

PSICOLOGÍA Y BIOLOGÍA EVOLUTIVA

APUNTES PARA UN SEMINARIO



Jaime Ernesto Vargas Mendoza



ASOCIACIÓN
OAXAQUEÑA DE
PSICOLOGÍA A.C.

Psicología y biología evolutiva: apuntes para un seminario.
Vargas-Mendoza, Jaime Ernesto.

© 2007. Asociación Oaxaqueña de Psicología A.C.

Calzada Madero 1304, Centro, Oaxaca de Juárez, Oaxaca,
México. C.P. 68000

Tel. (951)5142063, (951) 5495923, Fax. (951) 5147646

www.conductitlan.net

E-mail: jorgeever@yahoo.com.mx, comentarios@conductitlan.net

Se promueve la reproducción parcial o total de este documento
citando la fuente y sin fines de lucro.

En caso de citar este documento por favor utiliza la
siguiente referencia:

Vargas-Mendoza, J. E. (2007) *Psicología y biología evolutiva:
apuntes para un seminario*. México: Asociación Oaxaqueña de
Psicología A.C.

CONTENIDO.

I

EVOLUCION DE LA CONDUCTA

Estados Iniciales de la Evolución.

V. F. Turchin

Sobre el Sendero hacia el Ser Humano.

V. F. Turchin

Aplicando las Lecciones de Bernard y Darwin a la Teoría,

Investigación y Práctica Conductual.

G. A. Cziko

II

APRENDIZAJE Y EVOLUCION

Plotkinismo Universal: Una Revisión de "Las Máquinas de Darwin

y la Naturaleza del Conocimiento", de Henry Plotkin.

C. D. L. Wynne

La Función, los Mecanismos y la Evolución del Aprendizaje y la Conducta:

Una Revisión de "Cognición, Evolución y Conducta", de Sara J. Shettleworth.

M. D. Zeiler

La Evolución, los Principios de la Conducta y los
Sistemas de Desarrollo:

Una Revisión de "La Síntesis Naturaleza-Crianza:
Desarrollos Prenatales de
la Conducta Instintiva", de Gottlieb.

S. M. Schneider

Análisis Experimental de las Relaciones Genes-
Cerebro-Conducta:

Algunas Notas sobre su Aplicación.

C. H. Kennedy, M. Caruso y T. Thompson

¿ Altruismo pre determinado ? Las Ciencias de la
Conducta, la Teoría Evolutiva
y los Orígenes de la Reciprocidad, de Alexander J.
Field.

C. T. Palmer

III BIOCIBERNETICA

Hacia una Biocibernética Evolutiva.

V. G. Red'Ko

Una Perspectiva Psicológica del Propósito:

Los Organismos como Sistemas de Control Perceptual.

G. A. Cziko

IV
ASTROBIOLOGIA

La Astrobiología

La Evolución Cósmica y la Vida
Jean Heidmann

ESTADOS INICIALES DE LA EVOLUCION.

Valentin F. Turchin
The Phenomenon of Science, Chap.1

1. LA LEY BASICA DE LA EVOLUCION .- En el proceso evolutivo de la vida, hasta donde yo se, el total de la masa de materia viva, siempre ha estado incrementándose y creciendo en complejidad y organización. Para aumentar la complejidad en la organización de las formas biológicas, la naturaleza opera por ensayo y error. Las formas existentes se reproducen formando muchas copias, estas no son idénticas a la original. Mas bien difieren de ella por la presencia de pequeñas variaciones al azar. Son estas copias las que luego sirven como el material para la selección natural. Pueden actuar como seres vivientes individuales, en cuyo caso la selección conduce a la consolidación de las variaciones útiles o como elementos constitutivos de formas mas complejas, en cuyo caso la selección se dirige hacia estructuras con formas nuevas. En ambos casos, se trata del resultado del reto de la vida, donde las formas con mayor variabilidad substituyen a las menos variables. Este mecanismo del desarrollo de la vida, que fue descubierto por Charles Darwin, es lo que se denomina como la Ley Básica de la Evolución.
2. LA ERA QUÍMICA .- La historia de la vida, antes de la aparición de los seres humanos, se puede dividir en dos periodos, al los que nos referiremos como la era "química" y la era "cibernética". El puente entre ellas está en el surgimiento de animales con sistemas nerviosos distintos, incluyendo sentidos y órganos, fibras nerviosas para transmitir información y centros nerviosos (nódulos) para que converja la información.
3. En el primer estadio, los fundamentos químicos de la vida eran simples. Las macromoléculas o los ácidos nucleicos y las proteínas tenían la propiedad de replicación, hacían copias o "impresiones", donde una macromolécula servía para sintetizar macromoléculas similares, a partir de radicales elementales. La ley básica de la evolución, que jugaba un papel en ese momento, hacía que las matrices con mayor intensidad reproductiva tuvieran ventaja sobre las de menor intensidad y, como resultado, se formaron sistemas y macromoléculas de mayor complejidad. La

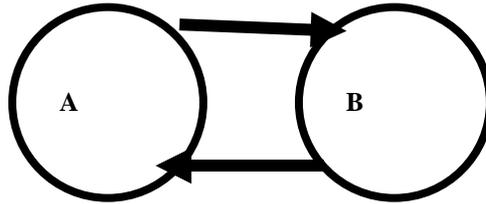
- biosíntesis demandaba energía libre y la fuente primaria era la radiación del sol.
4. El segundo estadio de la evolución fue la aparición y el desarrollo de un aparato motriz en los animales. Las plantas y los animales difieren fundamentalmente en la forma en que obtienen su energía. Con un nivel dado de iluminación, la intensidad de absorción de energía solar depende enteramente de la cantidad de superficie que presente una planta y no de si se mueve o permanece estacionaria. Las plantas se refinaron produciendo extensiones para atrapar la luz (hojas verdes acopladas a una estructura de soporte, con tronco y ramas).
 5. La situación resulta enteramente diferente para los animales, en particular con los mas primitivos, como la amoeba. La fuente de energía (comida), llena el ambiente que le rodea. La ingesta de energía está determinada por la velocidad con que las moléculas de alimento se difundan en el mecanismo que separa el aparato digestivo del ambiente externo. La velocidad de difusión depende menos del tamaño de la superficie del aparato digestivo, que del movimiento de esa superficie, en relación al ambiente. Emergieron, entonces, formas especiales, cuya función básica era la de producir movimiento.
 6. En el tercer estadio de la evolución, los movimientos de los animales se tornaron dirigidos y aparecieron las formas incipientes de órganos de los sentidos y sistema nervioso. Esto también fue una consecuencia natural de la ley básica. Resulta mas ventajoso para el animal moverse en dirección a donde se concentra mayor cantidad de alimento y para lograrlo, debe contarse con sensores que describan el estado del ambiente externo en todas direcciones (los órganos de los sentidos), así como la formación de canales de comunicación entre los sensores y el aparato motriz (sistema nervioso). Se iniciaba una nueva era: la era "cibernética".
 7. CIBERNÉTICA .- El término "cibernética" fue introducido por Norbert Wiener, quien lo definía descriptivamente como la teoría de las relaciones y el control en los organismos vivos y el las máquinas.
 8. La cibernética se basa fundamentalmente en el concepto de *sistema*, un objeto material compuesto por otros objetos denominados subsistemas. A su vez, los subsistemas de un sistema, están formados por otros subsistemas.

9. El segundo concepto básico de la cibernética es el de estado del sistema (o subsistema). El concepto de sistema se fundamenta directamente en nuestra intuición espacial y el de estado en nuestra intuición sobre el tiempo. Cuando decimos que un objeto ha cambiado respecto a algo, estamos afirmando que ha pasado a un estado diferente. Como el concepto de sistema, el de estado se refiere a una relación: la relación entre dos momentos en el tiempo.
10. La cibernética estudia la organización de los sistemas en el espacio y en el tiempo, es decir, estudia como se conectan los subsistemas para formar un sistema y como el cambio de estado en algún subsistema influye en el estado de otros subsistemas. El énfasis fundamental es sobre la organización temporal que, cuando tiene un propósito, se denomina *control*.
11. La naturaleza física verdadera de los subsistemas elementales no es del interés de la cibernética, la cual se preocupa solo de cómo es que se interconectan. Así, es posible hacer las mismas consideraciones cibernéticas aplicables a objetos tan diversos como un circuito de radar, un programa de computadora o el sistema nervioso humano.
12. SISTEMAS DISCRETOS Y SISTEMAS CONTINUOS .- El estado de un sistema se define mediante la suma de los estados de todos sus subsistemas. Hay dos tipos de subsistemas elementales: los que tienen un número finito de estados posibles, también llamados subsistemas con estados discretos y aquellos con un número infinito, denominados como subsistemas con estados continuos.
13. De muchas formas, los sistemas discretos son mas simples para su análisis que los sistemas continuos. Nosotros solo nos ocuparemos de los sistemas discretos. En principio, todos los sistemas continuos pueden verse como sistemas discretos con un número extremadamente grande de estados.
14. Los mecanismos bioquímicos relativamente simples, que regulan la temperatura corporal, el contenido de varias substancias en la sangre y otras características semejantes, son sistemas continuos, pero el sistema nervioso está construido de acuerdo al principio discreto.
15. INFORMACIÓN .- Cuando empezamos a describir un sistema cibernético concreto es imposible no usar el término información, una palabra familiar y entendible en su significado informal o coloquial. Sin embargo, el concepto

cibernético de información tiene un significado exacto y cuantitativo.

16. La siguiente Figura muestra la transmisión de información del sistema A al sistema C, a través del sistema B.

B es denominado como el *canal de comunicación*. El estado de B puede estar influido, no solo por el estado A, sino también por cierto factor fuera de control X, que se denomina como *ruido*. El estado final del sistema C, en este caso, depende no solo del estado de A, sino también del factor X (distorsión de la información). Un diagrama aún más importante, sobre el intercambio de información, es el que se muestra en la siguiente figura.

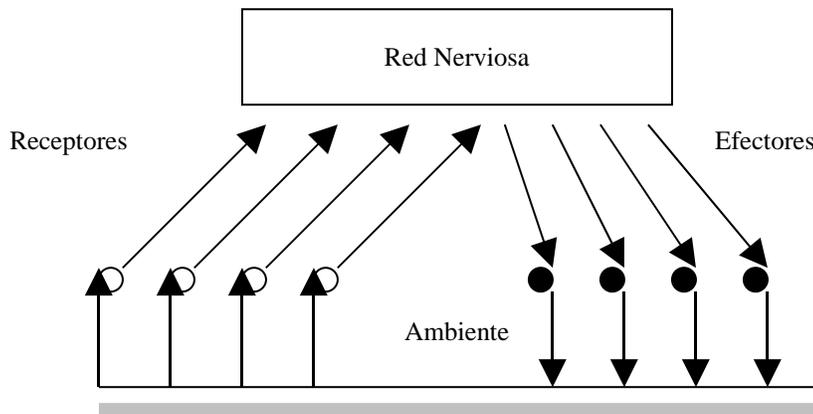


Este es el denominado diagrama de feedback. El estado del sistema A en el tiempo uno t_1 influye sobre el estado de B en el tiempo dos t_2 para después influir sobre el estado de A en el tiempo tres t_3 . Está completo el círculo del movimiento de la información.

17. LA NEURONA .- Una neurona está formada de un cuerpo celular grande (mas de 0.1 mm), con forma de estrella, de la que salen varias ramificaciones llamadas *dendritas*, las que en sus puntas se subdividen en ramificaciones cada vez más finas, como las ramas de un árbol. Además de las dendritas, la neurona tiene un largo brazo que sale de su cuerpo llamado *axón*, que parece un cable largo y puede llegar a medir como un metro, terminando también en ramificaciones cuyas terminales rematan en pequeños bulbos. Estos bulbitos de una neurona llegan cerca del cuerpo o de las dendritas de otra neurona, casi tocándose. A estos contactos se les llama *sinápsis* y es mediante ellos que interactúan las neuronas. La cantidad de

bulbitos próximos a una neurona vecina pueden ir de unas docenas hasta unos cientos. De esta manera se interconectan las neuronas formando la *red nerviosa*.

18. Cuando uno considera ciertas propiedades fisicoquímicas (sobre todo la propagación del potencial eléctrico sobre la superficie de la célula), uno descubre que las neuronas pueden estar en uno de dos estados (un estado de reposo y un estado de estimulación). De tiempo en tiempo, por la influencia de otras neuronas u otros factores externos, las neuronas cambian de un estado al otro.
19. Así, debemos considerar que la red nerviosa es un sistema discreto que está formado por subsistemas elementales (las neuronas), con dos estados posibles.
20. Experimentalmente se ha establecido que la estimulación de algunas sinápsis promueven la estimulación de la células, mientras que la estimulación de otras sinápsis evita la estimulación de la célula. También, que ciertas sinápsis son completamente incapaces de conducir la estimulación desde los bulbitos y, consecuentemente, no influyen en el estado de la neurona. También se ha establecido que la conductividad de la sinápsis se incrementa luego de haber pasado la primera estimulación por ella. Esto explica como trabaja el sistema de comunicación entre neuronas y que este puede cambiar, sin modificar la posición relativa de las neuronas.
21. LA RED NERVIOSA .- La siguiente Figura muestra un diagrama general del sistema nervioso del "animal cibernético", en interacción con su ambiente.



22. Las células nerviosas sensibles, que son estimuladas por la acción de factores externos se denominan *receptores*, por ser la primera estructura que recibe información sobre el estado del ambiente. La información penetra la red nerviosa y es transformada en ella. Como resultado, ciertas células nerviosas llamadas *efectores*, se activan. Las ramificaciones de las células efectoras penetran aquellos tejidos del organismo que afecta directamente el sistema nervioso. La estimulación de los efectores produce contracciones en los correspondientes músculos o la actividad de la glándula apropiada. Se llama la *situación* al momento, al estado de todos los receptores en cierto tiempo. Al estado de todos los efectores se le llama *acción*. Por lo que, el papel del sistema nervioso consiste en convertir la *situación* en *acción*.
23. Es conveniente recordar que al referirnos al *ambiente*, en la figura anterior, no nos referimos solo a los objetos que rodean al animal, sino también a sus huesos, sus músculos y en general, todo lo que no forma parte del sistema nervioso.
24. El propósito del sistema nervioso es el de promover la supervivencia y la reproducción del animal.
25. EL REFLEJO SIMPLE (IRRITABILIDAD) .- La variante mas sencilla de la red nerviosa se da cuando no hay red alguna. En ese caso, los receptores están directamente conectados con los efectores y la estimulación de uno o varios receptores se transmite a uno o varios efectores. A semejante conexión directa entre la estimulación del receptor y el efector, se denomina como *reflejo simple*. Este estado, el tercero de los estados de la evolución, es el puente entre las eras química y cibernética.
26. EL REFLEJO COMPLEJO .- Cuando la naturaleza tiene disponible un gran número de receptores y efectores interconectados en pares, tiene la oportunidad de desarrollar un sistema de conexiones mas complejas introduciendo neuronas intermediarias. Esto hace que se puedan dar formas de comportamiento mas variadas. En el caso del reflejo simple, las posibilidades de conducta son descritas por la fórmula 2^n , pero cuando hay neuronas intermediarias las posibilidades aumentan muchísimo y podrían ser descritas con la fórmula $2^{(2-n)n}$

SOBRE EL SENDERO HACIA EL SER HUMANO.

Valentin F. Turchin

The Phenomenon of Science, Chap.3

2. LA TRANSICIÓN DEL METASISTEMA .- Es posible resumir los resultados de nuestra investigación sobre los mecanismos de la evolución en sus estados tempranos, mediante el empleo de la terminología basada en los conceptos generales de la cibernética. Así, si hemos empezado a pensar en esa dirección, con facilidad podemos detectar una característica general de la transición de un estado bajo a otro mas alto: en cada estado, el sistema biológico posee un subsistema que podría identificarse como el dispositivo de mas alto control. Se trata del subsistema originado mas recientemente y que contiene el mas alto nivel de organización. La transición al siguiente estado ocurre mediante la multiplicación de tales sistemas (replicación múltiple) y su integración, reuniéndose en un todo singular, con la formación (mediante el método de ensayo y error), de un sistema de control encabezado por un subsistema nuevo, que ahora se convierte en el dispositivo de mas alto control, para el nuevo estado evolutivo. Debemos denominar al subsistema dedicado al control como subsistema X y a los diversos sistemas homogéneos, como subsistemas $A_1, A_2, A_3 \dots$. Por lo cual, a la transición de un estado al siguiente, le llamaremos la *transición del metasistema*.

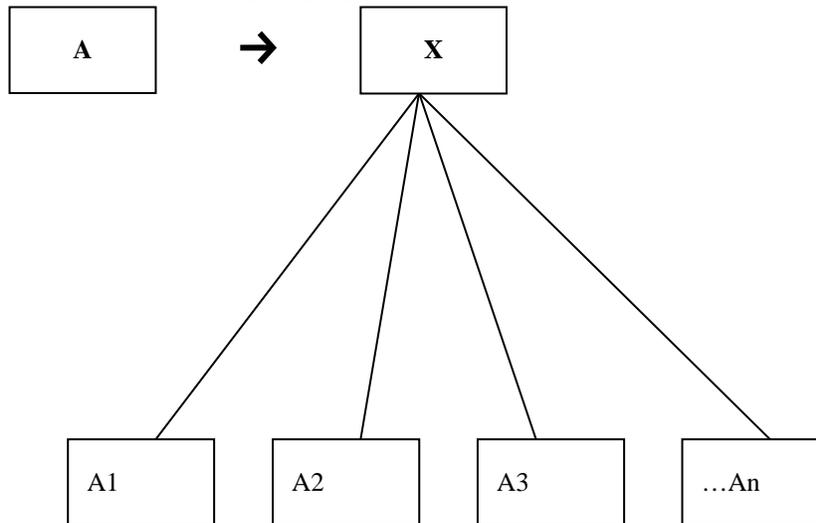


Figura .- La transición del metasistema.

3. La primera transición del metasistema que discernimos en la historia de los animales es la de la aparición del movimiento. Los subsistemas integrados son las partes de las células que aseguran el metabolismo y la reproducción. La posición de estas partes en el espacio es azarosa y descontrolada hasta que, en cierto momento, aparecen órganos que conectan las partes separadas de la célula y la llevan al movimiento: membranas celulares, cilios o flagelos. La transición del metasistema ocurre y se define con la fórmula: control de *posición* = *movimiento*.
4. En este estado el movimiento no está controlado y no correlaciona de forma alguna con el estado del ambiente. La siguiente tarea de la naturaleza será controlarlo. Controlar el movimiento significa hacerlo una función definitiva del estado del ambiente. Esto conduce a la irritabilidad. La irritabilidad ocurre cuando (bajo la influencia de factores externos) hay un cambio en el estado de algunos segmentos de la célula y cuando este cambio se esparce a otros sectores (especialmente aquellos que aseguran el movimiento). Luego, la fórmula para la transición del metasistema, del segundo estado al tercero es. Control del *movimiento* = *irritabilidad*.

Era Química	1.Fundamentos químicos de la vida 2.Movimiento 3.Irritabilidad (reflejo simple)
Era Cibernética	4.Red nerviosa (reflejo complejo) 5.Asociación(reflejo condicionado)

Figura .- Estados evolutivos de la vida antes de la era de la razón.

5. Debemos resaltar una característica de la transición del metasistema. Cuando los subsistemas empiezan a integrarse y se reúnen en un metasistema, ocurre la especialización, los subsistemas se adaptan a una actividad particular y pierden su capacidad para otro tipo de actividades. La especialización se observa con particular claridad, cuando el organismo se integra en su totalidad. Cada subsistema que se integra ejecuta funciones "superfluas", necesarias para la vida independiente, pero inútiles en la comunidad, donde otros subsistemas las realizan. Así,

- aparecen células especializadas musculares y nerviosas, en el organismo multicelular.
6. El transporte a un nivel definitivo de organización se ramifica solo después de que el nuevo nivel superior empieza a formarse. A esta característica se le llama la *ley de ramificación del penúltimo nivel*. Entonces, en la descripción funcional fenomenológica, la transición del metasistema no aparece inmediatamente después del establecimiento del nuevo nivel, aparece un poco después, luego de que el penúltimo nivel se ha ramificado. La transición del metasistema siempre involucra dos niveles de organización.
 7. Continuemos nuestro viaje a los estados de la evolución. Apliquemos el principio de transición del metasistema al nivel de la irritabilidad. En este nivel, la estimulación de ciertos sectores de un organismo unicelular o de una célula nerviosa especializada en un organismo multicelular, ocurre directamente desde el ambiente exterior y esta estimulación causa de manera directa (uno a uno), la estimulación de la actividad muscular. ¿Qué significa el control de la irritabilidad? Aparentemente, la creación de una red neuronal cuyos elementos, específicamente los efectores, no sean estimulados por el ambiente en forma directa, sino mediante la mediación de un sistema de control complejo. Este es el estado de la evolución que relacionamos con el concepto del *reflejo complejo*. El control de la irritabilidad en este estado se observa con especial claridad en el hecho de que aquí hay una meta. La estimulación de los efectores depende, no solo del estado del ambiente, sino de la meta establecida, esto es, del estado de ciertas neuronas internas en la red. Así, la fórmula para la transición del metasistema (del estado tres al cuatro) es: control de la *irritabilidad = reflejo complejo*.
 8. CONTROL DEL REFLEJO .- No importa que tan refinada sea la construcción de la red nerviosa sobre el principio del reflejo complejo, tiene una deficiencia fundamental: lo invariable de su funcionamiento en el tiempo. El animal con un sistema nervioso así no puede extraer nada de su experiencia, su reacción siempre será la misma y sus acciones siempre se ejecutarán de acuerdo al mismo plan. Si el animal va a poder aprender, su sistema nervioso debe contener algunos componentes variables que aseguren el

cambio en las relaciones relativas a situaciones y acciones. Estos componentes consecuentemente se encargarían del control de los reflejos. Es comúnmente conocido que los animales tienen la habilidad de aprender y desarrollar nuevos reflejos. En la terminología introducida por I. P. Pavlov, los reflejos innatos incluido en el sistema nervioso por la naturaleza se denomina *reflejo incondicional*, en tanto que, el reflejo desarrollado bajo la influencia del ambiente es denominado como *reflejo condicionado*.

