

La biorretroalimentación, sus orígenes y sus aplicaciones

Angel R. Zapata Ferrer*
Oscar Danglada Alarcón
Carlos Moncada Jiménez

Summary

In this paper we introduce the readers to the biofeedback, using some fundamentals concepts that has been used in precedents subjects for the actual development. Beside, we explain some concepts that permits to be inside of this technic, that at the present, had demonstrated his efficacy in the treatment of somatic ills, rehabilitation, etc.

Today, the biofeedback equipment which is commercially available in our countries, only processes less than four of those parameters and is generally found in the form of expensive imported sets. The need for a locally developed and constructed hardware system which could operate both inter — and independently with several variables and be suitable either to research of clinical practice purposes became clear.

In this paper we also describe brevely, the biofeedback designed to meet this need which comprises interchangeable electronic modules which measure six distinct variables: skin temperature and galvanic response, heartrate, respiratory rate, electromiographic (EMG) and electroencephalographic (EEG) activities.

The system consist of a general circuit which interconnects sensors, the six modules and displays. Outputs are also provided for future interfaces and computer based analysis.

Resumen

En este artículo introducimos al lector al concepto de biorretroalimentación, presentando algunos aspectos fundamentales que sirvieron de base, para lograr su desarrollo actual. También explicaremos con mayor énfasis esta técnica, de la cual actualmente estamos demostrando su eficacia en el tratamiento de enfermedades psicosomáticas, rehabilitación muscular, entre otras.

Actualmente el equipo de retroalimentación comercialmente obtenido en nuestro país es importado y procesa menos de cuatro parámetros simultáneamente y se consigue a un precio alto. Se hace imprescindible la necesidad de un desarrollo de equipos a nivel nacional, de tal modo que puedan operar independientemente o interdependientemente con diferentes variables y resultando conveniente para la investigación o la práctica clínica. En este trabajo también exponemos de un modo general el equipo que hemos diseñado y que estamos implementando para que se utilice mediante el empleo de una computadora.

El sistema consiste de un circuito general que interconecta a los sensores y los electrodos, y a los seis módulos con el desplegado de video. Tiene también interconexión para usarse con una computadora.

Introducción

Antes de hablar de su origen, es conveniente precisar su significado y también justificar algunos vocablos usados en el idioma inglés.

Biofeedback es un término que significa vida, del prefijo griego *bio* y la palabra compuesta inglesa *feed-back*, que en nuestro idioma ha adoptado el nombre de retroalimentación.

El concepto de retroalimentación es utilizado en varias disciplinas científicas tales como la física, la mecánica y en la electrónica, también es utilizado para la biología a través de la fisiología.

Para dejar bien aclarado el término *biofeedback* en el contexto de nuestro idioma, podemos numerar como traducciones de este término los siguientes: "biorretroatracción", "bioinformación", "biorreacción", "biorretroinformación", "retroalimentación biológica", etc.

El concepto de sistema

Se le da el nombre de sistema al conjunto de elementos muy diversos que se encuentran relacionados entre sí y que actúan en forma recíproca. Todos los sistemas son considerados subsistemas de uno mayor a la vez. Anliken señala que existen de manera muy general dos clases de sistemas: los cerrados y los abiertos según los que influyen sobre el medio, y a la vez son influenciados por él, en interacciones activas y constantes.

Beer dice que los sistemas se dividen en simples, complejos e hipercomplejos, pudiendo ser a la vez determinados o probabilísticos. Los sistemas determinados tienen conexiones mutuas perfectamente definidas, de tal forma que siempre se puedan prever los estados posteriores del sistema en términos de sus estados anteriores. Los probabilísticos en cambio no permiten formular tales predicciones, ya que el comportamiento de tales sistemas solamente puede ser previsto con esta probabilidad, la que será mayor a medida que conozcan mejor los mecanismos de acción recíproca de los elementos. Una máquina de coser es un sistema determinado, en cuanto se gira la manivela, la aguja se eleva y desciende, siempre igual. En cambio el perro se comporta en la mayoría de los casos como un sistema probabilístico, si se le enseña

* Jefe del Laboratorio de Bioingeniería de la División de Investigaciones en Neurociencias del Instituto Mexicano de Psiquiatría, Calz. México-Xochimilco No. 101, Col. San Lorenzo Huipulco, 14370 México, D. F.

un hueso, lo más probable es que se acerque, sin embargo no queda excluida la posibilidad de que en lugar de acercarse, se aleje intempestivamente. Se hace necesario indicar para una interpretación posterior, que todos los sistemas biológicos son de tipo probabilístico.

De acuerdo con Von Bertalanffy (1976) los sistemas se clasifican según la especie a la que pertenecen sus elementos, al número de clases que tienen dichos elementos, y a la forma en que se van a relacionar. De tal manera que las características de cada elemento puedan ser descritas como sumatorias al formar un conjunto complejo que se pierde una vez que los separamos del sistema. Vemos que tales propiedades son dependientes de las interacciones de los elementos interactuantes, es más que la simple suma de sus partes o elementos.

Los sistemas se pueden dividir en aislados, de modo absoluto o de modo relativo. Los primeros no reciben influencias del exterior y no ejercen influencias sobre éste (el universo). En cambio, los relativamente aislados sí reciben influencias del exterior (del resto del universo) pero sólo a través de vías específicas llamadas entradas (estímulos). Los relativamente aislados pueden ejercer influencias sobre sí mismos y lo hacen por medio de ciertas vías específicas de la salida que se convierte en entrada (canal de retroalimentación).

Los procesos de control y retroalimentación

Desde el punto de vista del proceso de control, la estructura de un sistema va a estar constituida por un conjunto de informaciones, que se irán organizando en forma jerárquica, a través de procesos de control, para de esta manera alcanzar el equilibrio dinámico en las interacciones con el medio ambiente circulante. Para que los procesos de control puedan tener una mayor agudeza y precisión, el sistema debe emplear un canal, del cual el controlador o sea el elemento del sistema que ejerce el control, reciba información acerca de qué tan alejado se encuentre el elemento que está siendo controlado de la posición deseada, lo que vendría a ser un canal de retroalimentación, puesto que el controlador al recibir más información puede elaborar nueva información que llega en forma de instrucciones al elemento del sistema que está siendo controlado.

