que requiere un proceso de aprendizaje para poderla llevar a cabo.

En otros estudios con monos, se ha observado como las neuronas del surco principal de la región prefrontal intervienen en conductas de recuerdo espacial demorado. Los monos son entrenados en fijar la mirada sobre un punto de luz, mientras se presenta brevemente una señal en alguna otra parte del campo visual. La luz y señal desaparecen y después de un intervalo de seis segundos el animal debe volver sus ojos al sitio donde estaba la señal. Muchas neuronas prefrontales incrementan sus tasas de disparo cuando aparece la señal; durante el período de demora, esta tasa se mantiene a pesar de que la señal no está presente (Kandel *et al.*, 1997), indicando que estas neuronas cambian y mantienen dicho cambio en función de eventos medioambientales.

Cuando nos exponemos a la presentación simultánea o contigua de una variedad de eventos ante los que nuestro sistema

nervioso puede variar, por lo general la presentación de uno sólo de esos eventos es suficiente para activar los cambios neuronales que fueron generados por los demás cuando estuvieron junto al que ahora es presentado exclusivamente. Al emitir un comportamiento nuestro sistema nervioso cambia en función de lo que estamos haciendo. Si seguido a ese evento ocurre una consecuencia, entonces ocurren nuevos cambios. De esta manera, la próxima vez que presentemos este comportamiento es probable que se activen ambos cambios neuronales (los de la conducta y los de la consecuencia) y podamos así *anticipar* las consecuencias.

Lo que ocurre aquí no es un recuerdo, ni una anticipación en el sentido estricto de la palabra, sino que un evento tiende a causar la activación del mismo conjunto de neuronas que se activaron en su presencia. Así cuando *pensamos* en el color rojo lo más probable es que se activen los mismos cambios neuronales producidos cuando estamos viendo el color, con la diferencia de que el color no está y por lo tanto ni los conos ni los bastones están activados.

Ahora bien, la actividad neuronal de *pensar* en rojo, no ocurre de una manera espontánea, tiene que ocurrir algo que active cada red. Como ya lo dijimos, cuando de diferentes eventos que se han presentado juntos, se presenta uno sólo, se activan los cambios pertinentes a cada uno. En nuestra historia, cuando se presentaba visualmente el color rojo, escuchábamos de nuestra madre o profesora la palabra *rojo*. Así, cuando alguien nos dice rojo, no sólo se activa el nervio auditivo y el área cortical correspondiente, por el estímulo sonoro, sino también los cambios en las redes que serían activadas directamente si

estuviéramos mirando el color *rojo*, exceptuando las vías sensoriales.

En un estudio de Roland y Friberg (citado por Solso, 1995), se le pidió a un grupo de sujetos que *imaginaran* el camino hacia su casa hasta llegar a la puerta. Mientras realizaban este ejercicio de imaginación se midió el flujo sanguíneo cerebral por regiones y se observó que el mayor flujo se encontraba en las regiones cerebrales posteriores, especialmente lóbulo occipital y algunas áreas temporales de importancia para el procesamiento visual superior. La conducta verbal de los demás ejerce control sobre nuestro comportamiento (como discriminativo o como consecuencia) a través de una historia de reforzamiento (Guerin, 1994). Vemos entonces como la estimulación medioambiental verbal (instrucciones de imaginar el camino a casa), que ha estado asociada a los eventos reales (el camino a casa de cada sujeto), puede generar actividad cortical análoga a la que se produciría directamente por estos eventos *como si los estuvieran viendo*.

En otro estudio relacionado (Podgorny y Shepard, citados por Solso, 1995), se les pidió a un grupo de personas que observaran una letra F sobre un fondo cuadrícula; posteriormente se mostró la cuadrícula con una marca sobre uno de los cuadros y las personas debían decir si el cuadro marcado pertenecía a la F, o no. A las personas de un segundo grupo se les pidió pensar en una letra F y realizar un ejercicio similar al del primer grupo pero a través de la imaginación. Mientras realizaban el ejercicio se escanearon por emisión de positrones para medir actividad cerebral, en los sujetos de ambos grupos y se encontró que tanto los que percibían como los que imaginaban activaban las mismas

áreas a nivel cerebral. Por lo tanto, los eventos aprendidos producen cambios neuronales semejantes a aquellos que ocurren durante la percepción.