9. Sin embargo, no debe igualarse el concepto de reflejo condicionado con el concepto de control del reflejo.
10. El control del reflejo debe comprenderse como la creación, surgida de la experiencia del individuo, de cualquier conexión variable entre los objetos. Tales conexiones se denominan *asociaciones de las representaciones* o simplemente *asociaciones*.
11. Luego, el quinto estado de la evolución es el estado de las asociaciones. La fórmula de la transición del metasistema es: control de los *reflejos* = *asociación*.
12. EL REFLEJO COMO UN CONCEPTO FUNCIONAL .- Los conceptos de reflejo y asociación son conceptos *funcionales* y no *estructurales*. Las conexiones entre el estímulo S y la respuesta R en el reflejo no representan la transmisión de información de un subsistema a otro, se trata de la transición de un estado generalizado a otro.

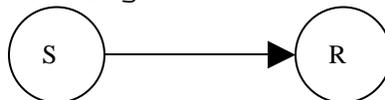


Figura .- Diagrama funcional del reflejo incondicional.

13. LAS ASOCIACIONES DE LAS REPRESENTACIONES SON NECESARIAS. Observemos como se interconectan los estados generalizados del nivel K de la jerarquía y el siguiente nivel K + 1. La tarea principal de los clasificadores es la de manejar información "significativa" y descartar la información "insignificante". Esto significa que hay un grupo de estados en el nivel K que en el diagrama funcional tienen una flecha que va de cada uno, al mismo estado del nivel K + 1. En la siguiente figura, las representaciones

(estados generalizados) T_1 y T_2 evocan igualmente la representación U.

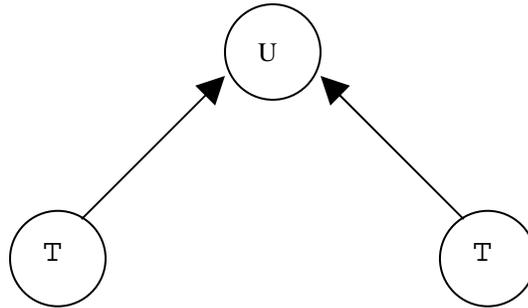
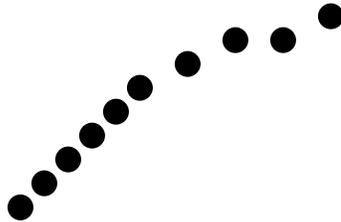


Figura .- Asociación de representaciones.

14. Si T_1 y T_2 siempre se acompañan uno con otro, incuestionablemente este diagrama será ventajoso para el animal. No tiene que saber si T_1 y T_2 están ocurriendo, es suficiente saber que ocurre U. De esta manera la información superflua se descarta y la información útil se comprende. La compresión de la información es posible debido a que T_1 y T_2 siempre ocurren juntos.
15. En el estado del reflejo incondicional, la estructura de tales conexiones, como se ve en el diagrama anterior, no cambia durante la vida del animal y es igual para todos los animales de una especie dada. Sin embargo, como ya hemos mencionado, esta situación no es satisfactoria. Ocurre la transición del metasistema y las conexiones entre los estados generalizados se torna una de control. Ahora, si para la experiencia individual del animal T_1 y T_2 siempre (o bastante seguido) se acompañan uno a otro, se forman nuevas conexiones en el cerebro del animal, que no están determinadas únicamente por la herencia. Esto es lo que llamamos asociar (la formación de nuevas asociaciones de representaciones). Queda claro que las asociaciones están entre las representaciones de mas alto nivel en la jerarquía. De manera que, las correlaciones mas generales en el ambiente, aquéllas que son iguales todas las veces, en todos los lugares, se reflejan en la organización permanente de los clasificadores de nivel mas bajo. Las correlaciones mas particulares se reflejan en conexiones variables en los niveles mas altos.

16. COMPLEMENTACION .- La representación U (en el diagrama anterior) contiene tanto a T_1 como a T_2 , después de todo, fue concebida por el sistema nervioso como equivalente a la presencia simultánea de T_2 y T_1 . De aquí que, cuando T_1 evoca a U en la ausencia de T_2 , ésta última es complementada por la misma U. Podríamos decir que al evocarse U, T_1 se complementa con la T_2 inexistente.
17. Este proceso de complementariedad mental no tiene relación con el hecho de que la asociación se haya desarrollado mediante el aprendizaje. Es solo el método con el que el cerebro procesa la información, lo que juega un papel aquí. Cuando funcionan los mecanismos innatos de bajo nivel, el efecto de complementación se manifiesta con mayor claridad, sin que ningún aspecto de aprendizaje o entrenamiento lo debilite o fortalezca.



18. En la figura de arriba puede verse una línea o un arco y no solo una secuencia de puntos. De hecho no hay ninguna línea. Pero el cerebro suplementa (complementa) el dibujo de los puntos, de manera que se pueda apreciar como una línea. Podemos generalizar esta explicación diciendo que T_1 sería como la secuencia de puntos, U sería la línea y T_2 los puntos suplementarios (que no están).
19. APRENDIZAJE Y REFLEJO CONDICIONADO .- Regresemos desde las asociaciones innatas a las que se han desarrollado, es decir, a la asociación de las representaciones. Lo esencial de la transición del metasistema del cuarto estado evolutivo hacia el quinto, radica en la diferencia entre los sufijos de dos palabras con la misma raíz. La asociación es simplemente uno de los aspectos del reflejo complejo, en tanto que asociar se refiere al control de las asociaciones: la formación de nuevas asociaciones y la desaparición de las viejas.

20. La capacidad de asociar representaciones aparece con mayor amplitud, que la capacidad de formar (y luego reconocer) nuevos conceptos. Un ejemplo sería el del perro que reconoce a su amo desde la distancia.
21. El reflejo condicionado pavloviano es una manifestación más particular de la capacidad de asociación. En seguida está el diagrama de este reflejo:

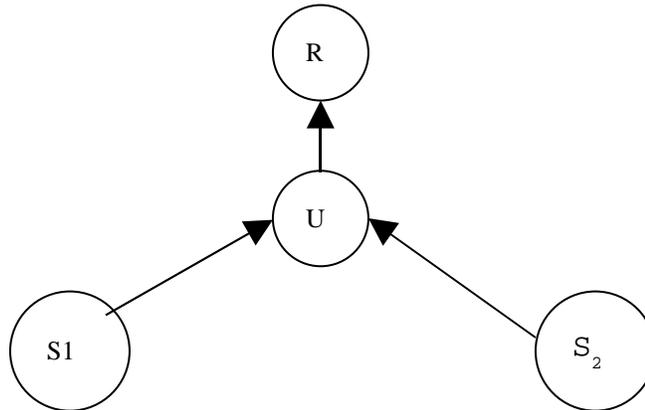


Figura.- Diagrama del reflejo condicionado.

22. El estímulo incondicional S_1 (alimento) siempre se acompaña del estímulo condicional S_2 (silbido) y como resultado se asocian en la representación U , que debido a la presencia de S_1 en ella, produce la respuesta R (salivación). Así, el estímulo S_2 produce U y consecuentemente R , aún cuando S_1 no esté presente. El silbido produce salivación.
23. Ahora dediquemos unas palabras sobre el instinto y la relación que hay entre el comportamiento instintivo y la conducta desarrollada mediante el aprendizaje. Obviamente, el instinto es algo que recibimos por herencia ¿qué exactamente es? Miller, Galantier y Pribram definen como instinto "un plan hereditario, invariable e involuntario". Como sabemos, los planes se organizan con el principio jerárquico. Es teóricamente posible suponer la existencia de un instinto que actúe en todos los estados de la jerarquía, incluyendo la estrategia general y los procedimientos tácticos particulares, de manera que su actuación lleve a la contracción de músculos individuales. Aunque estos autores dicen "si tal instinto existe, nosotros nunca hemos oído hablar de él". El instinto

- siempre mantiene un nivel definido en la jerarquía de conducta, permitiendo al animal construir los componentes faltantes, en los niveles mas bajos, mediante el aprendizaje.
24. Conforme la organización del animal se vuelve mas compleja y crece su habilidad para aprender, en el proceso de la evolución, los instintos "se retraen", tornándose mas abstractos y dando al animal mas y mas espacio para su realización. Luego, la conducta de los animales se vuelve cada vez mas flexible y cambia de acuerdo con los cambios en las condiciones externas. Las especies cambian para poder sobrevivir.
25. MODELADO .- En lo que hemos discutido sobre la asociación de las representaciones hasta aquí, hemos ignorado completamente su dinámica, su aspecto temporal. Hemos considerado a las representaciones que se conectan como estáticas y sin coordinarse con el tiempo. Pero la idea del tiempo puede incluirse activamente en nuestras representaciones.
26. La asociación de representaciones que se coordinan con el tiempo nos permiten vislumbrar las situaciones futuras en nuestra imaginación. Ya hemos sustentado la existencia de tales representaciones yaciendo en nuestra experiencia interna subjetiva. Pero el hecho de que los animales también revelan su capacidad para ver el futuro, nos lleva a concluir que las representaciones de los animales también se coordinan con el tiempo.
27. Hablando en el lenguaje cibernético, la interconexión de las representaciones coordinadas temporalmente y la capacidad resultante de predecir el futuro es lo que llamamos simplemente *modelado*, es decir, la construcción de un *modelo* del ambiente.

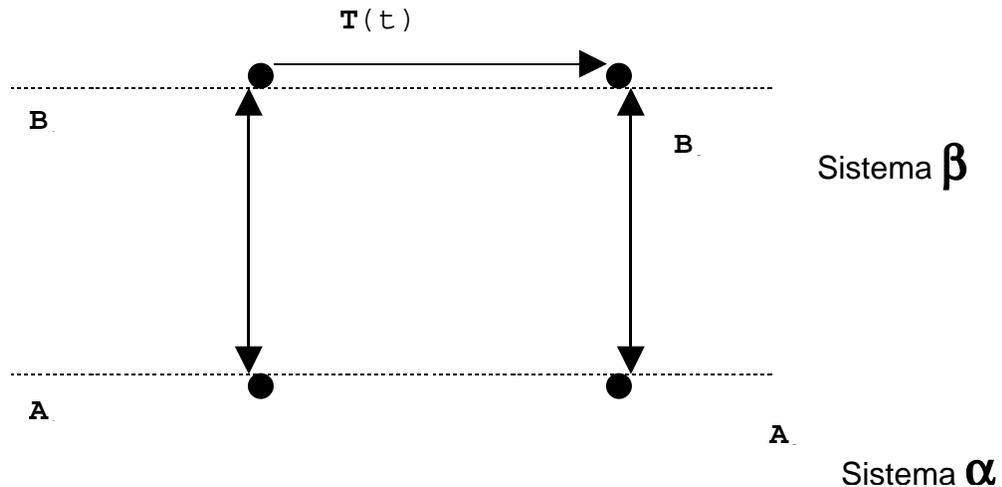


Figura .- Diagrama del modelado.

28. Así, la asociación de representaciones estáticas refleja la existencia de correlaciones espaciales, que son interrelaciones en el ambiente. De la misma forma, las asociaciones de representaciones dinámicas (modelos elaborados por el cerebro), reflejan correlaciones temporalmente dinámicas, que caracterizan al ambiente. La fórmula general de tales correlaciones es: la situación x , luego de un tiempo t , provoca la situación y . Y estas correlaciones se imprimen en el cerebro con sus correspondientes asociaciones.
29. LA COMPRENSIÓN DEL MUNDO.- ¿Qué es el conocimiento? Desde un punto de vista cibernético ¿cómo podemos describir la situación en la que una persona o un animal sabe algo? El conocimiento es la presencia en el cerebro de cierto modelo de la realidad. Un incremento en el conocimiento (el surgimiento de nuevos modelos de la realidad en el cerebro) es lo que se llama la *cognición*. Aprender sobre el mundo no es un privilegio humano, sino una característica de todos los animales superiores. El quinto estado de la evolución puede denominarse el estado donde el individuo desarrolla una cognición sobre el mundo.

APLICANDO LAS LECCIONES DE BERNARD Y DARWIN
A LA TEORIA, INVESTIGACION Y PRACTICA CONDUCTUAL.

Gary A. Czikó
The Things We Do (2000), Chap.12

Vamos a resumir lo que hemos aprendido de las lecciones de Bernard y Darwin acerca del qué, cómo y porqué del comportamiento animado, considerando la aplicación de estas lecciones a la teoría conductual, la investigación y a los tópicos y problemas relacionados con la conducta.

EL "QUE" DE LA CONDUCTA.

La característica mas sobresaliente de la conducta animada es su orientación hacia alguna meta o propósito. Tales metas o propósitos, sean conscientes o no, se manifiestan si se perturba el logro que se sospecha se pretende alcanzar y se observa que el organismo actúa para compensar el disturbio ocasionado.

La respuesta a la pregunta ¿qué es la conducta animada? la proporcionan las extensas lecciones de Bernard y que no pueden expresarse mejor que refiriéndonos al título del libro de Powers (1973) donde se nos indica que el comportamiento animado se entiende mejor como el *control de la percepción*. Es decir que, variando su conducta un organismo mantiene control sobre ciertos aspectos importantes de su ambiente.

Esta respuesta a la pregunta de qué es la conducta significa que un enfoque satisfactorio de la conducta animada observada debe especificar la percepción particular que el organismo esté controlando. Responder a esta pregunta requiere de una metodología muy diferente de los métodos estándar usados en las ciencias de la conducta, donde la conducta no es vista como el control de la percepción, sino como siendo controlada o causada por la percepción. Esta perspectiva Newtoniana intenta establecer un vínculo causal de un solo sentido entre el estímulo y la respuesta (con o sin procesos cognitivos intermedios), usando métodos estadísticos para descubrir relaciones entre variables independientes y dependientes.

En contraste, el enfoque de Bernard aplica lo que Powers refiere como "la prueba de la variable controladora". Un resumen de esto nos lo proporciona Runkel (1990,pp.14,15):

1. Elija una variable que piense que la persona esté manteniendo a un cierto nivel. Presuponga una cierta cantidad de entrada (ejem: intensidad de luz, sensación de temperatura en la piel, admiración en la voz de otra persona).
2. Presuponga que pasaría si la persona no mantuviera la variable al nivel preferido.
3. Aplique diversas cantidades y direcciones de perturbación directamente sobre la variable.
4. Mida los efectos actuales del disturbio.
5. Si los efectos son los que se supone pasarían, bajo la suposición de que la persona no está actuando para controlar la variable, deténgase aquí. De hecho la persona no actúa para controlarla, su presuposición fue equivocada.
6. Si el efecto actual fue marcadamente menor que el predecible, busque qué oposición al disturbio, por su propia variabilidad, pudo contrabalancear la variación en la cantidad de la entrada (input). Esto pudo ser causado por la salida (output) de la persona y podría encontrarse con una función de feedback.
7. Busque el medio por el que la persona pueda sentir la variable. Si no puede encontrarlo, haga un alto. La gente no puede controlar lo que no puede sentir.
8. Si encuentra el camino de la sensación (o sentido), interrúmpalo de manera que no pueda sentir mas la variable. Si aún se mantiene la oposición al disturbio, usted no encontró el sentido adecuado.
9. Si todos estos pasos fueron dados, usted habrá encontrado la cantidad del input, la variable que la persona está controlando.

Se pueden encontrar demostraciones en computadora de este método, proporcionadas por la "Demo 1" de Powers (programa en DOS) y "El Test de la Variable Controladora" de Marken (programa en Java), disponibles en www.uiuc.edu/ph/www/g-cziko/twd.

Lo que es de subrayar sobre el test para determinar la variable que es controlada con la conducta, es su falta de relación aparente (como en un coeficiente de correlación cercano al cero), entre la variable controlada y la conducta. Debemos identificar que esto nos refiere a una falta de relación sistemática en una dirección entre el estímulo y la respuesta. Aunque esto es justamente lo esperado al entender la característica de causalidad circular de ambos sistemas de control, vivos y artificiales, en donde la percepción y la conducta se influyen recíproca y simultáneamente uno a otro, para mantener alguna percepción cercana a la meta o estándar (nivel de referencia).

El empleo del test para analizar la conducta animada contrasta con todos los otros métodos de investigación en las ciencias de la conducta. Ya sean conductuales o cognitivos, los métodos tradicionales intentan establecer las causas (variables independientes) de diferentes aspectos de la conducta (variables dependientes). Este enfoque tiene dos serias debilidades.

1. No se enfoca en determinar las variables perceptuales controladas por el organismo comportante. A lo mas, podría descubrir disturbios que parecieran causar la conducta, pero al ignorar las variables preceptuales que el organismo controla, tal análisis resulta incompleto, en el mejor de los casos, y totalmente equivocado, en el peor de ellos.
2. No puede distinguir entre las metas de la conducta y sus efectos colaterales incidentales y carentes de intención.

EL "COMO" DE LA CONDUCTA.

Las extensas lecciones de Bernard, desarrolladas por Powers, nos proporcionan una clara respuesta no Newtoniana: podemos llegar a alcanzar nuestras metas, programando y logrando metas o requisitos intermedios. Además, cada uno de estos escalones deben rebasarse, a pesar de los disturbios que nos impone el ambiente y que debemos confrontar.

Es esta jerarquía de metas u objetivos y la estructura de niveles bajos, referidos a niveles altos de los sistemas de control, lo que nos proporciona una respuesta útil y exacta al "como" de la conducta.

Un modelo de trabajo útil de tal jerarquía de objetivos y sub-metas está en el trabajo de Maken (1990) "Spreadsheet Model of a Hierarchy of Control Systems" para computadoras compatibles con IMB o Macintosh y que está disponible en la dirección www.uiuc.edu/ph/www/g-cziko/twd.

Los psicólogos tradicionales causa-efecto tienen una respuesta muy diferente a las preguntas sobre el "como", bajo la creencia de que la conducta puede lograr lo que alcanza, mediante la generación de los productos (outputs) necesarios. El ejemplo de Pinker sobre el alcanzar un objeto con la mano nos ilustra este enfoque y requiere de cálculos excesivamente complejos de la conducta como una salida (output) basada en cinemática y dinámica inversas. Aunque tales cálculos no son necesarios y vienen a ser incapaces de producir comportamiento animado que resulte funcional, si consideramos los disturbios continuos e impredecibles del ambiente. Un robot industrial que levanta partes automotrices y las coloca en una caja repitiendo la misma secuencia de acciones fijas, una y otra vez, solo puede ser eficiente en un ambiente libre de disturbios. Pues fallaría si la cinta de donde toma las partes cambia su velocidad o cambia la distancia entre las partes que transporta o si se cambia la localización de la caja donde las deposita por unos pocos centímetros. En el caso de los organismos humanos, solo mediante la observación de nuestra mano y el objeto deseado, es que estamos en disposición de reducir la distancia a cero y obtener el objeto. Esta conducta se mantiene útil a pesar de los disturbios como la fatiga muscular, el tipo de ropa que usemos en el momento o algún intento por alterar el rumbo de la mano hacia el objeto. Las salidas (output) conductuales computarizadas sencillamente son incapaces de alcanzar tales metas en un mundo real sujeto a disturbios y solo resultan útiles en el ambiente altamente controlado de una planta de manufacturas o en una simulación computarizada.

La cuestión sobre el "como" de la conducta resulta también de importancia para el terreno del aprendizaje. ¿cómo es que podemos hacer algo hoy (como golpear una pelota de tenis o ejecutar una pieza musical), que no podíamos hacer ayer? Un enfoque tradicional considera este aprendizaje como la adquisición de respuestas nuevas, en tanto que el enfoque de Bernard lo considera como funciones perceptuales,

referenciales y/o motoras, propositivas, dirigidas a metas, propias de la evolución de un organismo.

EL "PORQUE" DE LA CONDUCTA.