La retroalimentación

La retroalimentación es el principio en el cual se basan todos los sistemas autorregulados, no solamente las máquinas y los circuitos eléctricos sino también la mayor parte de los fenómenos regulares que rigen y modifican la actividad del hombre, e inclusive la apariencia del mundo en que vivimos.

A través de los datos y fenómenos que hemos señalado anteriormente, así como de otros que apuntaremos después, vemos que el desarrollo de la electrónica y de la cibernética, se ha logrado gracias a la aceptación y al desarrollo del concepto de la retroalimentación (*feedback*), estimulada en gran medida por las necesidades surgidas de la segunda guerra mundial.

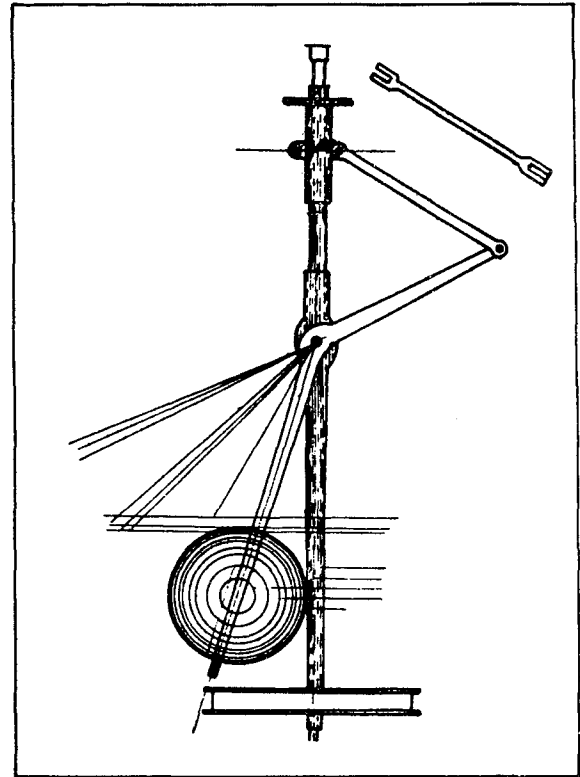


FIGURA 1. Dibujo que representa el regulador de velocidad mecánico inventado por J. Watt en 1788. Para evitar la oscilación del sistema, se le añadieron topes, para que no se unieran o separaran las bolas metálicas que ejercían la regulación.

Para iniciar nuestra explicación sobre el proceso de retroalimentación, conviene aclarar que en 1788 James Watt había inventado y aplicado con bastante éxito, un regulador de velocidad mecánico para las máquinas de vapor y que desde mucho antes, los molinos de viento para la extracción del agua, tan comunes en Yucatán, utilizaban un timón o aspa posterior que los hacía girar automáticamente hacia la posición óptima con respecto al aire prevaleciente. Estos dos ejemplos representan una forma sencilla de comprender dos sistemas de regulación típicos.

En los últimos tiempos mejoró el atraso que venía sufriendo esta técnica.

A partir de unos años para acá, con el avance de las ciencias aplicadas, aparecieron necesidades cada vez más imperiosas en todo lo tocante al perfeccionamiento de los procesos de fabricación.

También de este desarrollo, se derivó un clima favorable para permitir que surgiera la técnica de biorretroalimentación (*biofeedback*), lo que se logró por el hecho de que el descubrimiento de este fenómeno resultara prácticamente en forma simultánea por diferentes autores y posteriormente, aceptara datos de la comunidad científica y del ámbito de la clínica aplicada.

Para llegar a una explicación sobre la técnica de biorretroalimentación (*biofeedback*) debemos profundizar un poco más.

Según nos señalan Cofer y Appley, los sistemas de control automático pueden trabajar bajo los siguientes regímenes: primero, el de comparación de las desviaciones, siendo aquel en el cual el sistema de continuo determina la desconformidad entre el estado establecido y el que se forma como resultado de uno u otro efecto. A la desviación del estado establecido, se le da el nombre de error en el sistema de regulación, esto es, el propio error de la señal (información) que actúa sobre el elemento de control.

Otro tipo de régimen de trabajo sería el de pesquiza, que es aquel cuya regulación está programada.

Al principio, la automatización se nutrió de cuantas ramas de la ciencia pudo, pero cosa curiosa, sin tomar en cuenta que los principios que eran válidos para una de ellas eran igualmente válidos, estrictamente, para todas las demás. Esto hizo que el proceso fuera lento en los primeros tiempos, pero después, el avance de esta técnica fue tan impetuoso que, hoy día, es prácticamente imposible hallar algún campo donde no se aplique esta maravillosa ley, cuyos conceptos son bien claros.

Por ejemplo, los sistemas de autorregulación o servomecanismos, que son los que controlan las propias ejecuciones, utilizando para esto, parte de la energía recibida o ganada para controlar la salida del sistema. Al aumentar su propio efecto o acción en progreso se habla de una retroalimentación positiva; mientras que el inhibir tal acción, se considera como retroalimentación negativa.

En base a estas ideas podemos hacernos las siguientes preguntas: ¿por qué se produce la crisis económica?, ¿por qué el hombre puede caminar erecto?, ¿por qué abundan los conejos en una región y otras veces no?

Básicamente, la teoría del control no tiene fin para contestar todas las preguntas de esta nueva ciencia que es bastante simple en sus fundamentos teóricos.

Modelos del sistema de control

Al describir un sistema con retroalimentación, como un circuito cerrado, se está utilizando el hecho de que sus componentes sean suficientemente invariables en el tiempo que según Anliken (1978), se pueden di-

sociar las actividades de sus propiedades estáticas y concentrar la atención en la detección del orden de las propiedades que varían con el tiempo.

En un sistema de control con retroalimentación negativa, la información de la salida, o sea la respuesta es reintroducida y sustraída de la posición demandada por el controlador. La diferencia o error es lo que hace actuar al sistema. Así, de este modo, podemos observar que el efecto general de corrección de error es típico de la retroalimentación negativa, es decir, que este tipo de sistemas ejercen su función controladora para mantener la salida, tan cercana como sea posible, al valor deseado por el controlador. Como podemos ver, mientras que en los canales de retroalimentación positiva aumenta la reactividad del sistema, reduciendo su efecto de control, en los canales con retroalimentación negativa baja su reactividad y aumenta el control del sistema.

