

Un intento por definir la actividad eléctrica cerebral como una operante

Víctor Manuel Alcaraz y Ana Eugenia Díaz de León
Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

Para poder definir como una operante a la actividad eléctrica cerebral, se hicieron varias operaciones experimentales que consistieron en moldear la respuesta *alfa* occipital; incrementar mediante un estímulo contingente con su emisión la frecuencia con la que aparecía en un periodo previo en el que la estimulación no era contingente; sujetarla a control de estímulos haciéndola presentarse en condiciones contrarias a las de su emisión natural, o sea frente a una luz, y que no se manifestara delante de estímulos que normalmente la evocan, es decir la oscuridad; suprimirla haciendo contingente un estímulo aversivo cuando ocurría delante de luz que se agregaba a la estimulación de fondo; y, por último, encadenar dicha respuesta a otra, llamada respuesta *mu*, que se moldeó en la zona central del cerebro. Todas esas operaciones produjeron resultados semejantes a los que se han encontrado con respuestas musculares, por lo que se concluyó que es lícito incluir dentro de la categoría de operantes a las respuestas eléctricas cerebrales.

Finalmente, se comprobó la eficacia que para incrementar la respuesta tiene la estimulación contingente, por medio de un experimento con sujetos acoplados, en el que uno recibió estimulación contingente a sus emisiones de *alfa* y el otro no. Sólo quien recibió la estimulación contingente aumentó su frecuencia de emisiones de *alfa*.

ABSTRACT

In order to be able to define as an operant the brain electrical activity, several experimental operations were performed, consisting in shaping the alpha occipital response, increasing, by contingent stimulation the frequency with which it appeared in a previous period in which the stimulus was not contingent; putting it under stimulus control conditions opposite to those of its natural emission, that is, a light and not to appear with normally eliciting stimulus, that is, darkness; supressing it through contingent stimulation and finally, by chaining the alpha response to the mu response, elicited in the central area of the brain. All these operations gave similar results to the ones previously encountered with the skeletal muscles responses.

Finally, the efficacy that the contingent stimulus has to increase the response was confirmed by an experiment with subjects conditioned according to a "yoked" procedure, in which one received a stimulus contingent to alpha emissions and the other did not. Only the one that received the contingent stimulus increased its frequency of alpha emissions.

Introducción

En relación con los orígenes de la actividad eléctrica cerebral recogida mediante macroelectrodos colocados sobre el cráneo, se han propuesto múltiples hipótesis: primera en el tiempo fue la sustentada por Adrian y Matthews (1934) quienes supusieron que lo que se obtenía en el electroencefalograma (EEG) era una suma de los potenciales de acción que ocurrían en forma sincrónica dentro del área de registro del transductor; en otras palabras, esta suposición hacía dependientes, de los cambios que ocurrían en el medio exterior, a las fluctuaciones de la actividad eléctrica de poblaciones neuronales cuya descarga conjunta era provocada por esa estimulación de que hablamos.

Sin embargo, el hecho de que sea factible eliminar los potenciales de acción, mediante anestésicos o por anoxia (Li y Jasper, 1953), sin que concomitantemente se anulen los ritmos cerebrales, vino a desechar la idea de que la actividad electrocortical registrada en condiciones de rutina, reflejaba los procesos de respuesta del sistema nervioso.

En lugar de la explicación anterior, se formularon entonces otras, que ahora tomaban en cuenta las variaciones espontáneas de orden aleatorio de las estructuras cerebrales, cambios estos últimos que durante mucho tiempo fueron negados, engendrando, por cierto, la desconfianza inicial con que fueron recibidos los hallazgos de Berger respecto del EEG. El descubrimiento de generadores de ondas de baja frecuencia en las células nerviosas (Elul, 1968) con los mismos componentes de la actividad promediada de las poblaciones de neuronas, permitió suponer que al sumarse la acción de estos generadores individuales, se daba lugar al EEG. Las amplitudes de onda electroencefalográficas resultarían, así, de la

relación de fase de los generadores; mientras que los ritmos conocidos serían el producto de la frecuencia en su descarga. El aceptar por otra parte que se imponía un determinado ritmo a los generadores, exigía la suposición de la existencia de un marcapaso cuyo asiento se pensó que estaba en el tálamo, sobre todo por el hallazgo de la llamada respuesta reclusante, producto de la estimulación de los núcleos intralaminares (Morison y Dempsey, 1942).