El responder a las preguntas que cuestionan sobre el "como" del comportamiento animado nos conduce hacia abajo de la jerarquía de los sistemas de control, hasta los niveles inferiores. En tanto que las preguntas sobre el "porque" nos llevan hacia arriba de la jerarquía, hasta los niveles mas altos de los sistemas de control.

La respuesta a cada pregunta sucesiva sobre el "porque", especifica una meta de mas alto nivel, donde el objetivo o meta actual resulta necesariamente un sub-objetivo.

Por ejemplo, la última razón de porqué ingerimos alimentos ricos en carbohidratos, como el pan, es debido a que aquellos que lo hicieron en el pasado, fueron mas exitosos en sobrevivir y dejaron mas crías (incluidos nosotros), que sus contemporáneos, quienes no comieron estos alimentos.

Pero los alimentos particulares que ingerimos (así como la forma en que los preparamos y los acompañamos) varía ampliamente de una cultura a otra, dependiendo de que alimentos haya disponibles y de lo que hayamos aprendido de otros sobre su preparación y consumo.

¿Será que todos los comportamientos tengan una última razón evolutiva? Actualmente hay un fuerte debate sobre el tema. Los etólogos, sociobiólogos y psicólogos evolutivos, tienden a creer que estas explicaciones existen para todos los comportamientos y subrayan el éxito impresionante que ha tenido este enfoque, dándole sentido a la conducta animal. Otros científicos conductuales no están de acuerdo, en particular aquellos que enfatizan la importancia de los ambientes físico y cultural.

Pero si, como los psicólogos evolutivos estarían prontos a sostener, los factores ambientales en verdad juegan un papel importante influyendo al comportamiento humano, esto en sí mismo podría considerarse como un avance evolutivo que tiene orígenes evolutivos.

Estas respuestas surgidas del enfoque de Bernard y de Darwin, sobre el "porque" de la conducta, contrastan ampliamente con las que provienen de los científicos conductuales que se avocan a los enfoques conductista y

cognitivo. Skinner no se preocupó por el pasado evolutivo de los organismos cuya conducta estudiaba, creyendo, a costa de mucha evidencia en contra (ver Breland y Breland, 1961), que bajo las condiciones apropiadas (contingencias de reforzamiento), cualquier organismo podía aprender a ejecutar casi cualquier tipo de conducta, que fuera físicamente posible de hacer. Para él y otros conductistas, los organismos hacen lo que vemos, por la simple razón de que fueron reforzados por tales conductas en el pasado.

También, los científicos cognitivos, con menos énfasis en el reforzamiento y más en los procesos mentales, han mostrado tradicionalmente menos interés en adoptar una perspectiva evolutiva para contestar el "porque" de la conducta. Por supuesto, son una excepción, el pequeño grupo de psicólogos cognitivos que se consideran evolucionistas. Pero, aunque psicólogos evolutivos como Tooby y Cosmides han aprendido las lecciones básicas de Darwin, no han aceptado aún las implicaciones de Darwin y Bernard. Para ellos, la explicación última de la conducta se encuentra en el pasado evolutivo del organismo. Pero las explicaciones próximas aún se encasillan en términos de causas de entradas-preceptuales y salidas-conductuales, como los demás científicos cognitivos, en lugar de usar términos donde la salida conductual controla la entrada perceptual, lo que sería consistente con las lecciones de Bernard.

EL ENFOQUE CAUSA-EFECTO DE SKINNER.

Mediante la aplicación cuidadosa de las técnicas del condicionamiento operante, que involucra el establecimiento de contingencias de reforzamiento y/o castigo apropiadas, como lo describen Skinner y sus seguidores, se cree que una persona puede controlar la conducta de otra. De hecho, esta idea parece que se ha convertido en la política institucional en todas las sociedades, donde la clase en el poder proporciona recompensas en forma de dinero y otros beneficios, para motivar a los trabajadores, al tiempo que programa castigos en forma de prisiones y confinamiento o labores pesadas, para reformar a los criminales.

En forma general, se acepta como sentido común que esta política podría funcionar, pero tiene serios problemas. En su libro *Castigados por las Recompensas* (Punished by Rewards) Alfie Kohn (1993), describe muchas desilusiones con las que

se han topado aquellos que aplican los principios skinnerianos, en un amplio abanico de escenarios, incluyendo oficinas, hogares y escuelas. Luego de revisar cientos de estos estudios, Kohn concluye que los intentos por controlar a la gente recompensándolos por comportamientos deseables, no resulta efectivo por varias razones.

1. La calidad del trabajo desmerece cuando el énfasis se pone en los incentivos como dinero o puntajes.
2. El efecto del reforzamiento pocas veces se generaliza a otros escenarios.
3. Proporcionar reforzamiento por terminar una tarea, puede cambiar lo que en un inicio era una actividad placentera, interesante en sí misma, en algo desagradable.

Por su parte , el castigo, en un principio puede resultar efectivo en reducir la conducta indeseable, pero también produce resentimiento en el que lo recibe y lo lleva a encontrar formas para mantener su comportamiento, evitando el castigo o para desquitarse de quien se lo imparte. Décadas de investigación han mostrado consistentemente, que los niños sujetos al castigo físico se vuelven mas agresivos y violentos, que otros niños y son mas proclives de usar este castigo físico con sus propios hijos.

No es que el haber recibido recompensas y castigos en el pasado influya sobre la conducta, lo que influye es la anticipación de las recompensas y castigos *futuros*.

Las recompensas no controlan la conducta, es la conducta la que se usa para controlar las recompensas.

También hay que considerar que para poder reforzar la conducta se tiene primero que llevar a cabo una operación de privación, en la que se reduce el acceso de alguien a ciertos estímulos, con el objeto de que la aplicación de estos como consecuencias de la conducta, permitan su control. Este fenómeno respecto a ¿quién controla a quién?, fue reconocido por Skinner, llamándolo *contracontrol*. De hecho, cualquiera que intente usar las técnicas de Skinner sobre otro ser humano inteligente, se hace susceptible al *contracontrol*.

LA APROXIMACIÓN BIOLÓGICA DE BERNARD.

Si la recompensa y el castigo no sirven para resolver los problemas causados por la conducta del hombre ¿porqué es que quienes tienen el poder político, militar y económico persisten en su utilización? Una razón es que la promesa de una recompensa y la amenaza de un castigo pueden modificar la conducta de otro, al menos en lo que encuentra la manera de desafiar el sistema (escapando de la situación o empleando la violencia). Otra razón está en la suposición que sostiene el enfoque causa-efecto de un solo sentido, en el cual los reforzadores son la causa de las conductas deseables y los castigos eliminan las conductas indeseables.

En contraste, la aplicación de las lecciones de Bernard nos lleva a un enfoque muy diferente. Se distingue de la aproximación conductual causa-efecto, al menos en dos aspectos principales.

1. Como reconoció Bernard (y luego fue desarrollado por Powers), las percepciones no controlan la conducta.
2. Mas bien, los individuos varían su conducta como una necesidad, para controlar sus percepciones y así obtener las metas deseadas, evitando lo que no desean.

Un ejemplo de la aplicación de este enfoque se encuentra en el trabajo de Edward E. Ford y que se conoce como El Proceso de Pensamiento Responsable (The responsible thinking process), implementado por primera vez en la Clarendon Elementary Scholl de Phoenix, Arizona (1994-6). Para mayor información ver www.respthink.com

EL ENFOQUE BIOLÓGICO DE DARWIN.

No es fácil encontrar aplicaciones a la educación de las lecciones básicas de Darwin. No parece popular para nuestros educadores la noción de que nuestro pasado evolutivo juegue algún rol en el moldeamiento de la mente humana e influya en nuestras habilidades, emociones, metas, deseos y temores. Aunque se han hecho algunos intentos, como el trabajo de Gary Bernhard resumido en su libro "Primates in the Classroom" de 1988, donde nos indica que:

1. El aprendizaje por descubrimiento en un contexto social democrático es una característica de nuestra especie.
2. Una perspectiva evolutiva también deja claro que para que los niños aprendan de manera natural, necesitan diversos modelos de la conducta de adultos consistentes.
3. Una forma de ver evolutivamente la educación se basa en la necesidad de todos los humanos de pertenecer a un grupo y de ser reconocidos como individuos por parte de los otros miembros del grupo.

Otra excepción importante está en Henry Perkinson, un filósofo e historiador de la educación. El observa importantes conexiones entre las lecciones de Darwin, la filosofía de Karl Popper y los principales desarrollos de la teoría y la práctica educativa, en particular los que parten del trabajo de Piaget, Skinner, Maria Montessori, A. S. Nelly y Carl Rogers. El enfoque que se desprende de estos cinco influyentes individuos tiene sus diferencias entre ellos, pero lo que mantiene en común es el rechazo a la noción tradicional causa-efecto, donde la educación se ve como la transmisión del conocimiento del maestro al estudiante y el apuntar a una educación donde el proceso de cambio involucre modificaciones continuas del conocimiento previo, con eliminaciones de ensayo y error.

PLOTKINISMO UNIVERSAL:
Una revisión de "LAS MAQUINAS DE DARWIN
Y LA NATURALEZA DEL CONOCIMIENTO",
de Henry Plotkin

C. D. L. Wynne
JEAB, 2001, 76, 351-361

1. Se trata de una creencia completamente humana el pensar que el conocimiento es algo único de nuestra especie y que solo se localiza dentro de nuestras cabezas. Pero el conocimiento es una característica común a todo lo vivo. Existe en todas las adaptaciones, de todas las criaturas vivas (Plotkin, 1993, p.229).
2. En 1993, con la publicación de *Las Máquinas de Darwin y la Naturaleza del Conocimiento*, Plotkin pasó de ser un psicólogo filosófico evolutivo conocido por unos pocos, a ser una figura pública en la discusión progresiva sobre el papel de la conducta en la evolución y la relación entre la psicología humana y la animal.
3. Plotkin no es amigo de los analistas de la conducta. Su libro tiene una libre proliferación de términos mentalistas . . . aún así, hay mucho ahí para comprender problemas que a los analistas de la conducta les han preocupado por décadas ¿de dónde viene la conducta y cuál es su papel en la evolución? ¿porqué aprenden los animales? ¿qué relación hay entre evolución y cultura? Estas son algunas de las cuestiones con las que Plotkin trata (y alcanza un progreso significativo) en este libro tan bien escrito.
4. **LA TESIS DE PLOTKIN.**- Esta puede resumirse en 3 proposiciones: (a) La evolución puede caracterizarse como un proceso que es independiente de las estructuras y los mecanismos en los que ocurre, (b) Este proceso es de tipo epistemológico, es decir, de acumulación de conocimientos, y (c) La mas vieja y básica forma del proceso evolutivo ocurre en los genes y los fenotipos. Esta "heurística primaria" se expande a otros sistemas (en el aprendizaje individual particular, en la respuesta inmune y en la transmisión cultural del conocimiento), que funcionan de acuerdo al mismo proceso

- que los rige y conduce hacia la acumulación de conocimientos y la adaptación.
5. Para Plotkin pareciera que la especificación precisa de este mecanismo no resultara centralmente importante. El reconoce que hay diferentes caminos para expresar la concepción evolutiva de Darwin. Por ejemplo, se le puede ver como la implicación de tres principios: (a) Existe una variación fenotípica (los individuos difieren en estructura y función), (b) Estas variantes muestran diferentes ajustes (los diferentes fenotipos tienen diferentes tasas de sobrevivencia y reproducción), y (c) la capacidad de ajuste es heredable (los intentos que contribuyen al ajuste de los padres se transmiten a los hijos).
 6. Esto también puede expresarse (como lo hace Lewontin, 1970), como un linaje replicador - interactuante. Están los replicadores y está la interacción con el ambiente y también está la descendencia de los replicadores.
 7. También podría resumirse sencillamente como "variación ciega y retención selectiva" (Campbell, 1974).
 8. Incluso, otra alternativa sería considerarla como una heurística g-p-r (un sistema que se genera, se prueba y se regenera). Para Plotkin son todas estas alternativas, expresiones del mismo principio.
 9. Nos dice este autor que "el conocimiento humano es solo una parte de un conocimiento biológico mas amplio. Cuando venimos sabiendo algo, hemos ejecutado un acto que es tan biológico como cuando digerimos algo" (p.XVI). "La conducta es un tipo particular de conocimiento, aún cuando ese comportamiento no contenga un elemento necesario de pensamiento, reflexión o memoria" (p.120).
 10. Los programas de aprendizaje individual (la heurística secundaria) son una consecuencia de (dirigidos y controlados por) la heurística primaria.
 11. A su vez, la heurística secundaria o el aprendizaje por organismos individuales durante su tiempo de vida, pueden dar origen al conocimiento cultural mediante el intercambio de experiencias. Esta es la heurística terciaria.
 12. **¿ES EL APRENDIZAJE SIEMPRE Y SOLO UN PROCESO SELECTIVO?**
.- Plotkin nos da tres razones para sustentar que es así: (1) Uno debe adoptar alguna posición, así que ,

- ¿por que no inclinarse a una posición seleccionista?,
(2) La creatividad demanda la existencia de un proceso selectivo, su alternativa, que el autor denomina *proceso instruccional*, no puede llevarnos a la creatividad, y
(3) La tercera razón es una de parsimonia y simplicidad, si el proceso selectivo funciona en la heurística primaria, si la cultura funciona con un proceso selectivo y si el sistema inmune trabaja con un proceso selectivo, ¿porqué trabajaría la inteligencia con un proceso diferente?
13. Un modelo basado en estas ideas es el del algoritmo genético (Holland, 1992; Koza, 1992, 1998) donde se utiliza una computadora para simular los genes y los fenotipos y encontrar soluciones a los problemas de adaptación de los organismos (inteligencia artificial).
 14. Otra forma de inteligencia artificial con información desde los procesos biológicos es el enfoque de la red neuronal (Rummelhart et al, 1986), en donde se programa a la computadora para simular el funcionamiento de un grupo de elementos parecidos a las neuronas.
 15. Incluso en estos modelos está la variación y la selección de las que nos habla Plotkin.
 16. La naturaleza selectiva del condicionamiento operante ha sido reconocida anteriormente, así lo ha hecho Skinner (1981) y Staddon (1979, 1983) y algunos otros. Plotkin también opina respecto al aprendizaje instrumental. La analogía con la evolución parece obvia. Un individuo confrontando un problema genera un grupo de variantes de respuesta, estas son evaluadas ante el problema y la más exitosa ofrece la plataforma para un nuevo grupo de variantes de respuesta. Conforme avanza el condicionamiento, generalmente se reduce la variabilidad de la conducta hasta que la solución conductual más eficiente (entre un grupo pequeño), permanece. Las semejanzas entre el moldeamiento y la evolución biológica o heurística primaria de Plotkin es evidente.
 17. ¿Y que sucede con el condicionamiento pavloviano? ¿se puede identificar ahí la variación y la selección? En este caso Plotkin argumenta que debemos de buscar escondida la generación interna de variantes y su selección. El toma el ejemplo de un bebé que empieza a asociar la cara de su mamá con su olor específico y nos

dice que el cerebro del bebé puede generar múltiples representaciones donde se conjugan aspectos de la mamá y del mundo externo y de estas variantes se hacen pruebas preceptuales con la apariencia de la mamá en varias ocasiones, seleccionando sucesivamente las mejores hasta quedarse con la que resulta mas efectiva (p.167). Es posible que así funcione el condicionamiento pavloviano, pero no hay estudios experimentales que demuestren con datos que así ocurre.

18. **LA CONDUCTA** .- Para considerar algo como "conducta" en los términos de Plotkin, una actividad debe de "ser dirigida hacia un cambio efectivo del ambiente del organismo" (p.105). Plotkin apela a Piaget para sustentar esta definición operacional de la conducta. Pero se pueden apreciar también reminiscencias de Rachlin (1994) y su conductismo teleológico que demanda que la conducta sea vista en términos de sus últimas consecuencias adaptativas.
19. **EVOLUCION DE LA CAPACIDAD PARA EL APRENDIZAJE INDIVIDUAL** .- La conducta instintiva está gobernada por la heurística primaria de la evolución biológica. Las variaciones en esta conducta provienen de las variaciones en los fenotipos causadas diferencias en los genes (Dawkins, 1986). Pero en ocasiones (de acuerdo con Plotkin, se pueden encontrar ejemplos en 5 de 25 filias de animales), este proceso no es capaz de ubicar cambios en el ambiente debido a su velocidad e incertidumbre. En tales casos "los animales desarrollan dispositivos para obtener conocimiento adicional, cuyos correlatos internos igualan las características del mundo a las que denominamos "con estabilidad a corto plazo". Estos mecanismos de detección son producto del proceso evolutivo de la heurística primaria y por ello funcionan con ciertos límites. Pero el valor exacto de tales límites y su duración, no están determinados por los genes, por lo que esta clase de dispositivos poseen un cierto grado de autonomía en su funcionamiento, que los hace parcialmente independientes tanto de los genes como del desarrollo" (p.149).
20. **MEMES Y CULTURA**.- El aprendizaje individual, donde el conocimiento reside en el cerebro del aprendiz, no es el único ejemplo de obtención de conocimientos que trasciende a los genes. En los humanos y otras pocas

especies, es posible el intercambio de conocimiento entre los individuos en forma de cultura. Plotkin es enfático afirmando que la cultura, como el aprendizaje individual, es producto de la evolución primaria y, por ello, debe funcionar "con ciertos límites" (p.149), aún si estas prácticas culturales "tienen un cierto grado de autonomía en su funcionamiento que las hace prácticamente independientes tanto de los genes como del desarrollo".

21. El principal problema para proponer un enfoque evolutivo de la cultura consiste en identificar las unidades de replicación y selección natural. Plotkin se apega a Dawkins (1976) en la noción de *meme*. Huxley también reconoce la necesidad de contar con una unidad de estados de conciencia si queremos aplicar un análisis Darwiniano al pensamiento y denomina a tales unidades como "moléculas ideogestantes" (1874/1893, p. 239).
22. Plotkin alega que tales memes pueden variar y son seleccionadas.
23. No obstante, necesitamos algunas evidencias que nos convenzan que en realidad existen las unidades de pensamiento y cultura, que varían y son seleccionadas naturalmente y que contamos con una descripción adecuada del total de las operaciones del cerebro.

LA FUNCION, LOS MECANISMOS Y LA EVOLUCION DEL APRENDIZAJE Y
LA CONDUCTA: Una revisión de "COGNICION, EVOLUCION Y
CONDUCTA",

de Sara J. Shettleworth.

Michael D. Zeiler

JEAB, 2002, 78, 225-235

1. Este libro es un intento serio de observar a la conducta, tanto en términos de sus causas, como de sus ganancias para el animal viviente. Esta combinación de propósitos es esencial para poner a la conducta y el aprendizaje animal en un contexto biológico genuino. También conforma un ejemplo sobresaliente de lo que debería ser un enfoque evolutivo en la psicología.
2. Para Shettleworth el término cognición se refiere a "los mecanismos mediante los cuales los animales adquieren, procesan y actúan con la información que obtienen del ambiente" (p.5). Estos mecanismos son producto de la evolución. Ella dice de aquellos que equiparan la cognición con los estados de alerta, los eventos privados, las intenciones, etc. Su enfoque cognitivo es conductual, aunque no excluye a la conciencia. De la misma forma que B. F. Skinner, Shettleworth cree que los estados subjetivos de carácter privado son reales aunque no son necesarios para entender el comportamiento adaptativo.
3. **EXPLICACIÓN BIOLÓGICA: LOS CUATRO ¿POR QUÉ?** .- El principio de este libro es una lectura que requiere cualquiera que esté interesado en el comportamiento. Una razón para ello, es que contiene, lo que podría ser la mejor forma de esclarecer los cuatro ¿por qué? planteados por Tinbergen, respecto a la conducta. En su documento clásico de 1963, Tinbergen describe lo que significa para un biólogo el comprender totalmente ¿por qué la conducta es como aparece?. La explicación completa de cualquier actividad biológica tiene cuatro componentes y todos ellos no se comparten con las explicaciones de las ciencias físicas. El enfoque de Tinbergen sobre la explicación biológica solo corresponde en parte, con uno delineado por Newton para la física.
4. Uno de los ¿por qué? de la conducta se refiere a la explicación de qué es lo que dispara al comportamiento.