Terminología de los sistemas de control

En la figura 2, el bloque representado por un círculo en dos rayas cruzadas simboliza el punto de suma, que utiliza signos positivos o negativos representados por las flechas que entran al círculo. La señal de entrada (e_i), es la variable independiente del sistema y se usa para controlar la salida de éste.

La señal de salida (e_o) es la variable dependiente del sistema y la que se controla. La señal de retroalimentación (e_r) se compara con la señal de entrada. La señal de error (e_e), representa la diferencia entre las señales de entrada y de retroalimentación ($e_i - e_r$). El controlador es el dispositivo que convierte la señal de error en una forma adecuada para controlar al ejecutor con precisión. En realidad, el controlador puede tener una función de transferencia que modifica la señal de error para mejorar la estabilidad y exactitud u obtener otras características deseables. El elemento de retroalimentación se usa para cambiar la forma de la señal de salida y lograr que ésta se pueda utilizar satisfactoriamente (fig. 2).

Para aclarar un poco mejor los principios que rigen los sistemas de control, veamos el siguiente ejemplo.

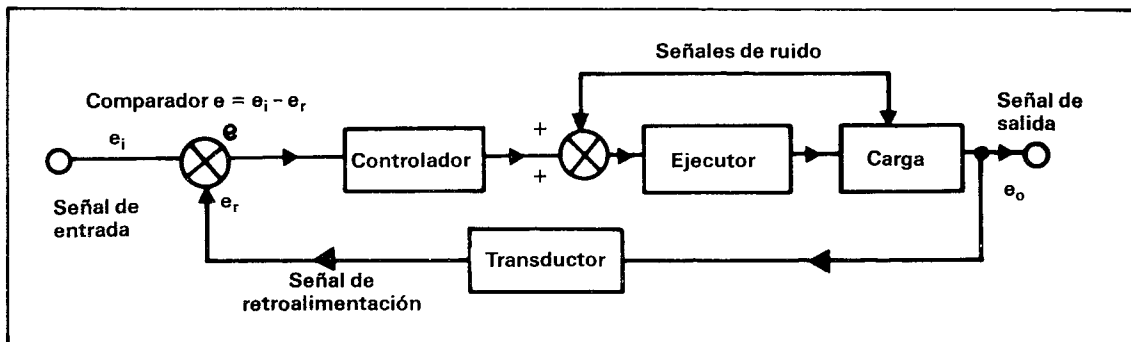


FIGURA 2. Sistema de control con retroalimentación.

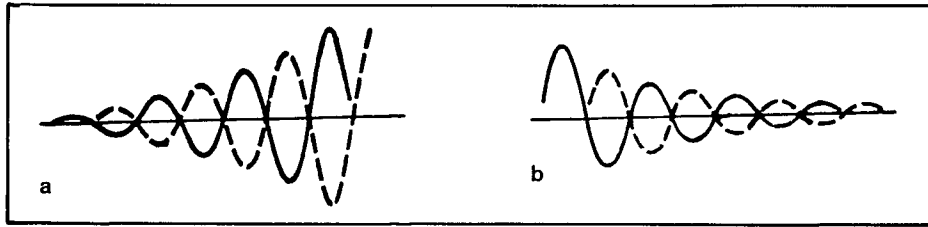


FIGURA 3. (a) Si la retroalimentación (línea discontinua) es mayor que el error y opuesta a éste (línea continua): estas condiciones hacen al sistema oscilatorio. (b) En cambio, cuando la retroalimentación de un sistema es menor que el error (línea discontinua), tiende a amortiguar los disturbios del sistema.

Sistemas de control usando una señal de error

Para visualizar fácilmente cómo se ejecuta este método de control, podemos planear la manera de controlar la temperatura, por ejemplo, en la cama de un paciente.

En este ejemplo usamos un control térmico denominado "elemento bimetalico". Este típicamente está compuesto de una tira de hierro unida por otra tira de latón. A medida que aumenta la temperatura, el latón se expande más que el hierro y la cinta se dobla hacia arriba. Si se dobla el latón por efecto de la disminución de la temperatura, hace contacto eléctrico y enciende el cobertor térmico.

Al utilizar este sistema de control de temperatura, se deben tener presentes dos parámetros: uno, que se llama *banda muerta* y el otro tiempo de respuesta. La *banda muerta* especifica cuándo debe cambiar la temperatura, antes de que actúe el controlador. En otras palabras, es una medida de la aproximación con que puede controlarse la temperatura con esta unidad.

Suponemos que el paciente bajo el cobertor térmico tiene $36^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y después utilizando un termómetro, verificamos la temperatura del cobertor antes de que el sistema de control apague el calentador.

La amplitud de la banda muestra que se requiere para este caso de 1°C ; es decir que la temperatura no debe variar más que 0.5°C arriba o abajo del valor fijado. Esta es la señal de error. Los cierres bimetalicos son confiables, pero relativamente lentos, por lo que cada vez más equipos para hospitales utilizan los termostatos para controlar la temperatura.

Dos tipos de retroalimentación usuales

Vamos a considerar que en un sistema retroalimentado tengamos una magnitud dentro del lazo que esté oscilando. Lo anterior trae como consecuencia que se refleje en la entrada y vemos por qué una oscilación puede mantenerse autosostenida, es decir, si a la frecuencia considerada, la magnitud de la retroalimentación es igual a la de la oscilación original, se reproducirá una oscilación continua e invariable que se sostiene todo el tiempo que dure la perturbación. Algunos autores tratan de explicar el ataque convulsivo epiléptico como algo semejante a esto (fig. 3).

Modelos del sistema de control

Volviendo al ejemplo del control de temperatura vemos que si conectamos el termostato, de tal manera que a medida que su escala baja el calefactor aumenta artificialmente la temperatura del cobertor térmico, cuando la escala del termómetro sube, disminuye progresivamente la cantidad de calor.

Naturalmente la relación causa-efecto es ahora diferente, pues la temperatura del cobertor térmico depende de la posición de la escala del termostato y ésta de la temperatura del cobertor térmico.

En este caso hay una interrelación entre la causa y el efecto. En términos más claros, las dos variables son simultáneamente causa y efecto, una de la otra. En este caso tenemos un sistema de control del lazo cerrado (fig. 4).

Una de las desventajas del control de lazo abierto es que no modifica al sistema con la señal de error.