Recientemente, el análisis de los espectros y coherencias de los ritmos *alfa* talámicos y corticales, ha venido a dar mayor apoyo a la presunción de que el marcapaso al que nos referimos es de tipo talámico; incluso, se han descubierto relaciones topológicas correspondientes a la distribución del *alfa* que, como todos sabemos, tiene una zona de mayor densidad en la corteza parieto-occipital. De este modo, y en concordancia con esa regionalización, se observa, al nivel del tálamo, que las amplitudes de banda de la actividad eléctrica tienen un pico más alto dentro del rango del *alfa*, en el cuerpo geniculado lateral, mientras que en otros núcleos talámicos la amplitud de la banda de frecuencias es mayor. La coherencia entre *alfa* occipital y *alfa* talámico no es perfecta, por lo que se puede suponer que la relación no es determinística, sino que representa más bien un proceso de naturaleza estocástica. (Lopes da Silva, F.H., Van Lierop, T.H., Schrijer, C. y Van Leewen, S., 1973.)

En todo caso, esta concepción que se basa en la actividad de marcapasos internos, parecería, vista bajo la óptica de consideraciones superficiales, hacer a un lado los mecanismos que la hipótesis de Adrian había establecido. En lugar de la acción de los estímulos, las frecuencias EEG representan el juego de regulaciones internas cuya dilucidación difícilmente puede lograrse a través de las manipulaciones del medio exterior. El caso es que siguiendo los estímulos externos se observan modificaciones en los ritmos; entre ellas, la más notable es la de sincronización del *alfa*, que desde los primeros tiempos de Berger atrajo la atención de los estudiosos. De importancia en este contexto fue el descubrimiento accidental, por parte de Durup y Fessard (1935), de que dicha desincronización era condicionable; es decir, que podía anticipar al estímulo que directamente la provocaba, si dicho estímulo se apareaba repetidamente con otro que, presentado primero en el tiempo, desencadenaba la actividad específica al segundo.

Tras una serie de estudios en los que se siguió este procedimiento de aparear dos estímulos, observándose repetidamente que el estímulo que se presentaba de modo inicial en la serie, podía evocar la respuesta del que le sucedía, se obtuvo un nuevo descubrimiento debido a Olds (1969), quien, registrando la actividad de neuronas aisladas, pudo modificar esa frecuencia haciendo pasar una estimulación eléctrica al haz medial del cerebro anterior cada vez que aparecía en el registro de la unidad muestreada una variación espontánea con un ritmo de descarga superior al típico de dicha unidad. La estimulación intracerebral pareció, en estas condiciones, jugar un papel reforzante de la actividad previa, pues las frecuencias que fueron

seguidas por estimulación eléctrica se mantuvieron, mientras que aquellas que no la recibieron después de su aparición, no mostraron esa permanencia.

El resultado de Olds nos conduce a un problema, tratado en la ciencia de la conducta particularmente por Skinner (1969). Para dicho autor las probabilidades de emisión de una determinada respuesta son modificadas por sus consecuencias o, dicho de otro modo, por los estímulos que la siguen. Skinner llama operantes a las respuestas que tienen esa posibilidad. En este tipo de respuestas se desconoce el estímulo que las produce, pero esta situación no resulta limitativa para el control de sus emisiones; en tanto que, retirando o presentando estímulos después de cada una de las apariciones de una operante dada, se hace factible aumentar o disminuir la tasa con la que se emite.

El hallazgo de que las frecuencias de disparo de las neuronas aisladas podía ser modificado no fue el único, en virtud de que ulteriormente se encontró que los ritmos de las poblaciones neuronales eran igualmente susceptibles de cambio, siguiendo la técnica de presentar un estímulo reforzante tras emisiones aisladas de las distintas frecuencias (Dewan, 1967; Black y otros, 1970a; Green y otros, 1970; Lynch y Paskewitz, 1971).

En esta forma, pudo lograrse incrementar la abundancia de ciertos ritmos electroencefalográficos dando estimulación intracraneana a los animales (Carmona, 1967; Delgado y otros, 1970; Black y otros 1970b) y proporcionando a los seres humanos estímulos luminosos o sonoros.