- ¿qué fenómenos o procesos, ambientales o fisiológicos, producen o controlan la conducta?
5. Otro ¿por qué? se refiere al desarrollo, entendiendo por desarrollo algo así como la historia. ¿qué experiencias previas y mecanismos genéticos son responsables del comportamiento actual de un organismo?
 6. El tercer ¿por qué? cuestiona cuáles son las ganancias que su comportamiento proporciona al animal. Tinbergen (1963) expresaba esta preocupación como el valor que para la supervivencia tiene la conducta. Shettleworth lo considera mas ampliamente como la función de la conducta, entendiendo por función el significado adaptativo para el animal individual.
 7. El cuarto ¿por qué? se refiere a cómo es que algunos comportamientos en particular evolucionan dentro y entre las especies.
 8. Las cuatro interrogantes sobre la conducta se refieren a sus causas, su desarrollo, su función y su evolución.
 9. Entonces, una completa y verdadera explicación biológica demanda atención a las causas antecedentes de los patrones de conducta, sus efectos consecuentes para el bienestar del animal y sus efectos a largo plazo en las especies.
 10. Los psicólogos que han estudiado el aprendizaje animal han enfatizado su causalidad, mientras que los etólogos se han preocupado mas por su función y su evolución. Dicho de otra manera, los psicólogos cuestionan los eventos históricos inmediatos y precedentes responsables de la conducta (explicaciones proximales), mientras los etólogos preguntan por sus efectos futuros en el individuo y en las especies (explicaciones últimas inmediatas y a largo plazo). La razón por la cual los psicólogos han tendido a ignorar la función y la evolución es atribuible al uso de la física de Newton como modelo para una ciencia apropiada. Este enfoque dominaba al momento en que la psicología emergió de la filosofía como una disciplina independiente. Desde esa perspectiva, una buena ciencia se concentra en los antecedentes inmediatos que producen un fenómeno.
 11. Para la biología, un fenómeno, ya sea anatómico, fisiológico o conductual, es interesante solo debido a su papel para mantener la vida. Así, una perspectiva biológica significa no solo el entendimiento de los

factores que producen una conducta, sino también el conocer como la conducta afecta el bienestar del animal. Y eso no es todo. La teoría evolutiva de Darwin cuestiona por qué las leyes causales son como son. Enfatiza la importancia de saber como evolucionan los procesos y las leyes causales relacionadas con el desarrollo, el mantenimiento o la extinción de las especies.

12. ¿Será que los conflictos teóricos entre explicaciones de la conducta a nivel molecular vs. molar, no sean mas que el resultado de no distinguir entre mirar atrás en el tiempo, para describir eventos inmediatos que producen la conducta y mirar hacia delante, para describir los logros de la conducta?
13. Los psicólogos estudian la conducta para analizar procesos que suponen son de naturaleza general intra y entre especies, mientras que los biólogos se interesan en los patrones de conducta, por sí mismos. El enfoque de procesos generales encaja muy bien con las ciencias físicas y tiene su principal cuartel en Norte América, donde el énfasis principal se da en el aprendizaje animal. El enfoque biológico, por el otro lado, se desarrolla principalmente en Europa y se preocupa por el comportamiento de alguna especie en particular, viviendo en su ambiente natural. Los psicólogos experimentales estudian los animales en el laboratorio, en un esfuerzo por descubrir procesos de aprendizaje básicos y generales. Los etólogos estudian animales silvestres como un intento de entender alguna forma especializada de conducta como el forrajeo, anidar o invernar.
14. El concepto de evolución irrumpe en el panorama de los psicólogos al suponer estos que los procesos que analizan son universales y se generalizan entre las especies, independientemente de las respuestas particulares de que se trate y de los estímulos que se escojan para estudiar, de la misma forma como la ley de la gravedad es independiente del tipo de objetos que caen en el espacio.
15. El problema radica en que los procedimientos experimentales estándar no pueden ser usados para estudiar la evolución de ninguna especie y los datos históricos necesarios no están disponibles para documentar la evolución de ningún patrón de conducta. La

supuesta variable independiente no puede ser manipulada, el tiempo generacional es demasiado largo (excepto para las bacterias o los virus, que se reproducen con alarmante velocidad, pero que no son capaces de mostrar muchos comportamientos interesantes) y la conducta no deja fósiles.

16. Una estrategia es el desarrollo de ecuaciones (modelos matemáticos) que describan la conducta que ocurriría si una función evolutivamente importante (ejemplo: la conservación de la energía), pudiera ser lograda a la perfección. Esto, entonces, se compararía con la conducta observada en la realidad. Si la correspondencia entre la predicción y la realidad es perfecta, se apoyaría la idea de que la conducta evolucionó para servir a esta función. Desafortunadamente, con los datos que se cuenta, la correspondencia ha sido substancialmente inexacta (Kitcher, 1985).
17. La forma mas poderosa de evaluar las explicaciones evolutivas es el método comparativo. La belleza de este recurso radica en que está basado en comparaciones rigurosas entre diferentes especies. La idea está en relacionar el grado en que los animales que hacen y no hacen algo, comparten una presión conductual común. Por ejemplo, las gaviotas que no tienen la presión de los predadores, por vivir en los acantilados, no retiran los cascarones de los huevos rotos del área de sus nidos. Shettleworth nos explica con detalle como la vulnerabilidad a los predadores, la disposición de comida de alta calidad en la temporada de crianza, el tamaño corporal y otras características físicas y ambientales, contribuyen a la presencia o evolución de patrones semejantes de organización social en pájaros y primates.
18. **PSICOLOGÍA EVOLUCIONISTA** .- Sería fácil llegar a la conclusión de que este libro promueve la psicología evolucionista. La psicología evolucionista pretende ofrecer un marco teórico basado en la evolución que resulte coherente para entender la totalidad de los fenómenos psicológicos. Shettleworth simpatiza con ella, pero le preocupa de esta su falta de rigor científico.
19. La psicología evolucionista es otro nombre que recibe la sociobiología (Konner, 2002). Esto significa que la evolución es vista casi exclusivamente en términos de la

selección natural de Darwin. A esto se le conoce como *adaptacionismo*, entre los estudiosos de la evolución. Ninguno de estos estudiosos pone en duda que la selección natural es importante y resulta mas razonable aún, considerarla como uno entre varios procesos responsables de la evolución (hay que ver a Ridley, 1997).

20. De particular importancia es preguntarse qué es lo que produce las variaciones sobre las que trabaja la selección natural. Para los adaptacionistas a ultranza, la selección natural acumulada no solo escoge entre las variantes, sino que también es responsable por la generación de muchas de ellas. Ocurren los cambios debido a que la selección afecta la distribución de las características fenotípicas favoreciendo los extremos (selección direccional), en tanto que ocurre la estabilidad debido a que la selección favorece a la distribución existente (selección estabilizadora). Sin embargo, la selección direccional no es el único escenario posible para el cambio. Hay otros procesos que pueden producir variaciones (mutaciones, cambios genéticos, cambios ambientales, etc.) y la selección natural puede servir fundamentalmente para exhibir los cambios, que para producirlos en primer término.
21. Para los adaptacionistas, la selección natural direccional, ejerciendo sobre varias generaciones, inevitablemente debe resultar en patrones de conducta que maximicen perfectamente sus logros adaptativos. No obstante, si las variaciones provienen de otras fuentes, la selección natural solo garantiza que una característica resulta buena, cuando alcanza un nivel mínimo de éxito reproductivo. Los patrones de conducta existentes no necesitan ser óptimos, solo deben ser suficientemente buenos.
22. Estos enfoques opuestos vienen a plantear importantes diferencias al aplicar los conceptos evolutivos a la conducta. Desde la perspectiva adaptacionista de la psicología evolucionista, no pueden ser ciertas las teorías de la conducta que suponen procesos generales. No puede ser que las mismas estrategias de aprendizaje funcionen en todas las situaciones, pues no proporcionan la mejor solución posible a cada reto que enfrenta el animal. Por ejemplo, la forma en que los animales

aprenden acerca de la comida posiblemente no es igual a la forma en que aprenden acerca del peligro, debido a que estrategias de aprendizaje diferentes serían mas efectivas en los dos casos. Mas aún, el aprendizaje acerca de un tipo de comida no sería igual respecto a otro tipo de alimento, si estrategias diferentes funcionan mejor para cada uno. También, el proceso no sería igual para todas las especies, porque cada una tiene su propia ecología. La forma en que un alimentador generalista como la rata, aprende acerca de las fuentes de alimentación no es posible que sea igual a la forma en que lo haría un alimentador mas especializado. Para los adaptacionistas a ultranza, los procesos conductuales deben tener un dominio específico y no general.

23. **ESPECIFICIDAD DE DOMINIO Y GENERALIDAD:** LA TEORIA DE LOS SISTEMAS DE CONDUCTA Y LA PERTENENCIA .- Timberlake (1983) modernizó a la teoría de los sistemas de conducta. Los fundamentos de esta teoría están en considerar que los animales que confrontan situaciones novedosas hacen surgir de ellos tendencias pre existentes, como productos de la evolución para lidiar de cierta forma con los fenómenos. No todas las especies hacen lo mismo cuando encuentran señales de alimento y también muestran respuestas características cuando confrontan señales de peligro o cuando resuelven cualquier problema que surge en sus vidas. Generalmente no son iguales las señales y las respuestas ante la comida, el peligro, el cortejo u otros eventos cruciales. Shettleworth utiliza el término *pertenencia*, para referirse al tipo de respuestas que despliegan los miembros de una especie ante eventos sobresalientes en la naturaleza y los estímulos que generalmente les preceden. Los animales pueden aprender acerca de otras señales y pueden ser enseñados a desarrollar diferentes tipos de comportamientos, pero su preparación biológica tiene importantes efectos en que tan dispuestos estén para aprender.
24. **ESPECIFICIDAD DE DOMINIO:** UNA NUEVA MIRADA A LOS PROCESOS DEL APRENDIZAJE .- La hipótesis subyacente es que los procesos de aprendizaje pueden ser iguales para cada tipo de aprendizaje. Para Shettleworth, la especificidad de dominio se refiere a formas

- específicas de aprendizaje diferenciadas por las funciones a las que sirven. No obstante, dentro de cada dominio funcionalmente definido, la hipótesis subyacente es que el aprendizaje sigue las mismas leyes causales.
25. Analizando el aprendizaje, Shettleworth propone que el aprendizaje asociativo (condicionamiento pavloviano) evolucionó para servir la función de aprender acerca de las relaciones causales entre los estímulos, necesidad que comparten muchas de las especies. Sin embargo, este aprendizaje no es igualmente efectivo con todos los estímulos, debido a que su efectividad depende de la *pertenencia* de los fenómenos involucrados.
26. En varios capítulos del libro se sigue un estilo similar, dedicándose a las diferentes funciones a las que sirve el aprendizaje, como la necesidad de aprender de los eventos simples, la necesidad de distinguir entre diferentes estímulos, la importancia de conservar la información, la necesidad universal de orientarse en el espacio, de temporalizar y contar los eventos, de buscar y encontrar alimentos y de aprender de los otros. Cada uno de los problemas de aprendizaje tratados pueden involucrar sus propios principios (especificidad de dominio), pero cada tipo puede seguir reglas generales (generalidad entre dominios). La especificidad de dominio se aplica para los procesos de aprendizaje y no para los contenidos de este.
27. **UNA TEORIA DE PROCESOS GENERALES PARA EL APRENDIZAJE ACERCA DE EVENTOS SIMPLES** .- Los animales necesitan saber acerca de los eventos simples (individuales). Shettleworth se refiere a esto como *aprendizaje simple de reconocimiento*, debido a que el estímulo no tiene una relación evidente con otros fenómenos. Por primera vez alguien agrupa la habituación, el aprendizaje perceptual, la impronta y el reconocimiento familiar, como instancias del mismo tipo de aprendizaje.
28. La habituación tiene una enorme generalidad entre las especies, se ha visto en todos los niveles de la escala filogenética, incluyendo organismos unicelulares. La exposición continua al mismo estímulo produce cambios en la forma de responder a ella. La función de la habituación parece ser la de aprender a ignorar los fenómenos que no tienen consecuencias.

29. El aprendizaje perceptual se refiere a aprender las características de estímulos individuales y no a sus relaciones con otros eventos.
30. La impronta demanda una gran atención, aunque desde el punto de vista de Shettleworth, este comportamiento no está más programado genéticamente que cualquier otra clase de aprendizaje. La autora distingue entre una *impronta filial* (pájaros jóvenes relacionados con sus madres u otros estímulos a los que se han expuesto en su temprana existencia) y una *impronta sexual* (en relación a las opciones de elegir pareja basado en esas experiencias tempranas).
31. Como si la integración de la habituación, el aprendizaje perceptivo y la impronta en un mismo tipo de aprendizaje no fuera suficiente, Shettleworth incluye en su análisis el fenómeno que alguna vez represento el mayor reto para la explicación evolutiva de la conducta. Este problema es el que se refiere a los animales que algunas veces hacen cosas que ayudan a la adaptación de otros y producen incluso daño a ellos mismos. La solución de este problema nos conduce a un cambio fundamental de nuestro concepto de adaptación. Hamilton (1963) reconoció que el ayudar a otros a reproducirse, de hecho trae un beneficio evolutivo para el animal altruista, si el acto de sacrificio es en favor de familiares. El concepto de *adaptación inclusiva* nos dice que el éxito reproductivo debe medirse o evaluarse, en términos de la sobrevivencia de los genes, independientemente de que provengan de un individuo o de aquellos que comparten los mismos genes. La adaptación inclusiva explica no solo el ayudar a otros sino también la evolución de castas de trabajadores estériles en los insectos.
32. Entonces, todas las formas de altruismo comparten la propiedad de que solo ocurre debido a que promueve la sobrevivencia de los genes altruistas.
33. Finalmente, se trata de un libro que resulta una lectura obligatoria para todos los que quieran estudiar y entender el la conducta y el comportamiento de los animales.

LA EVOLUCION, LOS PRINCIPIOS DE LA CONDUCTA Y LOS SISTEMAS DE DESARROLLO: Una revisión de "LA SÍNTESIS NATURALEZA-CRIANZA: Desarrollos prenatales de la conducta instintiva", de Gottlieb.

Susan M. Schneider
JEAB, 2003, 79, 137-152

1. Hace casi un siglo Zing-Yang Kuo se unió a John B. Watson en un reto contra las ideas prevalecientes acerca del instinto. Watson era un investigador tanto de los "instintos" como del aprendizaje y proponía que el ambiente jugaba un papel muy importante sobre la conducta. Kuo, a su vez, mostraba que aquello que se pensaba que estaba genéticamente determinado (los instintos), dependía de factores ambientales. Por ejemplo, los gatos que crecen junto con ratas no las atacan (a ellas, ni a otras ratas adultas) (Kuo,1930).
2. Los genes no producen de manera simple el desarrollo al desenvolverse de una manera fija, teniendo al ambiente como soporte y en un papel estrictamente subsidiario ("epigénesis predeterminada", Gottlieb, 1997). En lugar de ello, se dan influencias bidireccionales en todos los niveles y el ambiente determina el fenotipo en asociación completamente interactiva con los genes, proceso al que Gottlieb denominó "epigénesis probabilística" (1970, 1997, 1998).
3. Estas ideas de Watson y Kuo han sido vistas como radicales e ignoradas o difamadas por muchos. Pero Kuo, como Watson, vivieron lo suficiente para poder observar que sus pensamientos eran celebrados por otros, quienes serían sus sucesores. Así, en un traslado directo de la antorcha, en los 1960's Kuo entrenó a Gottlieb en las técnicas de la embriología conductual de los pájaros. Luego Gottlieb pudo ayudar a terminar con la dicotomía naturaleza vs. crianza, con su impresionante programa de investigación sobre la maleabilidad de la impronta auditiva de los patos. El mostró que las diferencias en las conductas típicas de especie debían ser debidas a la influencia del ambiente durante el desarrollo, así como de las diferencias en sus dotaciones genéticas, lo que condujo a que expresiones tales como "genéticamente

- determinado", fueran tomadas al menos como malas interpretaciones de la realidad.
4. Se trata de una "síntesis moderna" de la biología y la psicología como ciencias del desarrollo y la evolución, consistente con la vieja teoría de Darwin y la genética de Mendel, pero con un panorama mas amplio.
 5. Para alcanzar esta meta Gottlieb se desplaza entre temas de la biología del desarrollo y la psicobiología, incluyendo aspectos como la movilidad espontánea, la embriología experimental, la genética, la complejidad ambiental temprana, el desarrollo perceptual, el aprendizaje de melodías en pájaros cantores y, en un plano mas amplio, la biología general evolutiva y la teoría de sistemas. El mayor énfasis lo hace sobre el tema etológico clásico de la impronta.
 6. Otros temas interesantes sugeridos por la revisión de Gottlieb incluyen las implicaciones del enfoque y categorización de operantes y respondientes. Mientras los investigadores del aprendizaje han llegado con éxito a plantear muchos principios conductuales, el conocimiento de cómo es que estos se relacionan con los principios del desarrollo y la evolución, aún se encuentra en su infancia.
 7. **LA INVESTIGACIÓN DE GOTTLIEB SOBRE LA IMPRONTA:**
(a) El Método .- Las conductas típicas de las especies frecuentemente se les ha llamado "instintos", "conductas disparadas", "patrones fijos de acción" y "comportamiento específico de especie". La evidencia de aprendizaje en su producción es nulo o muy reducido, mas bien, la presentación de la estimulación apropiada durante un "periodo sensible", en el estado apropiado de desarrollo del animal, produce la presencia de la conducta.
 8. Para determinar el origen de la conducta típica de especie, como la impronta, se hecha mano de los experimentos de aislamiento o privación, en donde no se les da a los sujetos la oportunidad de aprender las habilidades componentes de la investigación. Por ejemplo, para la construcción de nidos, se evita que los pájaros jóvenes observen algún nido o los materiales para construirlo, hasta que alcanzan la edad de reproducirse. Si los pájaros son capaces, entonces, de

- construir un nido con éxito, la construcción de nidos no dependerá de las fuentes de la experiencia.
9. Sin embargo, la manipulación de la comida y de otros objetos podría ser esencial. Es difícil hacer a un lado completamente tales contribuciones ambientales evidentes. Por ejemplo, los monos que fueron alimentados con insectos vivos desarrollaron temor a las serpientes. Sin los insectos vivos, el miedo no ocurría (Masataka, 1994).
 10. (b) Contribuciones Esenciales del Ambiente .- El trabajo ganador del premio Nobel, de Konrad Lorenz, con patitos sugería que la visión era la modalidad sensorial clave: los patitos normalmente seguían a sus madres durante el periodo sensible, pero en su ausencia seguirían otros objetos, incluyendo al mismo Lorenz. Una vez improntado, se pensó que el estímulo ya no se podía cambiar y que era efectivo por un largo periodo de tiempo, aunque trabajos posteriores han mostrado una maleabilidad substancial (Bolhuis, 1991; Michel y Moore, 1995).
 11. El programa de Gottlieb también nos revela resultados inesperados, en un campo cercano, donde la impronta auditiva ocurre con anterioridad y puede ser precedente de la impronta visual (Bolhuis y van Kampen, 1992). Luego de determinar los aspectos del llamado materno del pato del bosque, que resultan críticos, Gottlieb muestra que las experiencias previas al escuchar vocalizaciones de alarma resulta esencial para el desarrollo de la preferencia por la llamada materna típica de especie.
 12. (c) Maleabilidad .- Se demuestra la maleabilidad cuando la preferencia normal por el llamado materno cambia. Un caso sobresaliente es el de los patos del bosque. La estimulación temprana con llamados de peligro, normalmente es necesaria y suficiente para el desarrollo de una respuesta de llamado materno apropiada. Sin embargo, cuando la llamada de peligro se presenta acompañada de un estímulo alternativo perinatalmente, ocurre la impronta ante el estímulo alternativo.
 13. (d) Comentario .- Se necesitan diseños de grupo en esta clase de investigaciones, pero Gottlieb solo miró datos individuales en algunos casos. No todos los pájaros fueron evaluados mediante seguimientos, aunque se trate de una consideración metodológica menor.