El uso de los sistemas de control de lazo cerrado permite que se lleve a cabo el control mediante la retroalimentación de la señal de salida, o que se corrija la alteración mediante la señal de error (fig. 2).

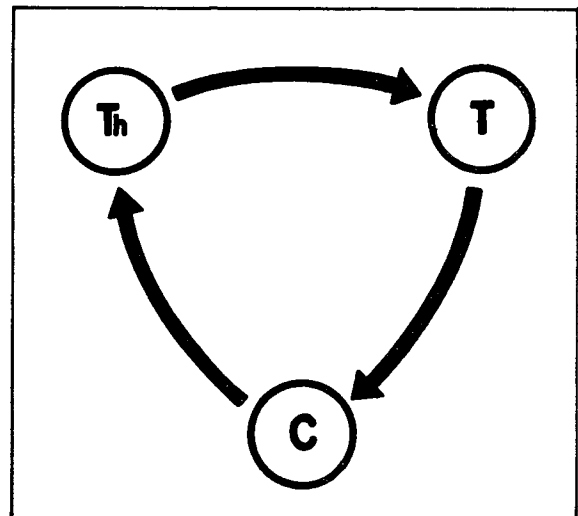


FIGURA 4. Control de lazo cerrado que permite comprender fácilmente cómo se regula la temperatura de un cobertor térmico mediante un termostato representado por T. Este es el sistema típico retroalimentado.

La información que se aplica al transductor se transforma en la señal de retroalimentación. Esta es proporcional a la salida del sistema total, e indica el medio con que el sistema sigue las instrucciones del controlador de entrada.

Si la señal de entrada se retrasa (la de retroalimentación negativa), obtendríamos una señal de error proporcional a la señal de salida, dentro de los límites de control establecido.

Origen de la retroalimentación biológica

En un ser vivo hay innumerables procesos químicos y físicos "ordenados" de tal manera que permiten al sistema vivo persistir, crecer, desarrollarse, reproducirse, etc.

Para explicar lo anterior necesitamos un modelo, una construcción conceptual. Un modelo así se ha utilizado desde los comienzos de la ciencia moderna. En el modelo de la máquina viva, Borelli, Harvey y otros de los llamados iatrofísicos examinaron las funciones de los músculos del corazón, etc., mediante modelos mecánicos de palancas, bombas y así por el estilo. A pesar de su éxito, el modelo de mecanismo como una máquina tiene sus dificultades y sus limitaciones.

Algunas características de los sistemas abiertos

Exponemos esto diciendo que los sistemas vivos son básicamente sistemas abiertos.

Un sistema abierto es definido como sistema que intercambia materia con el medio circundante que exhibe importación y exportación, constitución y degradación de sus componentes materiales.

Hasta una época comparativamente reciente, la fisiocoquímica, en la cinética y la termodinámica, estaba restringida a sistemas cerrados; la teoría de los sistemas abiertos es relativamente nueva y tiene muchos problemas pendientes.

En sistemas abiertos pueden darse fenómenos de exceso y de arranque en falso en los que el sistema empieza por proceder en dirección opuesta a la que a fin de cuentas conducirá al estado uniforme. A la inversa, hay fenómenos de exceso y arranque en falso como los que tan a menudo se encuentran en fisiología, con señales que indican que estamos ante procesos que se dan en sistemas abiertos.

Desde el punto de vista de la termodinámica, los sistemas abiertos consiguen mantenerse en un estado de alta improbabilidad estadística en orden y en organización.

Aspectos que se relacionan con fenómenos biológicos

Mucho antes de que el ser humano existiera, la evolución contrastó la necesidad de dispositivos autooscilatorios y los incorporó en el mecanismo corporal del mundo animal.

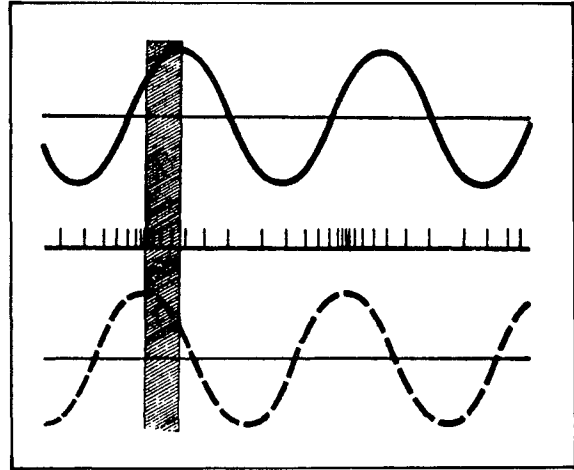


FIGURA 5. En el sistema nervioso, la retroalimentación prevé una característica desusada: la anticipación de la señal de entrada con respecto a la de salida. La línea continua superior representa la señal de entrada. En el centro de esta figura se presenta el número de partes originadas en el sistema nervioso en un tiempo dado. La curva discontinua inferior representa la señal de salida y el rectángulo indica el adelanto de la entrada con respecto a la salida.

Puesto que este tipo de señales se observan durante el registro de la actividad eléctrica de la fibra nerviosa, es válido suponer (en realidad así ocurre) que el estímulo producirá pulsos a una rapidez mayor al incrementarse (fig. 5).

Un hecho realmente curioso es que la señal de salida máxima ocurre antes que el valor máximo del estímulo. Esto es justamente el tipo de efecto anticipado (adelanto) que se requiere para controles de alta precisión.

Los fisiólogos creen que la respuesta anticipada ha evolucionado en el sistema nervioso, para evitar oscilaciones, aunque este proceso no ha sido aún completamente comprendido.

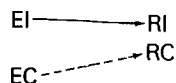
Desarrollo de la biorretroalimentación

En los primeros trabajos publicados al inicio de los años treinta, Skinner distinguió entre respuestas operantes y respondientes en la conducta desplegada por los organismos.

La diferencia entre unas y otras estriba en que las respondientes son consecuencia directa e inevitable de un estímulo que las precede inmediatamente, y que por ello llamó respuestas provocadas, a diferencia de las operantes, cuya ocurrencia no está necesariamente asociada en algún estímulo en particular y que por ello denominó respuestas emitidas.