Cuando un comportamiento es reforzado en presencia de un estímulo, este estímulo se vuelve discriminativo y decimos que controla la conducta, aunque no la causa, anunciando la contingencia. Es decir que en presencia de este estímulo, *si* se presenta la conducta *entonces* se obtendrá reforzamiento. Supongamos entonces que en alguna ocasión delante de la abuelita, un niño hizo pataleta para que le dieran un dulce y, como es costumbre de las abuelas, ella le dio gusto. Desde ese momento, decimos que la abuelita actúa como un estímulo discriminativo para la conducta de hacer pataleta, pues anuncia que ante ella, dicho comportamiento obtendrá reforzamiento. Para complementar esta explicación de la conducta, lo que puede estar ocurriendo es que: ya que los tres eventos se presentaron relativamente juntos en el tiempo, la presentación de alguno de ellos, en este caso la abuelita, activaría los cambios neuronales de los demás. Al activarse los cambios neuronales que generó la pataleta y los cambios neuronales que generó el dulce, es muy probable que no sólo se activen neuronas a nivel cortical que le *recuerden* que cuando está su abuela le dan un dulce si hace la pataleta, sino también, aunque no necesariamente, el resto de la cadena en el sistema nervioso hasta llegar a la ejecución motora de la acción y conseguir nuevamente un dulce.

Sin embargo, la discriminación de estímulos tiene otro tipo de implicaciones. Por ejemplo, la conducta de decir "*gato*" puede darse ante diferentes estímulos como el gato escrito, el gato real, un gato dibujado etc. Esto se debe a que todos es-

tos eventos estimulares han estado presentes como discriminativos cuando la conducta de decir gato fue reforzada, originándose así un fenómeno de generalización de estímulos. De la misma manera, diferentes respuestas como dibujar al gato, escribir la palabra gato, y decir gato, pueden emitirse en presencia de un solo estímulo auditivo como la palabra "gato". Esto se conoce como generalización de respuestas, ya que se dan varias operantes ante un mismo discriminativo, pues éste estuvo presente cuando cada una de ellas fue reforzada. Decimos que este estímulo discriminativo no causa la conducta, sino que anuncia la probabilidad de ocurrencia de una contingencia, o que señala la disponibilidad de ella, o que activa la contingencia entre la conducta y la consecuencia. Esta activación, señalización o anuncio puede ser mejor entendido como diversos cambios en el sistema nervioso, ocasionados por estímulos que se han presentado por lo general contiguos a otros eventos. Así, con sólo oír a alguien diciendo "gato", se activan redes relacionadas con eventos estimulares como la palabra, el dibujo y el gato real. Además, redes relacionadas con eventos comportamentales como decir la palabra, escribirla, tocar o dibujar al gato y por lo tanto, redes relacionadas con los eventos que se sucederían a continuación como consecuencia de cada conducta. Toda esta actividad neuronal puede darse gracias a que con el sonido de la palabra se activan cambios neuronales que anteriormente fueron activados ya sea por eventos estimulares relacionados con ese estímulo auditivo (imagen, el gato real, las letras de la palabra etc.), o bien por eventos comportamentales relacionados también con el estímulo auditivo "gato" (dibujarlo, escribirlo, tocarlo etc.). De esta manera observamos como lo que

fue seleccionado por las contingencias medio ambientales no son sólo las conductas observables que se relacionan con el estímulo, sino los cambios neuronales que cada evento, estimular o comportamental, generó en el sistema nervioso.

Conclusión

El objeto de una selección debe ser un evento material, una entidad física que conserve aquello que fue seleccionado. Los cambios y actividades de diferentes neuronas son por lo tanto un aspecto fundamental del proceso de selección operante; son en resumen, aquello que es seleccionado, el comportamiento que se mantiene como base de la conducta operante de un organismo durante su lapso de vida. Es precisamente la conducta neuronal lo que se encarga de cambiar en función de las contingencias medioambientales que modifican este comportamiento.

No hay razón para que el comportamiento, en especial el comportamiento complejo, escape a las leyes de la conducta y al funcionamiento neuronal. Encontramos como los acontecimientos del medio ambiente afectan de manera significativa los procesos neuronales de manera que estos retienen los cambios necesarios para mantener conductas que han sido seleccionadas. Aun en lo referente a las áreas aplicadas de esta posición teórica, es posible evaluar que, cuanto mejor funciona una intervención social, ya sea por medio de la psicoterapia, del consejo o del apoyo de la familia o de los amigos, su efecto se deberá a la acción en el encéfalo y, más probablemente, al fortalecimiento de las conexiones entre sus células (Kandel *et al.*, 1997). Además, la falta de cambios estructurales no excluye la posibilidad de que

haya cambios biológicos importantes. Simplemente, que no son detectables por la tecnología de la cual disponemos.

Ya que el enfoque conductual es coherente con una filosofía seleccionista, y los mecanismos neuronales son objeto de la selección del medioambiente, entonces es necesario considerarlos como un elemento básico y complementario de la explicación del comportamiento y dejar de verlos como el objeto de estudio de otras áreas de la ciencia o de subáreas de la psicología que lo separan de la conducta abierta. La conducta neuronal juega un rol decisivo en la explicación del comportamiento del ser humano. Si es considerada conducta y ya no es tan inobservable como hace un siglo de manera que le reste objetividad al estudio del comportamiento, entonces por qué separarla del objeto de estudio de las ciencias de la conducta, cuando precisamente puede explicar muchos de los principios y leyes que lo gobiernan. Los experimentos expuestos en este artículo son de verdadera importancia pues representan un gran avance en el intento de entender las bases neurobiológicas del aprendizaje y la conducta.