14. **LAS DIVERSAS FUNCIONES DEL AMBIENTE** .- Gottlieb menciona tres categorías de influencias ambientales sobre el desarrollo de las conductas típicas de especie: *inducción* (canalización y maleabilidad), *facilitación* y *mantenimiento*. (Desafortunadamente, estos términos no siempre se han usado consistentemente). Las dos formas de inducción caracterizan un cambio que de otra manera no ocurriría. La *canalización* reduce la amplitud de la capacidad de respuesta ante los estímulos, limitando a los posibles estímulos disparadores a aquellos que compartan cierta clase de características. La *maleabilidad* es una forma de inducción opuesta, que expande las características que serían efectivas.
15. La *facilitación* acelera el cambio inductivo, pero no es esencial para el cambio, y sin el *mantenimiento*, la relación conductual establecida decae. Algunas veces es difícil distinguir entre estos procesos (Michel y Moore, 1995) y Gottlieb tampoco nos aclara como es que estas formas de efectos ambientales se relacionan con el condicionamiento clásico y operante.
16. Es importante también el contexto ecológico. Por ejemplo, los machos jóvenes de gorriones con corona blanca deben oír la melodía de los adultos para desarrollar el patrón normal de canción (Snowdon y Hausberg, 1997). Pero cuando se presentan simultáneamente las canciones de diversas aves cantoras, la maleabilidad, como la demostrada por Gottlieb para la impronta, puede fácilmente conducir al aprendizaje de la canción equivocada (Grant y Grant, 1997). En tales contextos, se necesita una fuerte *canalización*, pues las canciones que distan mucho del patrón normal, no serían reconocidas por las hembras o los rivales.
17. **EL ROMPE CABEZAS DE LAS CATEGORÍAS CONDUCTUALES** .- Un esquema de clasificación tripartita bastante común separa la conducta típica de especie, las cadenas de reacción y los tropismos, de los reflejos, la habituación, la sensibilización y el condicionamiento clásico, así como del aprendizaje operante en todas sus formas. Pero las interacciones y relaciones entre estos fenómenos y procesos, han sido evidentes por largo tiempo y se han convertido en la mayor fuente de especulaciones. Aún en el terreno del aprendizaje asociativo, es quizá la conclusión mas frecuente la que

- nos lleva a pensar que los procedimientos operantes y pavlovianos son diferentes, pero que las operantes generalmente implican la presencia de las respondientes.
18. (a) Las Consecuencias .- La exposición inicial a estímulos disparadores típicos de especie, puede ser una operación de establecimiento operante (Catania, 1998). Aún mas, algunos estímulos disparadores, igual que algunos estímulos provocadores, funcionan como reforzadores. También, algunos de los estímulos que controlan los tropismos, frecuentes en animales "simples", pueden ser también reforzadores.
 19. En el aprendizaje de canciones, típico de especie en algunos pájaros cantores, la canción modelo puede ser un reforzador. En algunas especies, los individuos deben oír sus propias canciones, luego del periodo sensitivo de exposición a modelos y hacer los ajustes necesarios. ¿Será que en el periodo sensible de exposición, se establezca alguna canción como reforzador (canalización/discriminación), de manera que los intentos del ave para igualar la canción se mantienen de forma selectiva? Las igualaciones mas próximas o parecidas podrían, entonces, ser reforzadas (Staddon, 1988).
 20. Un estímulo improntado puede exitosamente reforzar una variedad de conductas operantes que lo producen, además de la función de seguir simplemente el desplazamiento del estímulo (Bateson y Reese, 1968; Peterson, 1960).
 21. (b) Los Antecedentes .- Las reglas acerca de las funciones de los estímulos antecedentes también ofrecen sus propios paralelos. Los estímulos disparadores, por sí mismos, pueden semejar a los estímulos incondicionados que son efectivos solo durante cierto periodo del desarrollo o estación del año. Sin embargo, la conducta típica de especie puede presentarse sin un estímulo disparador específicos, como las operantes, puede tener mayor variabilidad a nivel molecular, de lo que muestran las respondientes (Hebb, 1949). Las conductas típicas de especie pueden ocurrir inmediatamente después de la presentación del estímulo disparador, de la misma forma que el estímulo incondicionado produce inmediatamente la respuesta incondicionada. Aunque el aprendizaje operante y el condicionamiento clásico pueden también ocurrir rápido,

- bajo las circunstancias correctas. Más aún, las conductas típicas de especie, como la impronta, algunas veces dependen de la experiencia que se tenga con los estímulos disparadores.
22. Las características de generalización pueden ser debidas a las experiencias de aprendizaje diferencial o al lado "no aprendido" del sistema del desarrollo genoma-ambiente o a ambos, según lo plantea Gottlieb.
 23. (c) Periodos Sensibles .- Una variante del periodo sensitivo estándar lo ejemplifica la hembra de las avispa cazadoras, que son ocasionalmente capaces de modificar la cantidad de comida que le traen a sus larvas. Después de la visita de inspección diaria de las avispa, si los investigadores substituyen las larvas grandes por pequeñas, la avispa simplemente proveerá cualquier cosa que haya traído. Pero si la substitución se hace antes de la visita de inspección, ellas proporcionarán la cantidad exacta de comida (Fantino y Logan, 1979). De la misma manera, Staddon (1983) resumió la investigación en abejas, mostrando que ciertas discriminaciones en el forrajeo pueden ser aprendidas solo en ciertos momentos en la secuencia de forrajeo.
 24. (d) Los Genes .- Claramente aún hay mas preguntas que respuestas y la manipulación de variables genéticas adiciona otro nivel de complejidad. La complejidad temprana del ambiente, es un área de la mas avanzada interdisciplina entre el aprendizaje asociativo, la genética y los procesos de desarrollo. Hebb (1949) reportó que las ratas que son criadas como mascotas ejecutan mejor en los laberintos, de lo que lo hacen las ratas criadas normalmente en condiciones de laboratorio. Así, algunos de los estudios mas recientes sugieren que el posible involucramiento del condicionamiento operante en el ambiente complejo, puede ser una característica fundamental y no solo el que haya mayor actividad motriz (Black y Greenough, 1991). Fisiológicamente, un ambiente mas complejo puede incrementar la complejidad del RNA del cerebro (y solo del cerebro), así como aumentar la masa general del cerebro y el número de sinapsis, con el aumento correlativo en las capacidades conductuales.
 25. Muchas áreas de investigación necesitan un análisis similar. Recordando el estudio de Cooper y Zubek (1958), la investigación sobre naturaleza-crianza que emplea

ratas espontáneamente hipertensas, ha mostrado que el recibir cuidados maternos de ratas no hipertensas espontáneamente, evita que las crías se vuelvan espontáneamente hipertensas; sin embargo, las ratas normales no se vuelven espontáneamente hipertensas si son criadas por madres espontáneamente hipertensas. ¿Qué procesos conductuales hay detrás de estos datos?

26. (e) Preparación Biológica .- El concepto de "preparación biológica" se propuso para referirse a las diferencias en la facilidad para aprender que eran debidas a predisposiciones genéticas. Por las investigaciones que se han descrito hasta ahora en esta revisión, no puede perdurar la posibilidad de considerar tal preparación en ningún sentido estricto. Todo lo contrario, debemos recordar la compleja interacción en el sistema de desarrollo genoma-ambiente, que determina el nivel cambiante de la plasticidad de las relaciones ambiente-conducta.
27. (f) Categorización: La Ciencia Propone y la Naturaleza Dispone .- Se han desvanecido las esperanzas de distinguir fácilmente entre conducta típica de especie = filogenética vs. aprendida = ontogenética, que psicólogos y biólogos acostumbraban usar (Schwartz, 1974).
28. **EL DESTINO DE LOS PRINCIPIOS GENERALES DEL APRENDIZAJE**
.- Pueden existir muchos mecanismos conductuales diferentes, algunos especializados y otros generales, matizándose unos con otros (posiblemente en forma análoga a los mecanismos de la memoria, Shettleworth, 1993). Así, Bitterman (2000) decía que "la teoría de los procesos generales con frecuencia se ha considerado contrariada por la *especialización adaptativa* (el ajuste especializado y evolutivo de los procesos de aprendizaje, ante las necesidades de especies particulares, en situaciones específicas), aunque la suposición de un ajuste implica la existencia de procesos generales para ser ajustados". Y nada puede alterar el descubrimiento establecido, de que conductualmente, los principios básicos operantes y respondientes ocurren de la misma manera entre muchas especies (aún invertebradas). Muchos otros principios del aprendizaje que se han estudiado mucho en ratas y pichones, aún tendrán que ser investigados ampliamente

- en otras especies o en ambientes naturales (dentro de ellos, por ejemplo, un fenómeno aparentemente ubicuo, de gran importancia práctica: el igualamiento).
29. Existen similitudes en las relaciones conducta-ambiente entre categorías, como ya se ha visto. Aún las dos formas de inducción en el desarrollo planteadas por Gottlieb, la canalización y la maleabilidad, son análogas a la discriminación y la generalización.
 30. La capacidad de cambiar la conducta mediante el reforzamiento y el castigo evolucionó primero y en algún momento, las consecuencias se volvieron efectivas para alterar comportamientos diferentes a aquellos que normalmente las producían (como se mencionó antes para los estímulos improntados que sirven como reforzadores). La variabilidad por sí misma se volvió una característica reforzable de la conducta. Esta ampliada flexibilidad eventualmente permitió la complejidad de la conducta humana. Donahoe y Palmer (1994) sugirieron que el lenguaje humano parcialmente es el resultado de una gran sensibilidad al reforzamiento condicionado.
 31. **EVOLUCION Y CONDUCTA** .- Las presiones de la selección natural promueven la adaptabilidad (fortaleciendo los "ajustes", dando sentido a la supervivencia y la reproducción; vea Dawkins, 1982), aunque no todas las características evolutivas son adaptativas (Logue, 1988).
 32. Los investigadores del aprendizaje tienden a pensar sobre el aprendizaje operante y el condicionamiento clásico, como las principales formas de influencia ambiental sobre la conducta, y su importancia en muchas especies es clara. No obstante, los reflejos y las conductas típicas de especie que se disparan en circunstancias apropiadas en ausencia de lo que podría ser un riesgo por la demora del aprendizaje, tienen sus propias ventajas y presiones por la selección natural.
 33. El fenotipo es el sujeto de las presiones de la selección natural evolutiva, independientemente de la fuente de soporte genético alternativa que lo haya producido (West-Eberhard, 1989).
 34. Muchas especies poseen morfologías alternativas, así como fenotipos conductuales (West-Eberhard, 1986), ambos pueden extenderse rápidamente, en comparación a los cambios genéticos. Gottlieb y otros investigadores desde

- hace tiempo han observado que los cambios fenotípicos pueden presentarse, sin ningún cambio en el genotipo, aunque estos generalmente ocurren después (Avital y Jablonka, 2000).
35. Solo una pequeña porción del genoma se expresa en muchos organismos (por ejemplo, los pájaros pueden desarrollar dientes bajo las circunstancias correctas, Collar y Fisher, 1980).
 36. Avital y Jablonka (2000) sugerían que debido a que la plasticidad conductual puede ser tanta, las especies pueden desarrollar de manera subyacente "grandes reservas de variación genética, que pueden ser expuestas y resguardadas cuando el ambiente cambia". Así, si existe cualquier capacidad con soporte genético para enfrentar la modificación del ambiente, esta puede implementarse sin que sea necesaria una mayor expansión del genoma.
 37. Sin embargo, la flexibilidad conductual también puede ser un factor para retardar la evolución genotípica, ya que los cambios en el comportamiento animal pueden hacer a un lado la presión selectiva, que obligue a los cambios genéticos.
 38. En el contexto ecológico, la naturaleza del nicho interactúa con la plasticidad conductual. Por ejemplo, las estrategias de los tipos "r" y "K" son los puntos finales de un continuo. Con cierta presión evolutiva se puede optar por una rápida reproducción y aprovechar las condiciones temporalmente favorables, produciendo poblaciones que posteriormente decaigan dramáticamente (tipo "r"). La reproducción lenta, tipo "K", es más estable, en correspondencia a un ambiente también más estable. Gould (1977) encontró que algunos efectos correlativos al tipo "K", incluyen un mayor desarrollo cerebral para la especie, mayor cantidad de cuidados paternos para las crías y una mayor longevidad, lo que llevaría a una mayor probabilidad de plasticidad conductual. Esto permitiría muchas posibilidades de socialización, con una función para el reconocimiento de los individuos que requeriría de un aprendizaje de discriminación (Fantino y Logan, 1979).
 39. Como ya se mencionó, las experiencias tempranas enriquecidas pueden fortalecer al cerebro y las especies con cerebros grandes son las que más se benefician con

estas experiencias. Las especies con las proporciones mas grandes cerebro/cuerpo bien pueden exhibir los porcentajes mas rápidos de evolución, posiblemente debido a su alta probabilidad de neofenotipos conductuales.

40. Alternativamente, los ambientes que permanecen muy estables pueden obligar a una transición de la conducta aprendida a los comportamientos típicos de especie, menos flexibles pero de mas rápida aparición. Los investigadores del aprendizaje tienden a dar por sentado que las conductas típicas de especie evolucionaron primero, en forma primitiva a partir de la relación conducta-ambiente y que las capacidades operantes se desarrollaron luego, sin relación con ellas o con los reflejos o con los tropismos. Esto bien podría ser cierto, pero también es posible que ocurra en la dirección contraria. Recientemente Avital y Jablonka delinearon como es que puede ocurrir la transición de la conducta aprendida a la no aprendida, basándose en los experimentos clásicos de Waddington con la mosca de la fruta y otros trabajos recientes (Ewer, 1956). ¡La filogenia puede recapitular a la ontogenia!

41. **MECANISMOS E INTERACCIONES** .- Afortunadamente la interacción entre los genes, la conducta y el ambiente, en un nivel mas molecular, ha sido un área activa de investigación. Poco a poco ha ido revelando los mecanismos que están detrás de los fenómenos del desarrollo inductivo, como los planteados por Gottlieb. La importancia de la plasticidad en el trabajo de Gottlieb y en el contexto evolutivo ya ha sido notada. La revolución de las neurociencias ha mostrado que los sistemas fisiológicos que dan soporte a la conducta pueden ser tan plásticos como la conducta misma y que la velocidad de respuesta a los cambios del ambiente puede ser rápida, incluso en los adultos. Fácilmente se puede alterar la expresión genética para producir cambios morfológicos, fisiológicos o conductuales. Y, por supuesto, se puede alterar el genoma mismo. En verdad hay un gran apoyo al concepto de la epigénesis probabilística.

42. **AMPLIANDO EL PANORAMA** .- Nada está "genéticamente determinado" sin la participación del ambiente. Los científicos siempre lo han sabido, pero Gottlieb y otros

- nos han mostrado que tan significativo es la participación del ambiente, aún sobre la conducta "instintiva". La epigénesis probabilística de Gottlieb describe la interacción de los genes y el ambiente a todos los niveles, en todas las especies, a todo lo largo de su ciclo de vida. En estas interacciones resulta crítico el papel de los principios conductuales.
43. El principio que abarca toda la vida es la evolución. Y los principios de la conducta son también importantes para entender los procesos evolutivos. A su vez, es debido a la evolución que existen los principios o leyes de la conducta, y todavía queda por verse que tan bien pueden expresarse en categorías. La evolución ha producido muchas combinaciones de efectos conductuales, de manera que mas bien estamos interactuando con un fenómeno continuo y no con entidades discretas. Aún cuando la evidencia de la existencia de principios generales del aprendizaje es fuerte, los investigadores de este fenómeno serían mas valiosos y útiles si tomaran en cuenta lo que se conoce en el campo de la biología del comportamiento.
44. Mas específicamente, los estudios interdisciplinarios sobre el origen y la naturaleza de las consecuencias efectivas, resulta esencial para el análisis operante.
45. **CONCLUSIÓN** .- La psicología es una parte de la biología. Toda la conducta y los procesos cerebrales son funciones del organismo vivo. Todas las capacidades conductuales, incluyendo las conductas típicas de especie y el aprendizaje, están influidas genéticamente y fisiológicamente apoyadas. La falsa dicotomía naturaleza-crianza, salvada tan hábilmente por Gottlieb, entre otros, ha sido remplazada por un enfoque totalmente interactivo.

ANALISIS EXPERIMENTAL DE LAS RELACIONES
GENES-CEREBRO-CONDUCTA:
Algunas notas sobre su aplicación.

Craig H. Kennedy, Mary Caruso y Travis Thompson
JABA, 2001, 34, 539 - 549

1. Coincidente con el desarrollo del análisis de la conducta se han dado avances en otras dos áreas que tienen que ver con la psicología humana: la genética y las neurociencias. En los años noventa ocurrieron avances en el campo de la neuroimagen y la neurofarmacología, que permitieron un análisis en tiempo real de la actividad del cerebro en relación a los fenómenos del ambiente, así como la selección del objetivo farmacológico de la química cerebral que se relaciona con los cambios en el comportamiento. De la misma manera, con la secuenciación del genoma humano, han surgido oportunidades para relacionar las alteraciones en la dotación genética con cambios en la respuesta y la sensibilidad de la conducta a la estimulación ambiental.
2. Saltaron a la luz las intersecciones entre la genética, las neurociencias y el análisis de la conducta, con mas frecuencia que en la década pasada. El nódulo mas frecuente de estas intersecciones se dio en el laboratorio, donde las técnicas del condicionamiento operante se han empleado en un rango de disciplinas (ejemplo: farmacología, psiquiatría y psicología), con objeto de estudiar la conducta y la biología. Un ejemplo de ello está en que el fenotipo conductual de monos mutantes (es decir, animales con genes específicos borrados o adicionados de su genoma), se ha vuelto rutinario en la identificación de las influencias genéticas sobre la conducta (Hen, 1999).
3. De la misma manera, nuevas áreas de investigación, como la psicofarmacogenética, han surgido a partir de la integración de la investigación en genética, neurobiología y comportamiento (Cook, 1999). El objetivo de la psicofarmacogenética está en el estudio de las interacciones entre la química cerebral y las influencias ambientales y genéticas, para entender como

influyen sobre el comportamiento. La investigación en esta disciplina emergente nos está revelando como es que las variables filogenéticas interactúan sobre el curso del desarrollo, junto con los fenómenos ambientales, para determinar los fenómenos conductuales. Por ejemplo, datos recientes han mostrado que las alteraciones en el gene que transporta al neuroquímico serotonina de regreso a las células luego de la sinapsis, predice diferentes resultados en el tratamiento de personas que cursan con condiciones psiquiátricas, tales como la depresión y los desórdenes de ansiedad (Weizman y Weizman, 2000).

4. Hallazgos como estos deben conducirnos a una integración mas cercana de la genética y la selección de intervenciones específicas (farmacológicas, conductuales o ambas), para aumentar la eficiencia de los tratamientos. Un resultado predecible a partir de esta investigación sería la mejor apreciación de las interacciones funcionales entre el genotipo de las personas, la química cerebral y la conducta. Posteriores revelaciones sobre como las relaciones conducta-ambiente cambian y son cambiadas por influencias biológicas, proporcionarían una mejor comprensión de la psicología humana. Uno de los beneficios para el análisis conductual aplicado, de estudiar las relaciones gene-cerebro-conducta está en el potencial para mejorar los resultados de los tratamientos a través de un mejor entendimiento de los determinantes ambientales y biológicos de la conducta.
5. En este documento revisaremos dos áreas en las que las relaciones gene-cerebro-conducta parecen mas relevantes para el análisis conductual, mediante la revisión de documentos publicados en el JEAB y otras revistas de investigación básica relacionadas. La primera sección se enfoca sobre la química cerebral y la conducta. En esta sección hablaremos de la investigación que analiza el papel de la neurotransmisión para mediar los efectos reforzantes del estímulo. La segunda sección se enfoca en la interacción de los genes y la conducta, esto es, en cómo el genotipo de las personas puede afectar diferencialmente la clase de comportamiento que él o ella manifiesten y en que tan sensibles son varios procesos conductuales a los eventos ambientales.

Nuestras intención consiste en proporcionar una revisión de varios estudios de laboratorio relacionados con el análisis gene-cerebro-conducta y proporcionarle algunas sugerencias de cómo estos descubrimientos pueden llegar a ser del interés del análisis conductual aplicado.

6. **QUÍMICA CEREBRAL Y REFORZAMIENTO.**- La dopamina es un neuroquímico de particular interés en el análisis de la conducta debido a que se encuentra relacionado con fenómenos tales como el reforzamiento positivo, el movimiento y el recuerdo (Shultz, Dayan y Montague, 1997). Los antagonistas de la dopamina (esto es, drogas que reducen la actividad dopaminérgica, como el haloperidol o Haldol), se han usado desde los años 50 para el tratamiento de la esquizofrenia . Se tiene como hipótesis que los niveles elevados de dopamina son un aspecto crítico para este desorden. Y es interesante que los agonistas de la dopamina (drogas que incrementan su actividad), se encuentran involucrados para producir los efectos adictivos de drogas como la anfetamina, la cocaína y el metilfenidato (MPH o Ritalín).
7. Por décadas los investigadores se han interesado en observar como es que los neuroquímicos como la dopamina participan en los procesos conductuales. Las primeras investigaciones publicadas en el JEAB sugieren que los agonistas dopaminérgicos, como la anfetamina, tienen una función estimulante sobre la conducta. En el primer volumen del JEAB, Verhave (1958) analizó los efectos de la meta-anfetamina sobre la conducta en un paradigma de evitación libre. Se enseñó a unas ratas a apretar una palanca con objeto de posponer shocks eléctricos, que de otra manera ocurrirían a intervalos fijos. Esta contingencia estableció conducta negativamente reforzada por la evitación de la estimulación nociva. El resultado total de una serie de experimentos fue que la administración de la meta-anfetamina incrementaba las tasas de la respuesta negativamente reforzada.
8. Estudiando un proceso de reforzamiento cualitativamente diferente, Dews y Morse (1958) reportaron que la anfetamina incrementaba la respuesta positivamente reforzada de sujetos humanos. Usando un programa DRL, la respuesta de adultos típicos se reforzó con dinero. El programa estableció una respuesta intermitente que era consistente con la contingencia en efecto, con tasas de

respuesta que se incrementaban luego de la administración del agonista de la dopamina. Estos hallazgos replicaron previos datos de Dews (1958), en los que se mostraba que la meta-anfetamina aumentaba las tasas de conducta positivamente reforzada en sujetos no humanos.