Por lo que respecta a los seres humanos, es oportuno señalar que algunos científicos de la conducta podrían sentirse en serio predicamento, por aceptar que los estímulos visuales y auditivos tienen caracteres reforzantes. La dificultad surge aquí porque existe una tradición que podríamos retrotraer sobre todo a Hull (1943) y que considera que los reforzadores tienen propiedades por las que pueden disminuir las pulsiones; así, el alimento es el reforzador clásico, ya que baja los niveles de la pulsión "hambre". Ahora bien, a raíz de las dificultades que entraña el concepto de estímulo reforzante, entendido como reductor de pulsión, se han venido haciendo a un lado las definiciones de reforzamiento que establecen propiedades definitivas fundadas en características intrínsecas al reforzador llegándose, por último, a aceptar que, debido a que enfrentamos un problema de tipo empírico, la única actitud válida es aquella que está dirigida a la investigación particular de las funciones que en un momento dado cumple un estímulo. Así, podemos percatarnos de que en un continuo temporal, ciertos muestreos nos hacen sacar a luz las propiedades evocadoras de los estímulos; mientras que en otras, se descubren sus funciones reforzantes y, todavía más, en ocasiones distintas, los mismos excitadores pueden tener funciones aversivas.

La definición de un reforzador debe hacerse entonces tomando en consideración los estados del organismo. La expresión de tales estados no

acarrea grandes dificultades, pues se realiza sobre la base de las manipulaciones antecedentes que el sujeto experimental haya sufrido. De este modo el alimento será un reforzador en condiciones de privación, un evocador si aparece actuando sobre modalidades sensoriales ligadas directamente a los procesos de ingestión y un estímulo aversivo, si se da en condiciones que impliquen la recepción continuada de dicho estímulo. En síntesis y de modo convencional, si las estimulaciones luminosas y sonoras incrementan la frecuencia de ciertas respuestas, para los fines específicos de la investigación en la que actúen en esa forma, serán denominadas estímulos reforzantes.

Volviendo a nuestra afirmación inicial, en los seres humanos ha sido factible incrementar la abundancia de los ritmos *alfa* (Kamiya, 1969), *sigma* (Serman, 1973), *teta* (Brown, 1971) e incluso de componentes de potenciales evocados que por los efectos del reforzamiento sufrieron modificaciones recurrentes (Fox y Rudell, 1968, 1970).

Basados en la reiterada confirmación de la posibilidad de modificar la actividad eléctrica cerebral mediante estímulos reforzadores, procedimiento al que a partir de ahora le llamaremos condicionamiento operante, nos hemos planteado la posibilidad de definir los ritmos corticales con las características que corresponden a la conducta que ha sido objeto de especial atención por parte de Skinner; para ello nos hallamos comprometidos en una investigación de la cual daremos aquí algunos resultados.

Previamente señalaremos que para definir una operante se toman en cuenta:

- a) la clase de respuestas a la que pertenece;
- b) las contingencias de reforzamiento que actúan sobre ella;
- c) el control que es ejercido por los estímulos que la preceden, y
- d) la naturaleza positiva o negativa de los estímulos que la suceden.

En tal virtud, las operaciones que necesitan realizarse para definir los ritmos corticales como una operante, deben tomar en cuenta los elementos anteriores, complementados con otros que se relacionan con las formas de evocación de las operantes y con sus posibilidades de entrelazarse formando cadenas complejas de conducta.

Por lo que toca a las formas de evocación, debemos decir que, como se desconoce el estímulo que las produce, pueden ponerse bajo el control de no importa qué estímulo, una vez que el reforzamiento haya actuado sobre ellas; empero, para aplicarles las operaciones de reforzamiento es necesario que previamente hayan aparecido por lo menos una vez.

Si esa limitación fuera absoluta, el condicionamiento operante resultaría un método incapaz de instalar nuevas respuestas, o sea, sus únicas posibilidades serían las de incrementar las frecuencias de aparición de conductas que ya tienen una cierta probabilidad de ser emitidas. Este, por fortuna, no es el caso y mediante una técnica que se denomina moldeamiento, pueden instalarse respuestas que el organismo no tenía previamente.