La conducta respondiente fue objeto central de las investigaciones de Pavlov. Este investigador demostró experimentalmente el proceso de adquisiciones de nuevas conductas, con el procedimiento que llamó reflejo condicionado. Para descubrir el paradigma de

este condicionamiento de los reflejos, utilizaremos los siguientes términos:



El primer estímulo denominado incondicionado (EI), provoca una respuesta "natural" o incondicionada (RI), al mismo instante que se presenta acompañado de otro estímulo neutro con respecto a RI.

Cuando se efectúan varios ensayos de presentación simultánea, el segundo estímulo, llamado estímulo condicionado (EC), adquiere la capacidad de provocar una respuesta de amplitud y latencia, bastante semejante a la RI original, cuando se presenta ausencia del EI. Esta nueva respuesta se denomina respuesta condicionada (RC).

Este condicionamiento, que se conoce como condicionamiento clásico, ha permitido condicionar una gran variedad de respuestas autónomas, que irán desde el efecto de salivación en el perro, con cierta anticipación, hasta las reacciones vasomotoras y la respuesta galvánica de la piel (RGP).

Skinner en 1938 reconoce la utilidad del paradigma de reflejo condicionado para explicar una parte de la conducta adquirida, pero considera que otra gran porción de la conducta de los organismos no puede ser explicada en el modelo pavloviano. La conducta operante no está controlada por los estímulos que la antecedan, sino por los estímulos que produce su operación en el ambiente, cuando se ve seguida de un estímulo reforzador. Skinner opina que la conducta operante se mantiene, se modula y se extingue, por las consecuencias que produce el ambiente.

Varios autores han cuestionado lo que establece Skinner entre condicionamiento clásico y operante, y han planteado que quizá no se trata de procesos en sí diferentes, sino más bien de distintos procedimientos, es decir, de diferentes formas de conceptualizar el mismo fenómeno (Alcaráz, 1979).

Exploración en animales de los principios de condicionamiento operante en las respuestas visuales

Debido a la tan arraigada creencia de que el condicionamiento instrumental sólo servía para controlar las respuestas del sistema músculo-esquelético y las respuestas del sistema nervioso autónomo sólo podían ser modificadas a través del condicionamiento clásico, se pensaba que los dos tipos de condicionamiento eran fenómenos de aprendizaje diferentes; más que condiciones diferentes del mismo fenómeno, como postuló Neal Miller (1969), al decir que existe solamente una clase de aprendizaje, bajo distintas condiciones, lo que supone lógicamente la posibilidad de condicionar instrumentalmente, cualquier respuesta visceral que pueda controlarse por medio del condicionamiento clásico.

Para poder efectuar estos trabajos se requirió que se evitaran las interferencias provocadas por el sistema

músculo-esquelético, sobre el manejo eficaz de las respuestas viscerales (tal como los latidos del corazón). Esto se efectuó utilizando una inyección de curare, una droga cuyo efecto es bloquear selectivamente las placas neuromusculares, sin eliminar el control neurológico de los latidos del corazón (respuesta visceral), pero como los músculos abdominales quedan paralizados, la respiración del sujeto debe ser mantenida por medio de respiración artificial.

Con la intención de probar si era posible condicionar la frecuencia cardíaca a través de la evitación y el escape de un choque eléctrico, aplicado a la piel de la cola de estas ratas curarizadas, Miller y Dicara (en 1966) tomaron 12 ratas a las que dividieron en dos grupos, uno para que aumentara y el otro para que disminuyera su tasa cardíaca. Cada grupo se dividió en dos, fue generada una señal (señal de choque) con un tono y como señal de escape una luz, mientras que la otra mitad recibió la luz como indicación del choque y el tono como señal de escape. La señal de choque se les presentaba a todos los sujetos 10 segundos antes de su administración, el cual podía evitar la rata cambiando su frecuencia cardíaca en la dirección requerida, de no hacerlo en esta forma, se le aplicaba un choque que perduraba hasta que el sujeto daba la respuesta criterio; este criterio de respuesta se fue aumentando gradualmente. Los resultados obtenidos son bastante significativos ya que los 12 sujetos mostraron cambios en su frecuencia cardíaca hacia las direcciones deseadas, además del aprendizaje de las señales en forma discriminativa.

Los inicios de la biorretroalimentación

Vimos anteriormente los trabajos pioneros de autores cuyos hechos, no relacionados directamente con la biorretroalimentación, permitieron crear las bases para el desarrollo de esta técnica.

Se pueden mencionar a muchos otros autores, referidos al proceso de acelerar o lentificar la tasa cardíaca, King (1920), Oggen y Schock (1939) o el de Mc Clure (1959).

En otro aspecto importante podemos hablar del experimento de Blair en 1901, que realizó para lograr el aprendizaje del control voluntario de la actividad neuromuscular, al aplicarle al sujeto información (*feedback*) sobre esta actividad.

En sus trabajos de investigación enseñó a los sujetos a activar voluntariamente ciertos músculos de la oreja (en este caso el músculo auricular posterior), logrando así, ciertos movimientos de la misma, aun cuando este músculo está fuera del control voluntario en casi todos nosotros.

Para este experimento de biorretroalimentación (o retroalimentación en este caso), utilizó un sistema de aplicación mecánico, con lo cual se puede decir que anticipó muchas de las cuestiones que utilizan en la biorretroalimentación actualmente. Vemos que este procedimiento denominado biorretroalimentación, no se limita exclusivamente a la modificación de respuestas autónomas, sino que también ha servido para modificar respuestas esqueléticas que de otra forma

serán imperceptibles para quien las emite. Como por ejemplo en la disminución paulatina del tono de músculos estriados, hasta lograr estados de profunda relajación (Budzynky, Stoyva y Adler, 1970).

Así, para la aplicación y desarrollo de la biorretroalimentación, se puede distinguir una serie de fases sucesivas, entre las que cabrá postular una primera fase, que puede ser vista como consecuencia de todo el procedimiento efectuado por los anteriores, es decir, autores que empiezan a utilizar con una cierta sistematización los principios de la biorretroalimentación aplicados a diferentes campos, aunque no tuvieron un reconocimiento definido como los iniciadores de una nueva disciplina.

Para relacionar sólo algunas de las muchas aplicaciones iniciales de esta técnica, podemos señalar los trabajos de Jacobson (1938, 1940) sobre la relajación progresiva, llevados a cabo por este autor en 1955, acerca de la posibilidad del control voluntario de la actividad mioeléctrica, facilitando al sujeto información (*feedback*) sobre esta actividad, utilizándose electrodos situados en el músculo cuya relajación o control se deseaba lograr.