9. Los efectos conductuales de los agonistas de la dopamina que acabamos de revisar son mas complejos que el hecho de simplemente estimular el incremento general en la actividad. Una ilustración de esto la proveen Dougherty y Pickens (1973), quienes analizaron los efectos de la cocaína (un agonista de la dopamina), sobre la respuesta positivamente reforzada. Estos autores establecieron la presión de palanca en ratas bajo un programa FI con administración intravenosa de cocaína, como reforzador. Como resultado observaron un patrón estable de respuesta característico de los programas FI, con administración de cocaína como consecuencia. Este trabajo es consistente con diversos estudios subsecuentes que han mostrado que los agonistas de la dopamina, como la anfetamina, la cocaína y el MPH, funcionan como reforzadores positivos para la conducta operante. También se ha visto que la administración de antagonistas de la dopamina (como el haloperidol), contingente a la respuesta, no es capaz de mantener la respuesta (no funcionan como reforzadores positivos) (White, 1996).
10. Las interrelaciones entre la actividad dopaminérgica y los efectos de los estímulos como reforzadores positivos, también se estudió en dos experimentos que emplearon diferentes estrategias farmacológicas. Un enfoque clásico para estudiar los efectos de un presunto agonista de un neuroquímico en particular, consiste en pre exponer al sujeto con un antagonista de tal neuroquímico. Winsauer y Thompson (1991) usaron tal estrategia para estudiar el papel de los receptores de dopamina en los efectos positivamente reforzantes de la cocaína. En uno de los experimentos, el picoteo de unos pichones fue reforzado ya sea con comida o con cocaína, bajo un programa múltiple con componentes FR. A los animales se les aplicó haloperidol antes de algunas sesiones. Cuando los animales fueron pre expuestos al haloperidol, la comida continuó funcionando como

- reforzador, pero la cocaína ya no. Una vez que se retiraba el antagonista de la dopamina, tanto la comida como la cocaína funcionaban como reforzadores positivos.
- 11.El efecto de los agonistas dopaminérgicos como la cocaína, MPH y anfetaminas, en el nivel celular, consiste en bloquear la recuperación de la dopamina luego de que ha entrado en la conexión sináptica. Este proceso incrementa la concentración de dopamina en los receptores post sinápticos, lo que estimula el incremento de actividad en las células con receptores post sinápticos de dopamina. El efecto de los antagonistas de la dopamina está en la ocupación de los receptores de dopamina post sináptica, de manera que los agonistas dopaminérgicos no puedan afectar la neurotransmisión post sináptica.
 - 12.En el análisis anterior falta un aspecto importante acerca de cómo los agonistas de la dopamina funcionan como reforzadores positivos. Todos los estudios previos manipulan los neuroquímicos en la totalidad del cerebro. Tales manipulaciones del cerebro en su conjunto son instrumentos analíticos importantes, pero no ayudan a identificar las regiones específicas del cerebro que tienen que ver con estos efectos y que no sean los sistemas dopaminérgicos. Investigaciones recientes entre las que se encuentran algunas aparecidas en el JEAB, nos están ayudando a identificar no solo los químicos cerebrales relacionados con la forma en que los agonistas de la dopamina funcionan como reforzadores positivos, sino también los sustratos naturales de el cerebro que tienen que ver en este proceso conductual (Caine y Koob, 1994).
 - 13.El nucleus accumbens es un área del cerebro en que se ha centrado la atención de los investigadores interesados en el reforzamiento positivo. Es parte de una subdivisión del cerebro denominada como el sistema límbico y que está densamente inervado de neuronas productoras de dopamina. Este sistema se relaciona con fenómenos psicológicos como la recompensa, el recuerdo y el aprendizaje. Si se le destruye mediante una lesión, los agonistas de la dopamina dejan de funcionar como reforzadores positivos (Robins y Koob, 1980).
 - 14.El trabajo de Caine y Koob (1994) analizó la posibilidad de que al lesionar el nucleus accumbens se

produjeran efectos que selectivamente afectaran al agonista de la dopamina (cocaína) o que tuvieran efectos mas amplios sobre otros reforzadores positivos que no se vincularan con la dopamina. Los investigadores establecieron la presión de palanca en ratas bajo un programa múltiple que alternaba entre el otorgamiento de comida y la cocaína intravenosa. Una vez que se estableció una línea base estable, se destruyó el nucleus accumbens para evaluar su papel respecto al reforzamiento. La técnica de lesión fue un avance metodológico respecto a estudios previos. En la investigación anterior normalmente se usaban métodos que destruían el total de células en el nucleus accumbens y cualquier fibra nerviosa que transitara por el área. Como una alternativa, estos autores usaron una neurotoxina que destruía selectivamente solo neuronas que contenían dopamina y así, preservaban las otras células y fibras nerviosas. Los animales que recibían lesiones donde se usaban soluciones salinas y no la neurotoxina, se mantenían respondiendo para obtener comida o cocaína. Los animales que habían recibido la neurotoxina se mantenían respondiendo para obtener comida y su respuesta para la cocaína se reducía notablemente. Los resultados sugieren que el nucleus accumbens está directamente relacionado con los efectos como reforzadores positivos, que muestran los agonistas de la dopamina.

15. Los hallazgos de la investigación básica indican que las drogas agonistas del sistema dopaminérgico, funcionan como reforzadores positivos y que tal efecto está mediado por el sistema límbico del cerebro. Luego, ¿qué tiene esto que ver con el análisis conductual aplicado? En general, estos datos ilustran la relación que hay entre el reforzamiento y la neurobiología. La investigación sobre el cerebro está proporcionando evidencia de la química cerebral y los circuitos neuronales que participan en los diferentes tipos de estimulación y funciones reforzantes. Otra implicación de estos datos está en la información que nos proporcionan sobre como ciertas deficiencias se pueden manifestar a nivel neurobiológico y como estos cambios pueden afectar la relación ambiente-conducta. Además, nos permiten entender las relaciones entre la actividad

- cerebral, el funcionamiento conductual y los efectos de las medicinas psicotrópicas.
16. Un área de aplicación de las investigaciones que hemos revisado es el déficit atencional con desorden hiperactivo (ADHD). Sus características son la impulsividad, la hiperactividad, la dificultad para atender las tareas y la falta de sensibilidad para las contingencias de reforzamiento positivo relacionadas con el salón de clases. No es pues sorprendente que los estudiantes con ADHD estén en gran riesgo de fracasar en la escuela, en comparación con los demás.
 17. Hay evidencias de que las personas con ADHD cursan con alteraciones en la actividad dopaminérgica cerebral. En especial, la investigación sugiere que estas diferencias se relacionan con el gene que transporta la dopamina de regreso a la base terminal, luego de su liberación en la conexión sináptica. La disrregulación del gene transportador de la dopamina (DAT) puede producir una expresión aumentada del transporte de dopamina al cerebro, incrementando el reingreso de dopamina en las células presinápticas. El resultado es un decremento en la actividad dopaminérgica que, dado el papel neuromodulador de la dopamina, puede producir alteraciones en diversos circuitos cerebrales relacionados. Por ejemplo, algunos investigadores han postulado que las disrupciones en los genes DAT ocasionan que los estímulos funcionen con menos efectividad como reforzadores positivos debido a la actividad dopaminérgica disminuida en el sistema límbico (Koob, 1996).
 18. Es interesante que una droga que comúnmente se emplea para el tratamiento del ADHD sea el MPH. A un nivel celular, el MPH bloquea el reingreso de dopamina a las células presinápticas, incrementando los niveles extracelulares de dopamina (Volkow et al, 2001). Esto sugiere que el efecto neurobiológico del MPH está en que estabiliza la disrupción en la actividad dopaminérgica producida por un gene DAT defectuoso.
 19. El análisis conductual aplicado está solo empezando a mirar como los medicamentos psicotrópicos afectan a la conducta operante. Por ejemplo, Murria y Kollins (2000) encontraron que la conducta de los estudiantes con ADHD era mas sensible a los parámetros de los programas de

reforzamiento, cuando consumían MPH, en comparación con una condición placebo. Tales hallazgos sugieren que el MPH altera la sensibilidad de la conducta a los fenómenos ambientales, lo que es consistente con los datos obtenidos en el laboratorio.

20. **GENES Y CONDUCTA.**- Hay una variedad de operaciones de privación que incrementan el valor reforzante de eventos específicos. En *La Conducta de los Organismos*, Skinner (1938) notó que una de las propiedades importantes de la privación de alimento consistía en incrementar el valor reforzante de la comida. Otros ejemplos de operaciones que incrementan el valor reforzante de los eventos incluyen (a) inyectar solución salina a las ratas para incrementar el valor reforzante de beber agua, (b) inyectar un antagonista de los opiáceos a un mono dependiente de ellos, para incrementar el valor reforzante de la morfina, (c) la privación social aumenta el valor reforzante de la atención de los adultos a los niños. Estas operaciones tienen fuertes bases genéticas y están "interconstruidas" dentro del repertorio conductual de los animales.
21. Inclusive, la génesis de muchos eventos que funcionan como reforzadores positivos o negativos tiene una base filogenética y se expresa como fenotipos conductuales con topografías únicas de patrones conducta-ambiente. Por ejemplo, el acceso a la imagen visual específica de otro de su especie para el pez siamés peleador, es un poderoso reforzador positivo para la respuesta operante del *Betta splendens* (Grabowski y Thompson, 1969), se trata de un estímulo que está genéticamente determinado para esta especie en particular. Otro ejemplo de un papel genético en la determinación específica de relaciones conducta-ambiente está en la rata hipertensiva espontánea. Varias características conductuales que son únicas de este tipo de ratas son de interés para los investigadores aplicados, debido a que semejan aquéllas que muestran las personas con ADHD. Estas ratas hipertensas son más activas, son menos reactivas a estímulos nuevos y tienen una respuesta de congelamiento más corta, comparadas con otras ratas (McCarty y Kopin, 1979). Adicionalmente, estas ratas necesitan de un mayor número de ensayos para aprender varias tareas y muestran mucha variabilidad de línea

base en sus ejecuciones, ya sea que se refuerce o no dicha variabilidad. Este tipo de hallazgos ilustran la importancia del genoma del organismo y su influencia en las características conductuales y la reactividad al ambiente.

22. Ahora nos concentraremos en las relaciones gene-conducta del síndrome Prader-Willi. Este síndrome es una alteración genética del desarrollo, caracterizada por un conjunto de comportamientos específicos, donde sobresale un apetito insaciable. Se trata de la causa genética más común para la obesidad. El desorden en la alimentación asociado al síndrome Prader-Willi puede llegar a ser tan severo que resulte una amenaza para la vida; puede comerse tanto, hasta el punto en que el estómago se rompe y el paciente muere.
23. El síndrome de Prader-Willi comparte características conductuales con otros desordenes, como sería el obsesivo-compulsivo y el autismo. Ya que otros desordenes como la bulimia y la anorexia nervosa también comparten características con él, el entendimiento de las causas de las alteraciones en la alimentación podrían tener implicaciones para otros desordenes alimentarios.
24. El síndrome de Prader-Willi fue descrito por primera vez en 1956 y desde entonces cerca de 800 documentos sobre él se han reportado en la literatura especializada (véase Donaldson et al., 1994). Las principales características clínicas incluyen un pobre tono muscular durante la infancia, que mejora a los 9 meses y una obesidad que se inicia entre los 6 meses y los 6 años de edad. Si bien, las personas con el síndrome de Prader-Willi tienen un desorden del desarrollo, no necesariamente cursan con retardo mental. Ligeramente menos de la mitad de estos pacientes funcionan en el rango de bajo promedio de funcionamiento intelectual y de ellos poco más de la mitad arrojan puntajes de retardo mental medio y moderado. Alrededor del 60 al 70 % tienen la ausencia parcial de una sección del brazo largo del cromosoma 15. El síndrome de Prader-Willi afecta 1 de cada 10,000 a 20,000 individuos (Butler, 1990; Greenswag, 1987).
25. Una estrategia para identificar las bases genéticas de la obesidad ha consistido en desarrollar modelos

animales. Uno de los más frecuentes es el de las ratas OLETF, quienes carecen de los receptores CCKa. Las ratas ausentes de receptores CCKa, muestran hiperfagia, obesidad, encendido tardío de hiperglicemia y diabetes crónica (Moran, 2000). La liberación CCKa se estimula por los incrementos en los ácidos grasos libres posteriores a la alimentación y son mediadores de la saciedad entre episodios alimenticios. En los individuos normales, los incrementos en los ácidos grasos libres se acompañan con incrementos en CCKa (Guimbaud et al., 1997). Aunque la línea base de niveles en descanso de plasma CCKa en pacientes con síndrome de Prader-Willi no son significativamente diferentes de los de sujetos control, estos pacientes no muestran los incrementos correlativos en CCKa y los ácidos grasos libres posteriores a la alimentación, que se observan en los sujetos control (Butler, et al., 2000). Así, la diferente respuesta de la CCKa periférica ante los niveles de ácidos grasos libres, produce una respuesta de saciedad alterada en los pacientes con síndrome de Prader-Willi. Esta alteración en la respuesta de saciedad, a su vez, afecta el valor reforzante de la comida.

26. Los mecanismos genéticos que aumentan el valor reforzante de la comida en el síndrome de Prader-Willi parecen iniciarse entre los 12 y los 24 meses de edad (Dimitropoulus et al., 2000).

Traducción resumida de:
Ps Jaime E Vargas Mendoza

¿ALTRUISMO PRE DETERMINADO?
"LAS CIENCIAS DE LA CONDUCTA, LA TEORIA EVOLUTIVA
Y LOS ORIGENES DE LA RECIPROCIDAD", DE Alexander J. Field

Craig T. Palmer
Human Nature Review 2 (2002) 92-94

1. Antes de leer este libro sostenía la opinión de que la selección grupal era una forma de evolución, que había jugado un papel en la evolución de unas pocas formas de vida y que no había evidencia de que fuera un factor significativo en la evolución humana. Luego de leerlo, mantengo la misma postura. Así, en mi caso, Alexander Field no pudo demostrarme que el altruismo humano no pudiera explicarse sin apelar a la selección grupal como mecanismo evolutivo. No obstante, no se debe pensar que su libro no tiene importancia. Por el contrario, se trata de un trabajo absorbente que debería leer cualquiera que se interese en la explicación del altruismo humano.
2. Adicionalmente, el libro está lleno de ejemplos específicos de conexiones entre principios evolutivos y una amplia variedad de fenómenos económicos y políticos.
3. El principal argumento de Field se refiere al juego del dilema del Prisionero, mismo que no se ajusta a lo razonable (basado en el beneficio personal) y las predicciones de los modelos de equilibrio económico de Nash, ya que un número considerable de personas resultan mas altruistas de lo que estos predicen.
4. El origen de este altruismo, según Field, puede explicarse mediante la selección grupal. De esa manera, la selección grupal se plantea como una potente fuerza en la evolución humana y podría sugerir que cualquier intento por explicar la conducta social humana debiera tomar esto en cuenta.
5. La única razón que visualiza Field para considerar problemático de explicar el primer acto altruista es debido a que se asume un nivel individual de selección que produciría esencialmente el mismo organismo "egoísta" que supone el modelo económico "racional".

6. Esta suposición resulta falsa debido a que en la selección natural solo se favorece lo que es "egoísta" desde el punto de vista de los "genes" y, como lo dice Field mismo, "lo que es egoísta para los genes, resulta altruista desde el punto de vista del organismo que actúa (p.152). Luego, "los organismos han evolucionado para ser altruistas, cuyos beneficios, en un contexto histórico, recaerían eventualmente sólo sobre sus familiares".
7. Si Field hubiera considerado la importancia del hecho de que los padres también motivan a sus descendientes, a que estos a su vez influyan en sus propias crías de la misma manera y así por varias generaciones, hubiera estado en camino de resolver el verdadero problema de explicar el altruismo humano.

HACIA UNA BIOCIBERNETICA EVOLUTIVA.

V. G. Red'ko

Research and Development Institute of Material Science, 1995
Zelenograd, Moscow 103460, Russia

1. INVENCION INTELECTUAL DE LA EVOLUCION BIOLÓGICA.-
Resulta interesante comprender como fue que surgió la lógica humana durante la evolución biológica. Esta pregunta correlaciona con un profundo problema gnoseológico: ¿porqué la lógica humana es aplicable en la comprensión de la naturaleza? Voy a ilustrar este problema con un ejemplo simple. Supongamos que un físico ha descrito algún fenómeno mediante una ecuación diferencial. Luego integra la ecuación y obtiene las características del fenómeno. La transición desde la ecuación a las características es puramente deductiva, pero la aplicación de esta transición al fenómeno físico deberá evaluarse, ya que no es evidente que los objetos físicos obedezcan las reglas de la lógica humana. Con el propósito de entender porque y como surgen las reglas lógicas y su aplicación a la comprensión de la naturaleza, resulta razonable desarrollar la teoría del origen evolutivo de la lógica humana. Tal teoría podría incluir los modelos matemáticos de los "inventos intelectuales" mas importantes sobre la evolución biológica., mediante los cuales los animales "comprenden" las regularidades de la naturaleza, así como los modelos de las transiciones evolutivas entre los inventos intelectuales de diferentes niveles.

Lógica			
		Condicionamiento clásico	
	Habitación		
Reflejo Incondicionado			
3.109	1.5.109	0.5.109	2500 (años)
Unicelulares simples	Unicelulares complejos	Moluscos	Homo Sapience

Figura.- Inventos intelectuales de la Evolución Biológica.

2. BIOCIBERNÉTICA EVOLUTIVA, EL PANORAMA DE LA CIENCIA.- En mi opinión, la teoría del origen lógico debería ser una parte importante de la biocibernética evolutiva. En la Figura que aparece abajo se ilustran las ramificaciones de la investigación que se refiere a la biocibernética evolutiva.

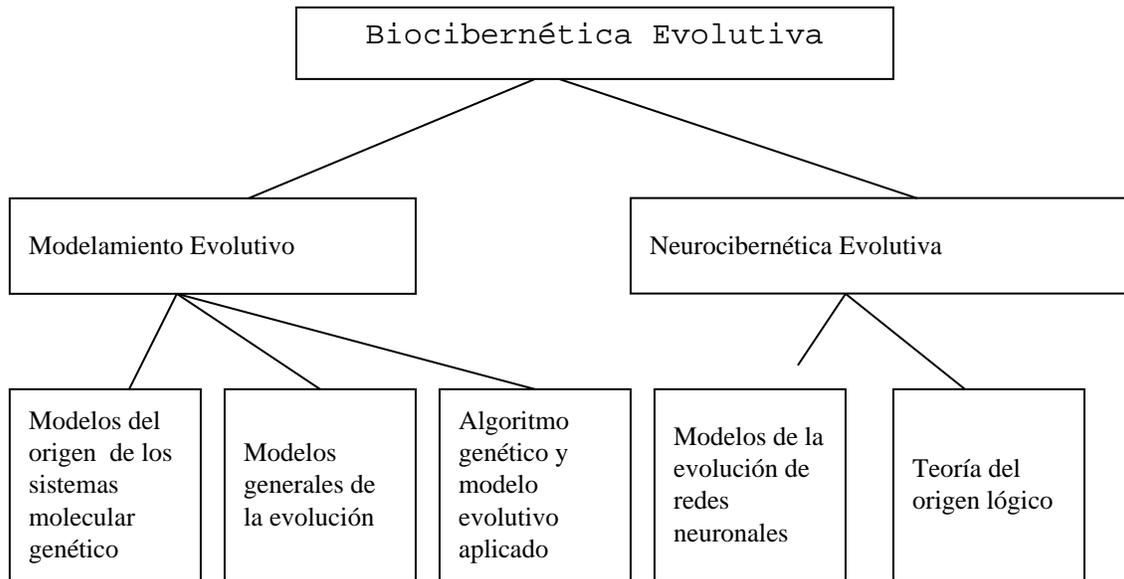


Figura.- Bifurcaciones de la Biocibernética Evolutiva.

3. En aras de la brevedad, solo citaré unos pocos ejemplos de las investigaciones representadas en la Figura anterior. Los modelos del origen de los sistemas molecular-genético se han desarrollado en relación con el problema del origen de la vida. Los mas conocidos son las cuasi-especies, los hiperciclos y sysers. Estos modelos describen matemáticamente algunos procesos hipotéticos del origen evolutivo de las propiedades cibernéticas de los organismos primitivos.

4. Los modelos generales de la evolución describen algunos aspectos informales y cibernéticos de la evolución. El autómata de Kauffman es un ejemplo interesante de ellos. Estos modelos describen la dinámica de los sistemas con elementos lógicos vinculados aleatoriamente. El autómata de Kauffman puede interpretarse como un modelo de sistemas de control celular molecular-genético. Para el estudio de la

evolución de este autómatas se utilizan métodos de estadística física.

5. En el algoritmo genético y el modelo evolutivo aplicado, las fibras simbólicas ("genomas" modelados), se optimizan de acuerdo a alguna función cualitativa (capacidad de adaptación del organismo), mediante mutaciones, entrecruces y selección de cadenas. La optimización combinada resulta de particular interés para el modelamiento evolutivo aplicado.
6. Recientemente aparecieron diversos modelos sobre la evolución de redes neuronales. En ellos se describe la optimización de la estructura y parámetros de las redes neuronales mediante algoritmos genéticos o evolutivos.
7. La teoría del origen lógico aún no se desarrolla y las aproximaciones a su construcción se discuten en seguida.