En nuestra tarea de definir los ritmos corticales como una operante recorreremos varios pasos:

1. establecer en forma rigurosa la respuesta;
2. demostrar que puede ser instalada mediante la técnica de moldeamiento;
3. ponerla bajo el control de estímulos precedentes, estímulos que reciben el nombre de discriminativos, en el caso de que en su presencia siempre se otorgue el reforzamiento.
4. verificar si la probabilidad de emisión de una respuesta disminuye por la presentación de un estímulo dado si ante él nunca se da reforzamiento, a pesar de que con antelación y frente a dicho estímulo, la probabilidad de emisión pudiera haber sido alta;
5. demostrar que la probabilidad de emisión de la respuesta será distinta si se ve seguida por estímulos positivos o negativos, definidos al modo empírico. Si la suceden estímulos positivos, su tasa de emisión deberá incrementar; si son, por lo contrario, estímulos negativos, su emisión tenderá a disminuir;
6. ver si es factible establecer con los ritmos corticales, cadenas semejantes a las que se pueden formar con respuestas músculo-esqueléticas;
7. finalmente comprobar si el reforzamiento intermitente bajo programas de razón e intervalo da los mismos resultados que Ferster y Skinner (1957) encontraron al trabajar con respuestas del músculo-esquelético. Este último propósito, por no haber llegado todavía a su término, no se reseña aquí.

Método

Se hicieron registros electroencefalográficos de quince sujetos: diez del sexo masculino de edades entre 18 y 21 años y cinco del sexo femenino, de entre los cuales cuatro tenían un rango de edad que iba de los 15 a los 21 años y uno solo se salía de ese rango por tener 30 años. Se utilizó un EEG Alvar, de 10 canales. Se corrieron tres series experimentales. Para la primera y la segunda se colocaron electrodos del tipo Gray Walter en las posiciones C3-C4 y O1-O2 del Sistema Internacional 10-20. En la tercera serie la posición utilizada para los electrodos fue O1-P3 y O2-P4.

Las sesiones tuvieron lugar dentro de una cámara de Faraday. El experimentador operaba en una pieza anexa, donde también se hallaban los aparatos.

En la primera y segunda serie experimental los sujetos recibieron las siguientes instrucciones:

“Voy a tratar de registrar la actividad eléctrica de su corteza cerebral, puede hacer lo que desee, excepto aquello que causaría el desprendimiento

de los electrodos. La tarea que tiene que cumplir es la de mantener tocando este sonido (se le pasaba en ese momento un tono). Cuanto más tiempo logre que permanezca, acumulará un mayor número de puntos." (El sonido era producido por un audio y fotoestimulador Soneclat.)

A cualquier pregunta acerca de cómo podían hacer para que sonara el tono, se respondió con evasivas.

La respuesta que decidió reforzarse fue el ritmo *alfa* EEG que se definió como toda aquella actividad eléctrica cuya frecuencia se encontrara entre 8 y 13 Hz, con un voltaje de 25 a 50 uv y localización parieto-occipital.

Para la primera serie, además de la respuesta *alfa*, se reforzó la respuesta *mu*, definida como una actividad eléctrica con asiento en la zona de Rolando, de voltaje entre 20 y 50 uv y frecuencia de 8 a 10 Hz.

En esta primera serie realizada por Jorge Luzoro en nuestro laboratorio con satisfacción parcial de los requisitos para obtener el grado de maestro, se empleó un solo sujeto (L6-30 años de edad) con el que se tuvieron dos sesiones iniciales de línea base con duración de cinco minutos cada una. Las instrucciones para el registro de línea base fueron semejantes a las que se mencionaron antes, salvo la parte que se refiere a la tarea que tenía que desempeñar el sujeto: mantener sonando el tono.

Después de la línea base hubo dos sesiones de moldeamiento y establecimiento de la respuesta, de cinco minutos cada una. Para proceder al moldeamiento se dieron las instrucciones primero presentadas y se esperó a que en el registro aparecieran incrementos de voltaje superiores a 25 uv, en oscilaciones lentas que por lo menos durarán 100 milisegundos. La primera de esas oscilaciones recibió de manera contingente una estimulación sonora. El criterio fue haciéndose cada vez más riguroso, exigiéndose ulteriormente por lo menos tres de esas oscilaciones hasta que, por último, se alcanzó la banda del *alfa* a 10 Hz.

El criterio de establecimiento de la respuesta fue el de mantener un índice *alfa* de al menos 50%; o sea, diez segundos de *alfa* dentro de una época de veinte segundos. El sonido contingente a la respuesta se mantuvo durante todo el tiempo que la actividad permaneciera. Se emplearon tres sesiones para establecer un control discriminativo de estímulos, en las que en la estimulación sonora contingente a la respuesta sólo se proporcionó si la lámpara de la cámara de Faraday se encontraba encendida (ED), retirándose este reforzamiento cuando se apagaba (EA). Cada condición de estímulos duró cuarenta segundos, dándose 25 pares de condiciones ED-EA. Se escogieron esos dos estímulos porque la ausencia de luz está ligada a la presencia de *alfa*, mientras que la presentación de excitaciones visuales se vincula al bloqueo de la actividad a la que nos referimos. De esta manera, actuamos en contra de las condiciones naturales de la aparición del *alfa*, para así poder demostrar el control de estímulos.