Importancia del fenómeno

El descubrimiento experimental de la biorretroalimentación y del control operante de las funciones neurovegetativas, tanto en animales como en humanos, permitió que al principio no se pusieran de acuerdo los teóricos e investigadores en lo que se refiere a la interpretación del fenómeno.

Pero este procedimiento permitió que al inicio de los años sesenta, la investigación explorara intensamente este campo desde muy diferentes puntos de vista. Como ejemplos se puede relacionar (entre otros) el estudio de Wallace (1970) sobre los efectos fisiológicos de la meditación trascendental, el de Engston, London y Hart (1970) sobre aumento de la susceptibilidad hipnótica mediante entrenamiento electroencefalográfico de ondas alfa; y el de Shapiro Tursky y Schwartz (1970) sobre el control operante de la presión sanguínea en el ser humano.

Metodología

Tomando en cuenta que muchas de las actividades del organismo se realizan a partir de la información que tiene éste antes y durante el desarrollo de una función, al capacitar al paciente en su control o regulación se le debe informar con respecto a su estado orgánico actual y a los cambios que ocurrirán durante el procedimiento de la biorretroalimentación.

Cuando por alguna causa los mecanismos para obtener e identificar dicha información se encuentran alterados, la función se deteriora.

Si analizamos el proceso de la biorretroalimentación como un sistema de control, éste cerraría el lazo de retroalimentación permitiendo así, el control de alguna variable. La biorretroalimentación se basa en la sustitución del receptor específico que se ha dañado, alte-

rado o aumentado (uso muscular, baroreceptor, etcétera), y en el cambio de la información a otro sentido; por ejemplo, a la vista, al oído o al tacto, por sustitución sensorial. Este tipo de investigación es importante para la psicología clínica, por las posibles aplicaciones terapéuticas de esta técnica, especialmente para el tratamiento de los trastornos psicosomáticos. Como es sabido, varios autores plantearon que estos padecimientos se deben principalmente a estados de tensión que se derivan de la exposición prolongada a situaciones de estrés que obligan al organismo a modificar su equilibrio interno. También se ha aplicado la retroalimentación biológica en el tratamiento del dolor crónico.

Gannon y Sternback (1971) fueron los primeros en probar esta técnica con un paciente que presentaba frecuentes e intensas cefaleas. Este sujeto recibió aproximadamente 70 sesiones de entrenamiento y gradualmente aprendió a producir un alto nivel de ondas alfa en su electroencefalograma (EEG) con los ojos abiertos.

Los resultados fueron prometedores ya que el paciente se sentía mejor, disminuyeron las crisis de cefaleas, pero no se logró controlarlas con esta técnica. Sin embargo, Melzack y Perry, utilizando la biorretroalimentación, la hipnosis y la combinación de estas dos, redujo significativamente el dolor.

Las técnicas de biorretroalimentación se han utilizado en el tratamiento de casos de cefalea tensional, migraña, hipertensión arterial esencial, asma, arritmia cardíaca, e inclusive en la rehabilitación de pacientes con lesiones neurológicas, con epilepsia y hemiplejía.

Otras aplicaciones de importancia, donde se han empleado dichas técnicas como método auxiliar, lo constituye el tratamiento de la ansiedad, fobias y otros trastornos conductuales, tales como el insomnio.

Diseño del equipo

El equipo que diseñamos fue realizado tomando en cuenta la necesidad de trabajar con algunas variables simultáneamente, por lo cual, tal como aparece en la figura, consta de varios módulos. También contiene en su interior una grabadora de *cassette* convertida a F.M. para poder grabar las señales de EEG y las electromiográficas (EMG).

Para finalizar, daremos detalles del equipo diseñado y construido en nuestro país. Tiene cuatro módulos:

1. El primero, para dar biorretroalimentación utilizando el reflejo galvánico de la piel. Este modelo cuenta con un sistema que permite la medición de la temperatura corporal, pudiendo dar retroalimentación biológica empleando este parámetro.
2. El siguiente módulo cuenta con un circuito para medir la tasa cardíaca y dar biorretroalimentación, usando también este parámetro. Por otro lado, se puede dar retroalimentación mediante el proceso respiratorio, ya que cuenta con un circuito diseñado para este fin.
3. El tercer módulo se puede aplicar para dar biorretroalimentación en electromiografía. Cuenta con un