TEORIA DEL ORIGEN LÓGICO, ANTECEDENTES Y DESARROLLO.

8. Teoría del Origen Lógico y Lógica Matemática. La lógica matemática proporciona la respuesta a las preguntas ¿cómo son las reglas de la lógica humana? y ¿cómo pueden usarse correctamente las reglas de la lógica? La teoría del origen lógico podría responder a cuestiones más profundas ¿por qué son como son las reglas de la lógica? y ¿por qué pueden las reglas lógicas usarse correctamente?
9. Teoría del Origen Lógico e Inteligencia Artificial. Mientras se construyen sistemas de inteligencia artificial es deseable conocer cuáles son las áreas de aplicación de cierto método "intelectual" y cuál es la razón del origen biológico de tal método. Este conocimiento podría obtenerse de las investigaciones sobre la teoría del origen lógico.
10. Teoría del Origen Lógico y las Redes Neuronales. En mi opinión, la relación entre la teoría del origen lógico y la teoría de las redes neuronales debería ser análoga a la que se da entre la termodinámica y la mecánica estadística: el alcance de la teoría del origen lógico es la investigación *fenomenológica* de los métodos, reglas y fenómenos "intelectuales", en tanto que el alcance de la teoría de las redes neuronales es la investigación correspondiente a los mecanismos neuronales "*microscópicos*".

11. Algunos pasos hacia la Teoría del Origen Lógico. Citemos ahora algunos modelos que podrían incluirse en la futura teoría del origen lógico.
12. Los *syser* adaptativos son un modelo de reflejos incondicionados a nivel molecular-genético.
13. El autómata de Tsetlin son modelos significativos de conducta adaptativa en ambientes externos cambiantes. Ilustran las propiedades biológicas simples adquiridas por los organismos. El "nivel intelectual" de este autómata corresponde aproximadamente al de la habituación.
14. Existen diversos modelos del reflejo condicionado (Grossberg, 1974; Gaase-Rapaport y Pospelov, 1987), pero, en mi opinión, todavía no se describen matemáticamente algunos aspectos significativos del reflejo condicionado, particularmente los concernientes a su papel en la motivación, en el aprendizaje condicional.
15. La motivación (aspiración a alcanzar cierto propósito) es una propiedad importante de la conducta animal "inteligente". P. K. Anokhin (1979) la incluye como participante significativo de los *sistemas funcionales* de la actividad nerviosa superior. La motivación está íntimamente relacionada con el fenómeno *dominante*, expuesto por A. A. Ukhtomsky (1950). Las aproximaciones a la teoría matemática del dominante las ha desarrollado V. I. Kryukov (1989). La idea de la acción propositiva (que es similar a la motivación), en conexión con el desarrollo de la teoría de la información, se ha discutido extensamente desde V. I. Korogodin (1991). La motivación y su papel en el comportamiento de animales muy primitivos ha sido modelada por L. E. Tsitlovsky y colaboradores. También se han desarrollado modelos motivacionales desde la investigación de la inteligencia artificial.
16. Es muy prematuro hablar de los resultados de la teoría del origen lógico, pero ya pueden notarse algunas analogías con los diferentes niveles de los "inventos intelectuales". Por ejemplo, el condicionamiento clásico puede considerarse como una inferencia elemental: "Si el estímulo condicionado es seguido por el estímulo incondicionado y el estímulo incondicionado es seguido por cierta reacción del animal, entonces, el estímulo

condicionado es seguido por esa misma reacción", lo que representa el ancestro temprano de una importante fórmula deductiva:

$A \rightarrow B, B \rightarrow$

$A \rightarrow C$

(si A implica B y B implica C, entonces A implica C)

- 17.COMENTARIOS CONCLUYENTES .- Las consideraciones precedentes sobre la biocibernética evolutiva no están completas: existen diversas ramificaciones potenciales para la investigación, que podrían incluirse. Por ejemplo, podrían ser objetos de investigación interesantes la evolución de los sistemas sensoriales y la evolución de la homeostasis interna. Pero, la teoría del origen lógico es el tema fundamental.
- 18.Finalmente, debe enfatizarse que la teoría del origen lógico es un campo y una perspectiva muy interesante para la investigación teórica y que la estrella que guíe estas investigaciones bien podría ser la aspiración de entender las causas de la lógica y la cognición humana.

UNA PERSPECTIVA PSICOLOGICA DEL PROPOSITO:
LOS ORGANISMOS COMO SISTEMAS DE CONTROL PERCEPTUAL.

Gary A. Cziko
The Things We Do (2000), Chap. 6

1. Dos de los tres pasos hacia un modelo materialista del propósito en la conducta son: (1) el descubrimiento de Bernard y Cannon de la auto regulación en los procesos fisiológicos que controlan las condiciones corporales internas, como la temperatura y las concentraciones en la sangre de azúcar, acidez y dióxido de carbono, (2) el entendimiento cibernético de la causalidad circular, que reconoce el papel principal que juega la acción circular y el feedback, en los sistemas de control diseñados por los ingenieros , en los procesos fisiológicos auto-regulados y la conducta abierta de animales y humanos.
2. Pero todavía falta algo: debemos aún entender claramente como funciona el propósito en tales sistemas, incluyendo la forma en que puede representarse, de donde viene y como se maneja para producir consecuencias controladas, al modificar sus acciones frente a disturbios no predecibles.
3. LA CONDUCTA PROPOSITIVA Y LOS SISTEMAS DE CONTROL DE CRUCERO .- Los sistemas de control de crucero para automóviles se activan apretar el botón "set", cuando el carro ha alcanzado la velocidad deseada. Digamos que 65 millas por hora es la velocidad que queremos mantener (propósito) y el sistema, entonces, actúa aumentando o disminuyendo la velocidad (mediante la alimentación de combustible al motor), dependiendo de los disturbios propios del camino (subir o descender de una colina). Este sistema puede fácilmente identificarse como un sistema de control con feedback negativo, que contiene los tres componentes esenciales: sensor, comparador y efector, descritos por Wiener (1961). El sensor, en el automóvil es un velocímetro, cuya señal se compara con el "input", que representa la velocidad que deseamos mantener constante. El comparador contrasta estas dos señales, restando una de otra. El resultado es la señal de

error que llega al efector, quien corrige la cantidad y dirección de la diferencia.

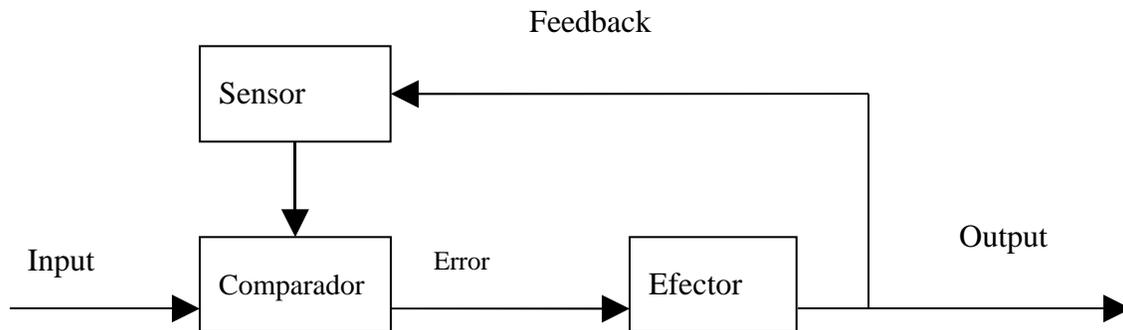


Fig.- Sistema de Control-Feedback de Wiener

4. El anterior diagrama de los sistemas de control con feedback negativo, puede aplicarse al sistema de control de crucero de un carro, al sistema de control de la temperatura de una habitación con un termostato o al ser humano en muchas de sus actividades.
5. PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL VIVOS E INGENIERILES .- Consideremos ahora algunas formas en que son similares los sistemas de control, tanto humanos como ingenieriles: (1) ambos, deben compensar diversos disturbios, aunque no necesitan percibir los disturbios particulares en sí mismos. Los sistemas de control de crucero de los automóviles, por ejemplo, no tienen forma de saber si el camino se empina o desciende, tampoco puede saber si el viento viene de frente o empuja desde atrás, si un pesado camión está muy cerca del carro, si alguna llanta ha perdido aire y aumenta su resistencia al rodamiento o si ha fallado una bujía, haciendo que el motor pierda potencia. Todo lo que puede sentir y por ello controlar, es la velocidad del carro. Así, a pesar de su completa ignorancia de muchos actuales y potenciales disturbios, realiza un buen trabajo, manteniendo la velocidad en el valor deseado, (2) un sistema de control *no controla lo que hace*, mas bien,

controla lo que siente. La palabra control aquí se usa en su sentido técnico, que se refiere a mantener una variable cercana a un valor especificado, a pesar de los disturbios. Vemos pues que un sistema de control con feedback, artificial o vivo, controla su input (lo que siente) y no su output (lo que hace). Como un sistema de control controla lo que siente y debido a que lo que siente un organismo respecto a su ambiente generalmente se le denomina, en las ciencias de la conducta, como percepción, la aplicación de la teoría del control a la conducta de los organismos se llama *teoría del control perceptual*. (3) es importante reconocer que aún cuando la conducta de un sistema de control es *influenciada* por su ambiente, no está *determinada* solamente por él. Mas bien, su comportamiento es determinado por lo que siente (o percibe) de su ambiente *en comparación con su propósito o nivel de referencia*. (4) los sistemas de control vivos o ingenieriles actúan de una forma claramente *propositiva*, variando su conducta lo necesario ante disturbios impredecibles, para controlar alguna variable percibida. Esto no se logra mediante la influencia actual de un estado futuro (teleología), sino teniendo una meta (estado de referencia), comparado con las condiciones actuales (percepción) y actuando frente a la diferencia (error) hasta reducirla o hacerla muy pequeña.

6. Nótese que no se requiere de nada místico, psíquico o espiritual para que esto ocurra.
7. Sin embargo, un factor que aún funciona como impedimento para aceptar estos conocimientos básicos de cibernética es la dificultad que hay para remplazar el formato de un solo sentido de la causa-efecto (estímulo-respuesta; input-output) en la conducta animada, por la noción cibernética mas compleja de la causalidad circular.

LA CONDUCTA COMO EL CONTROL DE LA PERCEPCIÓN.

8. LAS CONTRIBUCIONES DE WILLIAM T. POWERS Y SUS ASOCIADOS .- El físico e ingeniero eléctrico William T. Powers, el físico Robert D. Clark y el psicólogo clínico Robert L. McFarland, en 1950 trabajaron

juntos en el Hospital de Veteranos en Chicago. En 1960 publicaron un artículo titulado "La Teoría General del Feedback sobre el Comportamiento Humano". Trece años después, en 1973 Powers publica el primer libro que se enfoca exclusivamente en la aplicación de la cibernética y los conceptos de los sistemas de control al comportamiento animal y humano.

9. Powers hizo importantes contribuciones para extender las ideas de la cibernética al comportamiento animal y humano. La primera fue su completa apreciación de las implicaciones revolucionarias que tenía la cibernética sobre las ciencias de la conducta. Como lo dice el título de su libro *Conducta: el control de la percepción*, él consideraba que los organismos, organizados como redes vivientes de sistemas de control con feedback negativo, actuaban como lo hacen, para controlar sus percepciones. Esto se oponía al aún vigente enfoque, que en las ciencias de la conducta considera que la percepción (de los estímulos ambientales) controla la conducta, directamente (como en la teoría conductista) o mediante procesos psicológicos interventores con base en el cerebro (como en la teoría cognitiva). Así, trastornando la teoría conductual, Powers logró lo que no había podido la teoría e investigación psicológica durante 94 años: liberar a la psicología del concepto unidireccional causa-efecto, que enfocaba la conducta de los organismos vivos, como la de objetos inanimados, determinada por fuerzas externas.
10. Una segunda contribución de Powers está en la teoría y el modelo de trabajo sobre la organización *jerárquica* de los sistemas de control que funcionan dentro del organismo.
11. PERCEPCIÓN Y CONTROL JERARQUICO .- Para entender esta organización jerárquica de los sistemas de control y su funcionamiento, sería útil primero dar otra mirada a un sistema de control simple. Pero esta vez emplearemos un diagrama mas completo, inspirado en el trabajo de Powers, que resulta mas apropiado con los sistemas de control vivientes, comparado con el diagrama de Wiener.

12. La siguiente Figura difiere del diagrama original de Wiener: (1) está de manera horizontal y no vertical, (2) una línea punteada divide el sistema de control de su ambiente, lo que deja claro que el sistema es influido por su ambiente solo mediante sus sensores (o sentidos) y que actúa sobre el ambiente solo mediante los efectores (músculos), (3) el denominado input, en el diagrama de Wiener se remplazó por el término propósito, de donde proviene la señal de referencia, hacia el comparador del sistema de control. Mientras en el diagrama de Wiener pareciera que la señal de referencia proviniera desde afuera del sistema de control, aquí su origen es claramente desde el mismo organismo.

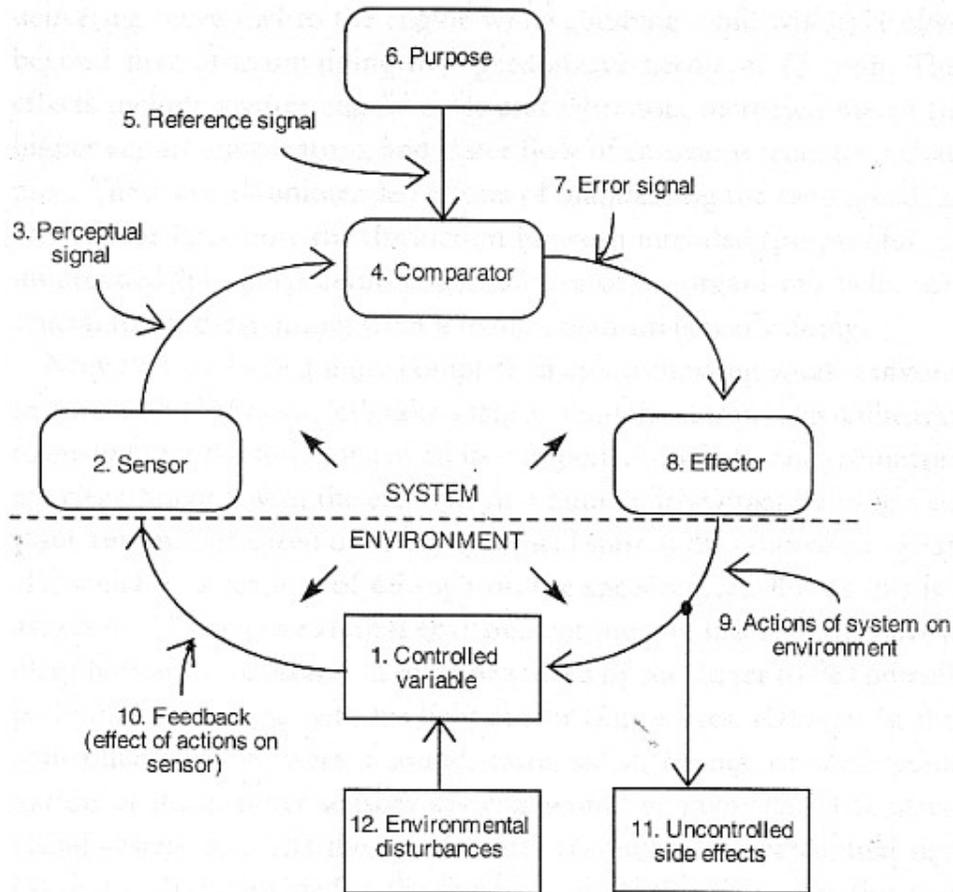


Fig.- Sistema de Control Elemental.

13. También se le han adicionado tres nuevos componentes del lado del ambiente, en la base del diagrama. La variable controlada se refiere al aspecto físico particular del ambiente que esta controlando el organismo. Puede ser cualquier cosa que el organismo pueda ver, oír, oler, sentir, etc. Los disturbios ambientales, representan todos los factores que influyen sobre la variable controlada fuera de la acción del sistema de control. Los efectos colaterales no controlados, indican que las acciones del sistema de control, viviente o ingenieríl, puede afectar al ambiente de manera no deseada, además de afectar a la variable controlada.
14. Powers suponía que el sistema nervioso de los animales y humanos estaba constituido por diversas redes de sistemas de control con un arreglo básicamente jerárquico y donde los sistemas de alto nivel enviaban sus outputs a manera de señales de referencia (y por ello, constituyéndose en metas de alto nivel) para los comparadores de los niveles mas bajos. En la siguiente figura, se identifica los comparadores con la letra C, a los sentidos (sensores) con la letra I de input y a los efectores con la letra O de output.

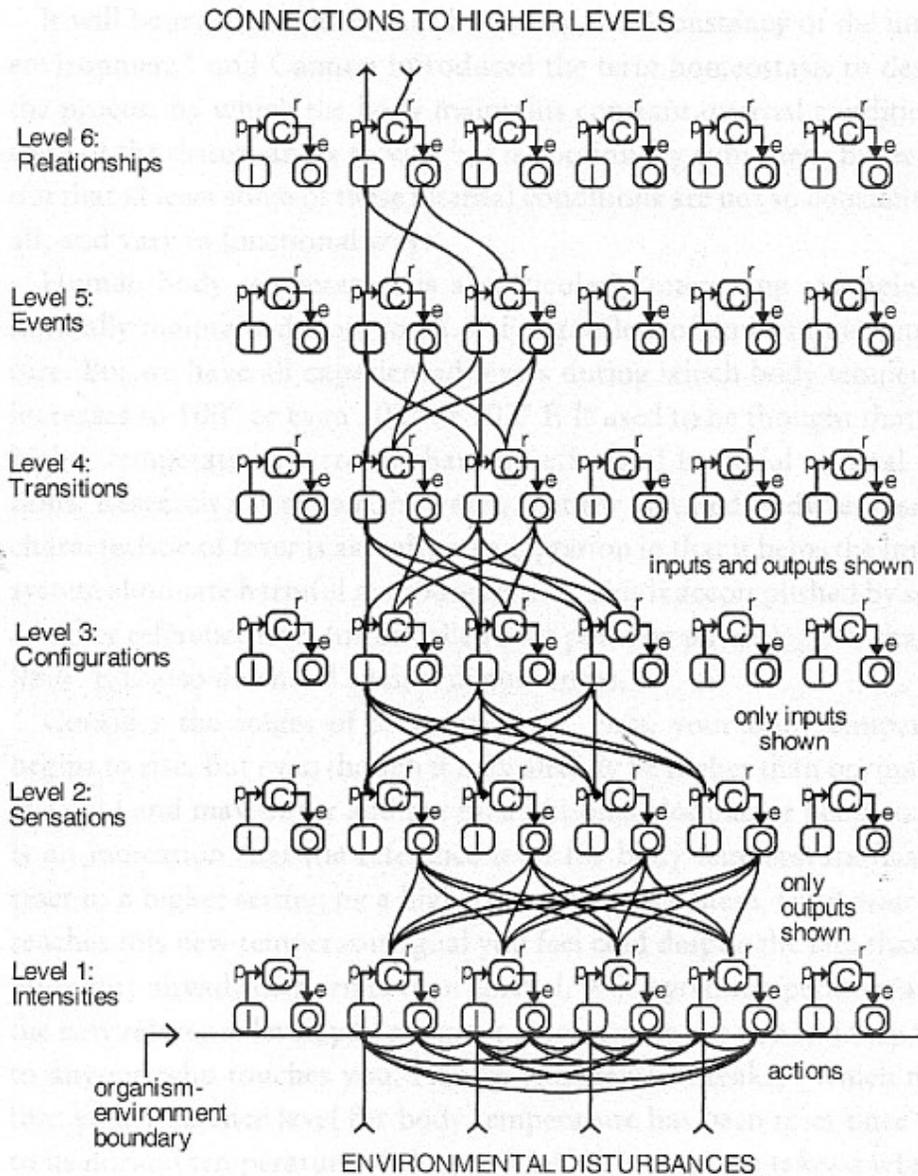


Fig. Una red jerárquica de sistemas de control.

15. Powers proponía para el caso de los humanos 11 niveles de percepción.
16. Ahora, conviene recordar que Bernard escribió acerca de "lo constante del ambiente interno" y que Cannon acuñó el término "homeostasis" para describir el proceso mediante el cual, el cuerpo mantiene constante sus condiciones internas, a pesar de los

disturbios a los que continuamente es sometido. Aunque hay que reconocer que al menos algunas de estas condiciones internas no resultan tan constantes después de todo y que varían de manera funcional.