A partir de la sesión experimental 8 y hasta la número 12, se trabajó en moldear la respuesta *mu* y en establecer una cadena de ritmos corticales: respuesta *mu*-respuesta *alfa*.

Para ello se utilizó como reforzador el encendido de la lámpara interna

de la cámara de Faraday que había ganado funciones de reforzador condicionado al utilizarse como ED en las sesiones de establecimiento de control de estímulos. El mismo procedimiento descrito para moldear el *alfa* se siguió aquí, hasta dejar definitivamente instalada la respuesta *mu*, que ahora, junto con el estímulo exteroceptivo que consistía en el encendido de la lámpara de la cámara, sirvió de ED para la respuesta *alfa*. El tiempo de estas sesiones: veinte minutos (sesión 8) y de cinco minutos (sesiones restantes).

En la serie experimental 2, que fue una extensión de los trabajos iniciales de Luzoro, los sujetos (del sexo masculino V1 a V10) recibieron estimulación no contingente a la respuesta durante dos sesiones de diez minutos cada una, en las cuales se hizo pasar un tono 120 veces a intervalos irregulares con un promedio de 12 estimulaciones por minuto. Las instrucciones fueron iguales a las de la línea base la primera serie.

Sesiones experimentales: tres para moldeamiento e instalación de la respuesta; tres para establecimiento de control de estímulos y una, final, en la que se dieron estímulos aversivos a cada emisión del *alfa*, cuando estas emisiones ocurrían estando la lámpara de la cámara de Faraday encendida; en tales momentos se prendía un foco de color rojo en el techo de aquélla. El tono aversivo no se presentaba si este último foco se encontraba apagado. En estos casos se seguía otorgando el tono con características reforzantes; en general, el foco rojo se prendía en medio de un brote de *alfa* e inmediatamente después se daba el tono aversivo. A lo último de la sesión, si el *alfa* se suprimía, también dejaba de darse el tono aversivo.

Todas las sesiones duraron diez minutos y el procedimiento utilizado fue el mismo que se siguió en la serie experimental 1, después de dar las instrucciones en las que se imponía el requerimiento de mantener el tono sonando. El criterio que se fijó para esta serie fue igualmente un índice *alfa* de 50%.

En la tercera serie experimental (sujetos AE3, 4,5 y 6) se acoplaron en cada sesión dos individuos que, durante una línea base de quince minutos, recibieron estimulación sonora no contingente a la respuesta y en una sesión experimental adicional fueron tratados de la siguiente manera:

A uno de ellos se le entregó el reforzamiento contingente a la respuesta junto con las instrucciones: "Para que ganes puntos vas a tener que hacer que el tono se mantenga sonando; no puedo contestar ninguna pregunta que me hagas, así es que te ruego te abstengas." El otro sujeto recibió la estimulación sonora al mismo tiempo que su compañero y, por tanto, sin ninguna relación sistemática con la respuesta. Las instrucciones que se le dieron a éste fueron: "Vamos a continuar con el experimento. No puedo contestar ninguna pregunta que me hagas así que te ruego te abstengas."

Los sujetos llegaron al laboratorio convocados por los experimentadores en las clases regulares de la Facultad de Psicología de la UNAM. A

algunos de ellos se les ofreció darles un cursillo sobre técnicas neurofisiológicas a cambio de su participación en el experimento.

Resultados

Durante el periodo de estimulación no contingente a la respuesta, la actividad recogida en los diez sujetos de la serie experimental 2, fue de tipo desincronizado. El periodo total en el que se hizo el registro lo ocuparon ondas rápidas con un voltaje de 10 uv. El registro no mostró variaciones a partir de los minutos iniciales y hasta el término de la sesión (10 minutos después); de este modo, registramos 20 minutos de falta de *alfa*.

Para el sujeto L6 tampoco se observó ningún incremento del *alfa* en condiciones de ausencia de estimulación durante la línea base.