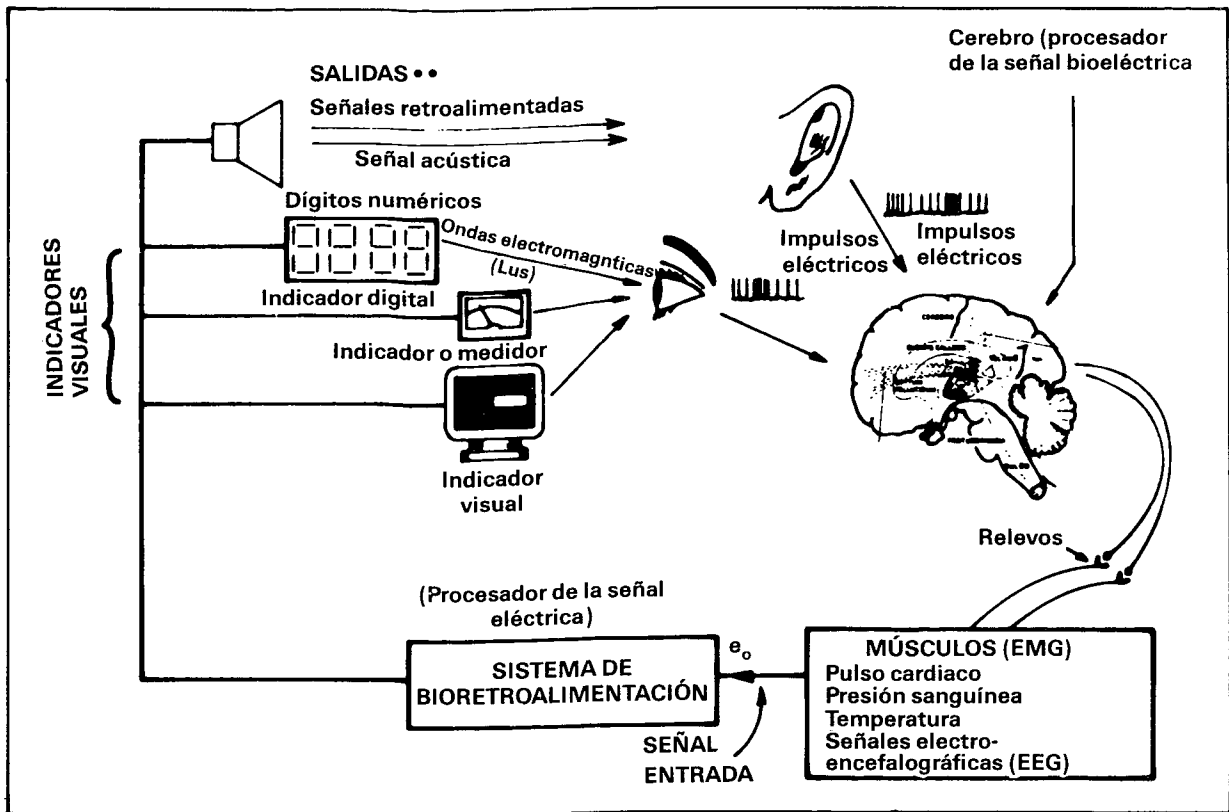


FIGURA 6. Modelo esquemático del método utilizado para afectar la biorretroalimentación.

canal de grabación para aplicar la información grabada a una computadora y procesar las señales. El integrador permite promediar la información durante intervalos de tiempos útiles.

4. El cuarto módulo es para dar biorretroalimentación

mediante el registro del EEG, es decir, la señal electroencefalográfica. Se utiliza para procesos de relajación, utilizando la aparición de ondas alfa, las cuales pueden comprobarse usando el sistema de video diseñado para este fin (fig. 7). Se utiliza un

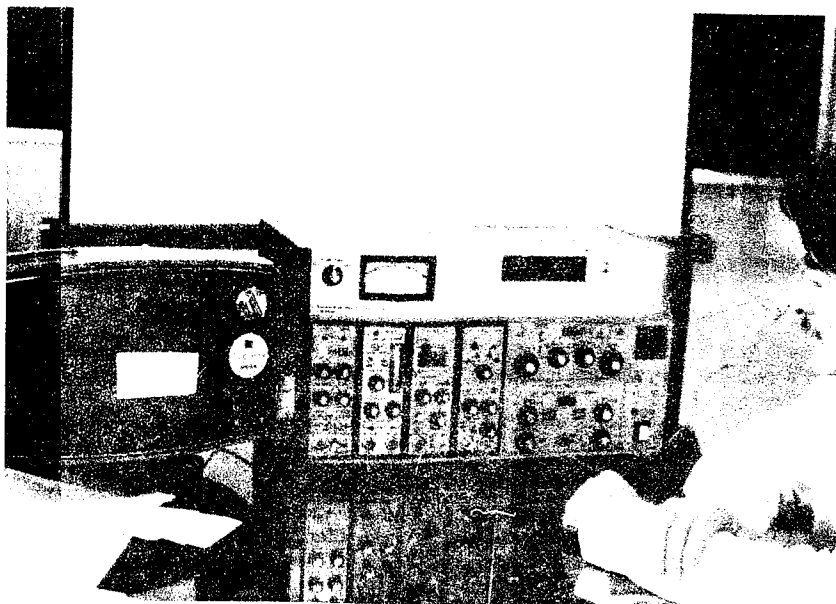


FIGURA 7. Fotografía del equipo.

monitor que permite visualizar la aparición de estas ondas, mediante una banda que se incrementa de tamaño, al registrarse estas ondas alfa.

También actualmente se utilizan las ondas alfa para facilitar el aprendizaje.

Otra aplicación importante es el condicionamiento de ritmos cerebrales.

El EEG representa una condición o estado de la corteza cerebral y estructuras subcorticales; lugares donde se integran y llevan a cabo las funciones superiores. Se ha utilizado por los neurólogos como método de diagnóstico (problemas del sistema nervioso central). Para la investigación del sueño ha sido una técnica muy útil, pues permite reconocer las diferentes etapas que se presentan periódicamente durante la noche y evaluar las características del mismo.

La corteza cerebral es una estructura formada por varios millones de neuronas (Fernández-Guardiola, 1983), las cuales se comunican por medio de señales eléctricas que se dan por intercambios en la membrana celular y por neurotransmisores específicos. El EEG no representa la descarga de una neurona o neuronas específicamente, sino el promedio de la suma de descargas celulares en un registro. Algunas veces hay descargas relativamente sincrónicas que proporcionan un registro de patrones regulares en el EEG.

Actualmente se conocen cuatro ritmos fundamentales o patrones en el EEG, que son definidos de acuerdo a sus límites de frecuencias establecidos, morfología, localización, además de asociarse con algún estado de conciencia o de atención, estos ritmos son:

Nombre Frecuencia (Hz) Asociado comúnmente a:

Alfa	8 a 13	Relajación, ojos cerrados
Beta	14 a 30	Alerta mental (pensamiento)
Theta	4 a 7	Alg. etapas del sueño II y III
Delta	0.5 a 3	Sueño profundo

Nuestro método (fig. 7) tiene, para el registro y retroalimentación del EEG, tres filtros: el alfa, el theta y

el de señales somatosensoriales (de 12-14 Hz), para aplicaciones del EEG en pacientes con epilepsia.

En trabajos sobre el condicionamiento operante de los ritmos corticales en gatos, se obtuvieron las siguientes observaciones: se encontró una relación directa entre la ausencia conductual de movimientos y la presentación de descargas especiales a niveles temporo-parietales y cercanas al vértex, al cual se le denominó ritmo sensoriomotriz, mismo que se ha registrado tanto en vigilia como durante el sueño (Stermán y Wirwicka, 1967; Wirwicka y Stermán, 1968).

En un trabajo piloto, Stermán y Friar (1972) entrenaron a una paciente que desde 8 años atrás, sufría de ataques del tipo generalizado tónico-clónicos no controlados por terapia farmacológica, quien recibió 31 sesiones a la semana, de 30 minutos cada una, en donde se le daba retroalimentación auditiva-visual para que produjera trenes de actividad de bajo voltaje de 11 a 13 Hz, durante 0.5 segundos y registrada en la región central de la cabeza. Con medicación farmacológica continua durante el entrenamiento, después de los primeros meses, la paciente demostró una abrupta reducción de la actividad epileptiforme.