Esta aproximación al estudio del comportamiento puede ser vista como un enfoque biocomportamental (Donahoe y Palmer, 1994), que cada vez toma más fuerza dentro de las prácticas de investigación científica que tratan de relacionar cerebro y conducta. Básicamente, se pretende que a través de este enfoque, disminuya el nivel de inferencia al que se tiende cuando se

estudian eventos inobservables del comportamiento, pues se intenta dar a determinadas construcciones hipotéticas, un soporte experimental fisiológico que sea independiente teóricamente. Con esto se espera evitar el uso de explicaciones circu-

lares en las que el concepto inferido es justificado a través de las observaciones de la conducta, mientras que tales conductas a su vez son explicadas gracias al constructo. En lugar de esto, el enfoque biocomportamental, experimenta de una manera inductiva con aspectos observables del comportamiento neurofisiológico y trata luego de encontrar relaciones con el comportamiento abierto, a través de una metodología experimental conocida como *bottomup* utilizada por lo general dentro de las neurociencias comportamentales.

Por otra parte, las neurociencias cognitivas utilizan mayormente una metodología llamada *topdown*, en la que de manera deductiva y esencialista, se parte de un concepto concebido a priori a partir de inferencias. Este concepto, arroja resultados experimentales muy contradictorios a la hora de encontrarle un correlato neuronal, pues raramente se ve modificado a partir ellos.

La aproximación biocomportamental y en general las neurociencias comportamentales se diferencian mucho de otros sistemas explicativos como el localizacionismo, generalmente asociado a la neuropsicología básica; el conductismo, que evade la intervención de los sistemas neuronales en sus explicaciones; o el cognitivismo, que involucra variables intervinientes inferidas sin un buen nivel de observabilidad. Además, se aparta también de muchos principios epistemológicos tradicionales como el dualismo o el monismo emergentista. Es, si pudiéramos clasificarlo de alguna manera, en principio monista materialista y dependiendo de los diferentes autores, un tanto reduccionista, respetando claro, la validez de cada uno de los niveles de análisis de un objeto de estudio. Tal vez se ve mejor identificado, aunque no total-

mente, con las bases epistemológicas del análisis experimental de la conducta en cuanto a que sus unidades de análisis involucran siempre las relaciones entre eventos y no un evento en sí definido a través de sus características o propiedades.

Sin embargo, ninguna aproximación por sí sola ha llegado a ser suficiente para dar cuenta de la complejidad del comportamiento de los organismos, y esfuerzos en muchas direcciones son necesarios a la hora del quehacer científico el conocimiento de nuestra realidad conductual. Este planteamiento pretende dar cuenta de aspectos epistemológicos, metodológicos y experimentales que de alguna manera pudieran ayudar a dar nuevas luces en el entendimiento del ser humano como parte de los fenómenos naturales que nos rodean.

Referencias

- Bunge, M. (1980). *El problema mente-cerebro. Un enfoque psicobiológico*. Madrid: Tecnos.
- Bunge, M. (1983). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- Byrne, J. H., y Crow, T. (1995). Invertebrate Models of Learning: Aplysia and Hermissenda. En M.A. Arbib (Ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Churchland, P. (1986). *Neurophilosophy. Toward a Unified Science of the Mind-Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Clavijo, A. (1994). Cómo definir y entender el comportamiento. *Suma Psicológica, 1*, 199-224.
- Domjan, M., y Burkhard, B. (1993). *Principios de aprendizaje y de conducta*. Madrid: Debate.
- Donahoe, J. W., y Palmer, D. C. (1994). *Learning and Complex Behavior*. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- Guerin, B. (1994). *Analyzing Social Behavior: Behavior Analysis and the Social Sciences*. Reno, NV: Context Press.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H., y Jessell, T. M. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.
- Klein, S. B. (1994). *Aprendizaje. Principios y aplicaciones*. Madrid: McGraw Hill.
- López, W. (1994). Antecedentes históricos y filosóficos del conductismo radical: una aproximación puntual. *Suma Psicológica, 1*, 191-197.
- Palmer, D.C., y Donahoe J.W. (1992). Essentialism and Selectionism in Cognitive Sciences and Behavior Analysis. *American Psychologist, 47*, 1344 - 1357.
- Skinner, B.F. (1990). Can Psychology Be a Science of Mind? *American Psychologist, 45*, 1206-1210.
- Solso, R. L. (1995). *Cognitive psychology*. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- Stein, L., y Belluzzi, J. D. (1989). Cellular Investigations on Behavioral Reinforcement. *Neuroscience and Biobehavior Reviews, 13*, 69-80.