17. Consideremos, por ejemplo, lo que sucede en una típica fiebre. Primero, la temperatura corporal empieza a incrementarse. Pero aún cuando ya esté en un valor mayor de lo normal, uno siente frío y puede temblar y ponerse ropa adicional o taparse con mantas. Esto es un indicador de que el nivel de referencia para la temperatura corporal se ha reprogramado a un valor mayor, por la intervención de un sistema de control de alto nivel. Conforme el cuerpo alcanza esta nueva meta de temperatura, uno siente frío aunque el cuerpo esté mas caliente de lo normal. Cuando la temperatura alcanza el nuevo nivel de referencia, uno se siente mejor, aunque cualquiera que lo toque a uno lo sentirá caliente. Finalmente, la fiebre cede, lo que significa que el nivel de referencia para la temperatura corporal se ha reprogramado nuevamente en su valor normal. Pero como toma un poco de tiempo que el cuerpo se enfríe hasta el nivel de referencia, en la nueva meta, uno se siente muy caliente y puede sudar copiosamente, hasta alcanzar el valor de referencia.
18. Aunque no se sabe con precisión cómo se manipulan los niveles de referencia de la temperatura corporal, queda claro que el término homeostasis no es la mejor palabra para describir el proceso de control que está involucrado cuando cambian los niveles de referencia. Consecuentemente, el fisiólogo Nicholas Mrosovsky (1990) usa el término "reostasis".
19. EL QUE, PORQUE Y COMO DE LA CONDUCTA .- El modelo jerárquico de Powers de los sistemas de control perceptual proporciona una nueva forma de entendimiento sobre el qué, cómo y porqué de la conducta animal y humana, un enfoque muy diferente a los proporcionados por otras teorías psicológicas.
20. Sobre el qué de la conducta, una acción sobre el ambiente se inicia cuando hay una diferencia (error) entre la meta (representada por una señal de referencia) y la percepción actual que tenemos.

21. La clave para entender la conducta como el control propositivo de la percepción consiste en intentar concebir al mundo desde la perspectiva del organismo que se comporta. En este sentido, la conducta se comprende mejor desde un punto de vista subjetivo y no objetivo.
22. El porqué de la conducta puede, en principio, ser contestado descubriendo qué es lo que está controlando el sistema de control de alto nivel mas próximo.
23. Ahora bien, el cómo de la conducta, nos lleva nuevamente a la jerarquía de los sistemas de control y puede contestarse considerando los niveles de referencia de los sistemas de control de los niveles mas bajos.
24. Debemos reconocer que generalmente no hay una respuesta simple a la pregunta acerca de qué de la conducta (¿qué está haciendo?), la respuesta debe ser una descripción de un conjunto de metas interrelacionadas, algunas de las cuales pueden ser accesibles conscientemente por el individuo (si es humano), pero otras no necesariamente.
25. DEMOSTRACIONES DEL CONTROL PERCEPTUAL .- Existen varias de ellas y sería conveniente consultarlas (o experimentarlas) en el sitio de internet, que es la página especializada www.uiuc.edu/ph/www/g-cziko/twd
26. EL RETO DE LA PREGUNTA FINAL SOBRE EL PORQUE DE LA CONDUCTA .- Como hemos visto, las preguntas sobre el qué de la conducta se responden considerando la variable perceptual que el organismo está controlando, sin olvidar que cualquier acción puede tener muchos efectos colaterales no planeados que no tienen relación con el organismo que se comporta y que las consecuencias de la conducta, especificadas mediante niveles de referencia, no tienen que ser estáticas y mas bien, pueden cambiar de forma continua.
27. Pero, respecto a las razones últimas de la conducta, las respuestas no pueden fundamentarse proponiendo la red jerárquica del organismo individual, en lugar de ello, debemos considerar al proceso responsable de la vida en sí mismo y su continua evolución.

LA ASTROBIOLOGIA.

¿QUE ES LA ASTROBIOLOGIA?

La astrobiología es una ciencia impulsada en el seno de la NASA para investigar el origen de la vida y su presencia e influencia en el Universo. Se trata, en síntesis, de averiguar cómo surgen los bloques básicos de la vida y de qué manera esos bloques se combinan hasta crear formas vivas, de estudiar las interacciones que los seres vivos y el entorno en el que habitan ejercen entre sí, y también de cómo la vida se extiende más allá de los límites del planeta en que nace. Entre los instrumentos más poderosos de esta ciencia se cuenta con un aparato matemático y conceptual capaz de englobar en el mismo estudio todas las escalas y todos los niveles de complejidad: desde el molecular hasta el galáctico.

¿QUE TIPO DE PREGUNTAS INTENTAMOS RESOLVER LOS ASTROBIOLOGOS?

Bajo esta nueva y amplia perspectiva, la Astrobiología hace suyas cuestiones históricas, a la vez que plantea nuevas preguntas: ¿Cómo surgió la vida sobre la Tierra? ¿Pudo haber aparecido vida en otros planetas (como Venus o Marte) tiempo atrás, al igual que surgió en la Tierra? ¿Es la vida un mero accidente, o por el contrario, constituye un fenómeno frecuente en el Cosmos? ¿Es la evolución, tal como la conocemos en la Tierra, un fenómeno universal? ¿Sería posible que otras biosferas pudieran tener formas propias de convivir con sus planetas?

ENTENDER QUE HA PASADO Y QUE ESTA PASANDO EN LA TIERRA NOS AYUDARA A ENTENDER EL UNIVERSO EN QUE VIVIMOS.

Si queremos comprender el largo camino que une la vida terrestre con el origen del Universo, tenemos que entender nuestro planeta y su relación con los seres vivos que alberga. El origen de la vida terrestre y la flexibilidad de los organismos para colonizar, incluso los hábitats más desfavorables, atraen el interés de los astrobiólogos. La

Astrobiología agrupa a físicos, biólogos, astrónomos, bioquímicos, microbiólogos, ingenieros, matemáticos, geólogos y hasta filósofos: es un trabajo en equipo, y la fuerza de ese equipo radica en el distinto entrenamiento científico de sus componentes y en las nuevas relaciones que se producen entre ellos y que fortalecen esta ciencia.

LOS CIENTÍFICOS DE TODAS LAS ESPECIALIDADES, CADA UNO APORTANDO LOS CONOCIMIENTOS DE SU AREA, DEBEN COLABORAR A ALCANZAR UNA COMPRESIÓN GLOBAL.

Los astrobiólogos, científicos de muchas especialidades, estudian todos los aspectos relacionados con la vida. Los astrofísicos analizan los procesos que suceden en el corazón de las estrellas y que producen los elementos básicos de la vida, la forma en que son expulsados en descomunales explosiones y también cómo algunos se mezclan con el gas y el polvo en el que se construyen los planetas: un proceso que parece frecuente en el Universo. Ellos buscan las fórmulas para detectar estos planetas extrasolares y las clases de estrellas que resultan más adecuadas para que la vida pueda seguir en ellos. Hay razones suficientes para sospechar que la vida pudo existir en planetas como Marte y Venus, y en satélites como Europa.

Los biólogos investigan las reglas evolutivas y la genética que gobierna el mundo viviente actual para aplicar ese conocimiento a otros escenarios distintos a la Tierra. Los seres vivos dejan en las atmósferas de los planetas que habitan huellas (como nuestro oxígeno) que pueden delatar la vida. Climatólogos, geólogos y oceanógrafos estudian la forma en que la atmósfera, los océanos y la tierra se relacionan y el papel que juegan los seres vivos en estas interacciones, que permiten un clima que, aunque inestable, siempre ha sido apto para la vida. Los geólogos investigan también el papel de los procesos que dan lugar a los volcanes, generan la deriva de los continentes y las deformaciones de la corteza terrestre (como la formación de cordilleras), todos ellos relacionados de una u otra forma con el origen y la evolución de la atmósfera y, por lo tanto, con la vida. Los paleontólogos, a manera de geólogos extraterrestres, usan estos conocimientos para reconstruir la historia de otros cuerpos planetarios. Los paleontólogos y los biólogos estudian la historia fósil de la vida y tratan de comprender

qué tipos de ambientes planetarios permiten la aparición de vida: por ejemplo, hasta qué punto el surgimiento de la vida es compatible con los impactos de asteroides y cometas que quizás son frecuentes en las épocas iniciales de la formación de los sistemas de planetas; intentan comprender asimismo la aparición de organismos más complejos.

Los físicos abordan el estudio de los seres vivos mediante la ciencia de la complejidad, el concepto del caos y el análisis de las relaciones matemáticas que existen entre lo vivo y lo inanimado. Los matemáticos, bioquímicos y expertos en evolución realizan simulaciones informáticas de las moléculas vivas que pudieron surgir en un ambiente primitivo e intentan reproducir en el laboratorio las condiciones y los procesos que desembocaron en la aparición de vida.

Finalmente, los ingenieros integran los conocimientos y desarrollos de los científicos en instrumentos y misiones espaciales que sirven para recabar datos que reafirman nuestro conocimiento.

¿DE QUE PUNTO PARTIMOS Y CUALES SON NUESTROS OBJETIVOS?

La Astrobiología ha recogido el legado de las sondas Viking que, en 1976, aterrizaron en Marte y cautivaron la atención mundial ante la realización de una serie de experimentos para analizar el suelo marciano y encontrar alguna pista sobre posibles formas de vida microscópica. Aunque no se obtuvieron resultados positivos, las Viking constituyeron un hito en la historia de la exploración planetaria ya que fueron las únicas de entre las decenas de sondas enviadas al espacio que buscaron signos de vida fuera de la Tierra.

El propósito de la Astrobiología es desarrollar la ciencia necesaria para equipar a las sondas de las futuras misiones a Marte y otros planetas con los instrumentos y tecnología avanzada especializada en detectar otras formas de vida. La sonda Mars Polar Lander ya está en camino para aterrizar en Marte y perforar el suelo marciano en busca de agua. En un futuro próximo, nuevas sondas viajarán a Marte

para recoger muestras y rocas del planeta rojo, analizar el suelo marciano y rastrear lugares prometedores en busca de fósiles; otras se trasladarán a otros mundos, como Europa, para escudriñar posibles océanos de agua líquida tras gruesos témpanos de hielo, o a Titán, para analizar escenarios parecidos a la Tierra primitiva. El desarrollo de nuevas técnicas y sensores para proporcionar un "olfato" más poderoso a las sondas de exploración para detectar formas de vida en otros planetas es uno de los objetivos básicos de la Astrobiología.

BIBLIOGRAFÍA BASICA

LIBROS RECOMENDADOS PARA SABER MAS SOBRE ASTROBIOLOGIA.

- "Las Edades de Gaia". James Lovelock
"Climate: history, periodicity and predictability". Ed. Michael R. Rampino (1987).
"Climate System Modeling". Kevin E. Trenberth. Cambridge U. Press (1995).
"Cosmos". Carl Sagan. Ed. Planeta (1985)
"From the Atacama to Makalu: A Journey to Extreme Enviroments on Earth an Beyond.
Rodolfo T. Arrieta. Paperback (1994).
"Is it time to uproot the tree of life?. E. Pennisi. Science, Vol 284, pp. 1305-1307 (1999).
"Modelos de Vida en Condiciones límite como base para la Exobiología".
R. Amils, A. I. López-Archilla, I. Marín.- Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp)
Vol 91, pp. 87-99 (1998).
"Paleoclimate Analysis and Modeling". Ed. By Alan D. Hecht (1985).
"Prebiotic Chemistry in Space (Advance in Space Research)". Paperback (1995).
"Proyecto Cósmico". Paul Davies. Ed. Pirámide (1989).
"The Hunt of Life on Mars". Donald Goldsmith. Paperback (1998).

"Vida Extraterrestre: el Atractivo de lo Improbable". A. Brack. *Mundo Científico*, Vol 200
pp. 82-84 (1999).

LA EVOLUCION COSMICA Y LA VIDA.

Jean Heidmann

Supongamos que los próximos años se confirma la existencia de otros sistemas planetarios gracias, por ejemplo, a las observaciones del telescopio espacial Hubble, que acaba de ser puesto en órbita: quedarían por determinar, entre los planetas descubiertos, aquellos que fueran aptos para permitir el desarrollo de un tipo de vida más o menos semejante a la aparecida sobre la Tierra.

Una situación así resulta en efecto, el final de toda una cadena de acontecimientos que han marcado la evolución del cosmos. Se suele decir que la Tierra es el "planeta Océano" o el "planeta azul". Los primeros astronautas quedaron maravillados del espectáculo que ofrecía ese globo azulado. Esa sencilla y hermosa apariencia revela dos secretos de la vida que en él se ha desarrollado. En primer lugar, la existencia de grandes cantidades de agua líquida sobre su superficie. Ahora bien, la existencia de ese líquido requiere condiciones físicas extremadamente precisas, una temperatura situada entre los 0 y los 100° C a la presión atmosférica. Pero eso no es todo: es necesario que esa agua líquida haya podido mantenerse en esas condiciones durante miles de millones de años. Otros planetas del sistema solar no tuvieron esa suerte. Recordemos Marte, planeta que se supone rebosante de agua líquida hace 3.000 millones de años. Desde esta época, en la que ríos inmensos -algunos tan grandes como mil Amazonas juntos- discurrían por su superficie, Marte ha sido golpeado por una catástrofe glacial. Si se mantiene la esperanza de encontrar agua en este planeta, será bajo la forma de agua helada, en su subsuelo. Piénsese también en Venus: aquí estamos ante el gran horno. Un "efecto invernadero" global, imputable a la enorme masa de anhídrido carbónico que quedó atrapado en su atmósfera, ha calentado esta hasta hacerla alcanzar la temperatura de 450° C. Esto nos conduce al segundo de los componentes, sin el cual no habría vida posible, el carbono. El carbono, que abre las posibilidades fabulosos de la química orgánica. Las moléculas orgánicas no son, en sentido

estricto, sino moléculas basadas en la química del carbono. Su impresionante variedad es una consecuencia de las propiedades sumamente específicas de los átomos de carbono, capaces de constituir armazones o estructuras básicas enormes. Moléculas que contienen centenares, o incluso centenares de miles de átomos de carbono que pueden ensamblarse, con el añadido de innumerables hidrógenos, oxígenos, nitrógenos ... Estas estructuras pueden constituir cadenas como las de la serie de los hidrocarburos: metano, etano, propano... con 1,2,3 carbonos y 4,6,8... hidrógenos; o bien formar ciclos como el benceno, el difenilo..., o incluso, para acabar, ciclos de cadenas, cadenas ramificadas... hasta llegar a las hélices de ADN, portadoras de la herencia. Ahora bien, se requería una secuencia de acontecimientos sumamente precisa para que se estableciese la cantidad justa de carbono, para que el globo terráqueo estuviera maduro, en consecuencia, para la aventura de la vida. Pero si queremos comprender todos esos maravillosos juegos del azar, hay que recorrer nuevamente toda la historia del cosmos, tal como la vemos actualmente. La evolución particular de la Tierra sólo cobra su sentido desde esta perspectiva verdaderamente vertiginosa, a través de este fresco grandioso que los físicos han ido trazando, extrayendo lecciones de la relatividad general de Einstein, de la mecánica cuántica y de las observaciones acumuladas en los últimos treinta años por los astrofísicos. Todo comenzó por el Big Bang, que originó tras su primera fase, conocida como "inflacionaria", el volumen del Universo. Un segundo después del Big Bang, el Universo sólo era una sopa espesa de protones, neutrones, electrones y fotones, a diez millones de grados. Ninguna otra cosa podía existir. Un cuarto de hora más tarde, el 25% de los nucleones (el binomio protón-neutrón) se habían transformado en núcleos de helio por intensas reacciones termonucleares. Si el Universo no hubiera conocido esta fase de expansión, de una intensidad inimaginable, el cosmos se habría retraído, arrugado y hundido sobre sí mismo. La vida no habría tenido ninguna oportunidad de aparecer, por falta de tiempo. Trescientos mil años más tarde, una eternidad más tarde si nos retrotraemos a la escala de los acontecimientos iniciales, los electrones menos "salvajes" pudieron empezar a ser capturados por los núcleos, formándose así los primeros átomos de hidrógeno y de helio. Después, al termino de un larguísimo letargo, que se

extendió a lo largo de cien millones de años, en los que nada sucedió, pero durante los cuales el Universo se fue enfriando, estos átomos se fueron agrupando en esferas, las estrellas, en las que se encendieron con el tiempo reacciones nucleares, produciéndose calor y elementos químicos. ¿Se formaron las estrellas en principio individualmente, para reunirse más adelante en galaxias? ¿O bien, por el contrario, las estrellas se separaron de las galaxias como una especie de subunidades? Se trata de un punto que todavía se discute. No existe sobre ello ninguna certidumbre observacional o teórica. Sabemos, eso sí, que el Universo se desmereza entonces, y que aparece el carbono, pero también el oxígeno, base futura del agua, y el silicio, componente esencial de las rocas terrestres. Tras su formación por condensación, las estrellas arrastran en su movimiento jirones de materia que, al condensarse a su vez, forman los planetas. Volvamos ahora la vista hacia el único sistema planetario que conocemos actualmente, el nuestro. Conocemos bien su estructura y su historia. En cuanto a su estructura, consta de un astro masivo, el Sol, que gracias a las reacciones termonucleares de su interior dispensa grandes cantidades de energía a un cortejo de planetas que giran en torno suyo. Una decena de estos planetas son grandes, pero además hay millares de planetas muy pequeños y, más lejos, millones de cometas extendidos en una inmensa nube, junto a granos de polvo y gas. Este conjunto, que la luz atraviesa en unas diez horas y que está regido por la gravitación, flota en el espacio. Más lejos, mucho más lejos, a años-luz, brillan las estrellas.

En cuanto a su historia, hemos sabido -es un conocimiento que sólo cuanta medio siglo- que se formó hace 4.500 millones de años, cuando el Universo ya era viejo, al condensarse una nebulosa primordial de gas y polvo extendida por el espacio. Hemos comenzado a descifrar la fabulosa historia de la formación del Sol, nuestra estrella. A los 100.000 años apareció una protoestrella, extremadamente brillante, en el centro de una especie de capullo denso de gas-polvo, tras una fase muy violenta conocida como T Tauri. En ese centro activo sopla entonces el capullo en un "viento estelar" turbulento, que llega a alcanzar centenares de kilómetros por segundo, mientras que la estrella, más juiciosa de ahora en adelante, inaugura su vida nuclear. Por un efecto interno de dínamo se crea un campo magnético y en

la periferia se constituye la "fotosfera", tachonada de manchas inmensas. La magnífica corona solar emite sus primeros y suntuosos arabescos.

El gas y el polvo restantes se disponen entonces en un disco, sobre el que se van aglutinando en forma de partículas claras de hielo y oscuras de silicatos. Eso conduce a la formación de planetoides y de núcleos de cometa; en un centenar de millones de años se forman los planetas que conocemos. Ahí entre ellos, está la Tierra. Un globo fundido por la energía gravitatoria. Excesivamente caliente, demasiado poco masivo, no pudo retener los gases más ligeros, el hidrógeno y el helio; solo le quedan las rocas y los metales. Se irá enfriando; y hace 3.800 millones de años, las primeras balsas de granito se pusieron a flotar sobre su superficie, antes de constituir la corteza terrestre. Los elementos en fusión se desgasificaron, de forma parecida a los volcanes: perdieron metano, gas carbónico, nitrógeno, vapor de agua, los ingredientes de la primitiva atmósfera de la Tierra. Después, al descender aún más su temperatura, el vapor de agua se condensó y una lluvia más que diluviana, cargada de ácido sulfúrico, se abatió sobre el suelo. Actuando como una lejía arrastró el gas carbónico y lo depositó, en forma de caliza, en los fondos oceánicos.

Así se liberó de ese gas la Tierra y se libró de la catástrofe que asoló a Venus, su planeta vecino. Ni catástrofe glacial ni "efecto invernadero" devastador, ni vulcanismo delirante: situada ni demasiado cerca ni demasiado lejos de la estrella, la Tierra gozó de una temperatura ni muy alta ni muy baja, adecuada para conservar en su superficie el agua líquida de los océanos. Gracias a una larga calma, en frágil equilibrio, la vida pudo comenzar y seguir, hasta alcanzar las formas que conocemos actualmente. A la vida, creada progresivamente en el curso de miles de millones de años por organismos que desarrollaron sistemas fotosintéticos, se debe la presencia masiva del oxígeno, que singulariza su atmósfera en el sistema solar. A la presencia del oxígeno debe también este planeta océano el ser también el planeta azul. ¿Cómo apareció la vida en la Tierra? Todavía es un enigma. Pero es un hecho que rocas de 3.500 millones de años contienen moléculas orgánicas fósiles, lo que sugiere la aparición rápida de una actividad biótica floreciente. ¿Han podido darse condiciones análogas, fruto de una historia semejante en algún otro lugar, en otros sistemas planetarios?

Una vez mas, nada nos impide pensarlo: Y cuando uno piensa en el inmenso número de sistemas posibles, no me cansaré de repetirlo, sucede precisamente lo contrario: lo razonable es suponer que sí. En cualquier caso, un hecho capital contribuye aun mas a acreditar esa idea: el reciente descubrimiento, absolutamente impresionante, de moléculas orgánicas en el Universo.