Para finalizar, agradecemos a los autores nombrados en las referencias, y muy especialmente a los psicólogos Jaime Santín, Fernando Lezama y José Méndez Venegas, quienes trabajaron con nosotros para lograr el desarrollo del equipo que presentamos en la figura 7, aportando consejos sobre cómo serían las aplicaciones. También nos orientó a través de sus tesis, el licenciado en Psicología Francisco Javier Torres-Torija Castillo, quien se ha dedicado al entrenamiento en relajación. No sería justo dejar de mencionar el apoyo brindado, para la realización de este proyecto, del Instituto Mexicano de Psiquiatría a través de su director el doctor Ramón de la Fuente y de nuestro Jefe de la División de Investigaciones en Neurociencias, doctor Augusto Fernández-Guardiola. En el armado de los circuitos colaboró el ingeniero Oscar Danglada Alarcón y Miguel Rodríguez E. Actualmente contamos con la ayuda de Carlos Moncada J, Alejandro Meza y Miguel A. Aguillón P., para el desarrollo de las interfases por computadora que estamos preparando para estas técnicas y que vamos a publicar en un artículo próximo.

REFERENCIAS

- ADLER CS, ADLER SM: Biofeedback: a five year follow-up. *Hedache*, 16:189-191, 1976.
- ALCARAZ V: Los estados del organismo. *ICYT*, 12(163):48-53, 1990.
- ALCARAZ VM: El condicionamiento y el reflejo de orientación. En: *Modificación de Conducta. El Condicionamiento de los Sistemas Internos de Respuesta*. Trillas, México 1979.
- ANLIKER J: Biofeedback from the perspective of cybernetics and systems science. Citado por: Beatty y Legewie 1978, pág. 21-44, 1977.
- BERTALANFFY L Von: *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. Páginas 144-146, 1976.
- BURTON AC: The properties of the steady state compared to those of equilibrium as shown in characteristic biological behavior. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 14:327-349, 1939.
- BONDROT R: An Alpha detection and feedback control system. *Psychophysiology*, 9(4):461-466, 1972.
- CARROBLES JA, GODOY J: *Biofeedback. Principios y Aplicaciones*. Biblioteca de Psicología, Psiquiatría y Salud. SALUD 2000. Ediciones Martínez Roca, S. A., España, 13-14, 1987.
- COFER CN, APPELY MH: *Psicología de la Motivación*. Ed. Trillas. México, VII, 342-356, 1971.
- ENGEL RR: Methodological and technological issues in biofeedback research. En: Beatty J, Legewie H (eds.) *Biofeedback and Behavior*. Vol. 2 Plenum Press N. Y., 1977.
- FERNANDEZ-GUARDIOLA A: Epileptogénesis y opioides de endógenos. III Reunión de Investigación y Enseñanza. Instituto Mexicano de Psiquiatría, páginas 81-85, 1986.
- FERNANDEZ-GUARDIOLA A: *La Conciencia*. Ed. Trillas, México, 1979.
- FERNANDEZ-GUARDIOLA A: Neurobiología de la conciencia: crítica del interaccionismo dualista. *Salud Mental*, 4(4):7-12, 1981.
- FINLEY WW, SMITH HA, ATHERTON MD: Reduction of services and normalization of the EEG in severe epileptic Follow SMR Biofeedback training. *Biol Psychol*, 2:189-203, 1985.
- GARCIA-AUSTT E, BRUÑO W: Ritmos eléctricos del

- cerebro e integración sensoriomotriz: *investigación y ciencia*, 1980.
16. LASTRA IB: Retroalimentación. *CIC Información Técnica*. Vol. III agosto-diciembre, números 4-6, páginas 52-53, 1967.
 17. MENDEZ VJ: Biorretroalimentación y epilepsia. Tesis de licenciatura. Facultad de Psicología. UNAM. páginas 90-105, 1980.
 18. MILLER NE, DICARA L: Instrumental learning of heart rate changes in anesthetized rats: shaping and specificity to discriminative stimulus. *Journal of Comparative and Psychological Physiology*, 63:12-19, 1967.
 19. MULHOLLAND TB: Biofeedback as scientific method. *Biofeedback. Theory and Research*. 9-27, 1976.
 20. NOVIK I: (Ed.): *Cibernética, Problemas Filosóficos y Sociológicos*, citado por Pavin y Baievsky, 1964.
 21. PAVIN VV, BAIEVSKY RM; *Introducción a la Cibernética y en la Computación Médicas*. Ed. Siglo XXI, México, 1969.
 22. RASKIN M, JOHNSON G, RONDESTVEDT, JW: Chronic anxiety treated by feedback-induced muscle relaxation. *Archives of General Psychiatry*, 28:263-267, 1973.
 23. SANTIN J: La biorretroalimentación: su aplicación en las enfermedades psicosomáticas. Tesis de licenciatura en Psicología. Facultad de Psicología. UNAM, páginas 5-15, 1980.
 24. SCHWARTZ GE: *Biofeedback and Patterning of Autonomic and Control Processes: CNS Cardiovascular Interactions*. *Biofeedback Theory and Research*. Academic Press, 183-220, 1977.
 25. Scientific American. 20-25, septiembre 1952.
 26. SHAPIRO D: Biofeedback and the regulation of complex psychological processes. *Biofeedback and Behavior*, 307, 1978.
 27. SKINNER BF: *The Behavior of Organisms*. Prentice Hall, Inc., Nueva York, 1938.
 28. STERMAN MB, MC DONALD CR, STONE RK: Biofeedback training of sensorimotor rhythm in man. *Epilepsia*, 15:395-416, 1974.
 29. TORRES-TORIJA FJ: Biorretroalimentación de la respuesta galvánica de la piel y entrenamiento en relajación. Estudio piloto. Tesis de licenciatura en psicología. UNAM, páginas 1-32, 1980.
 30. ZAPATA A, DANGLADA D, SANTIN J, RODRIGUEZ M: Diseño y construcción de un sistema electrónico modular preparado para la biorretroalimentación. *Cuadernos Científicos del Instituto Mexicano de Psiquiatría*. 12:103-135, 1980.