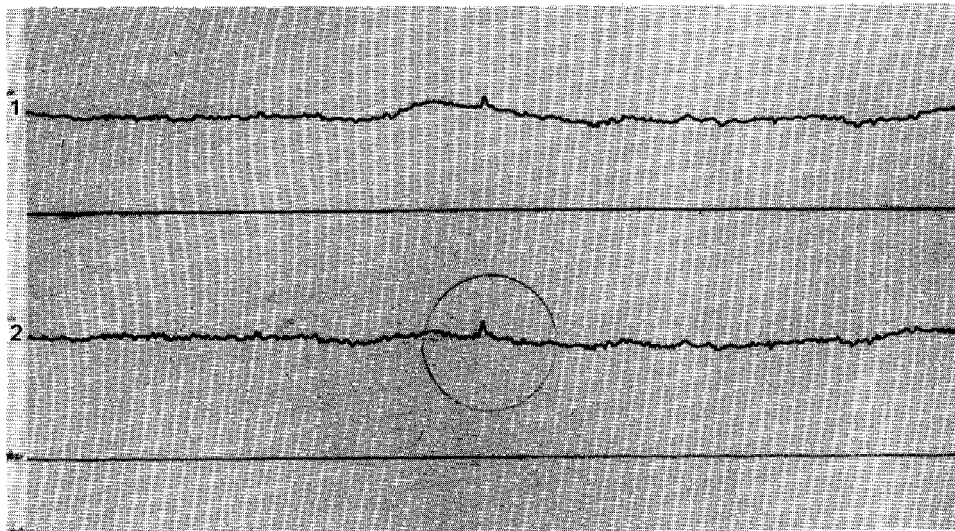


Figura 1. Registro electroencefalográfico durante el periodo de línea base, en el que se observa toda la época ocupada por actividad desincronizada. Canal 1: EEG occipital. Canal 2: EEG rolándico.

A partir de la primera sesión experimental en la que se instaló la técnica de moldeamiento de la respuesta, se observó un progresivo incremento del *alfa*, lográndose obtener el criterio previamente señalado de un índice *alfa* de 50%. En otras palabras, se pasó de un índice *alfa* de casi cero a un índice *alfa* de +50%. Sólo dos sujetos (V5 y V8) no pudieron alcanzar dicho índice. El EEG permaneció desincronizado en las tres

sesiones de implantación de la respuesta, motivo por el cual se discontinuó el procedimiento experimental con estos sujetos.

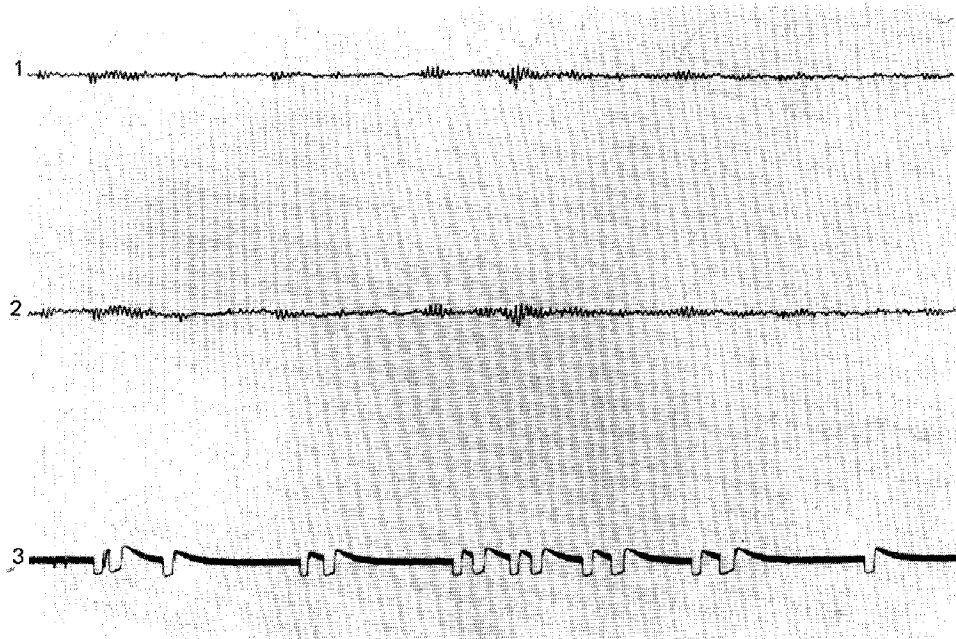


Figura 2. Respuesta *alfa* frente al estímulo discriminativo. Canal 1: EEG parieto-occipital izquierdo. Canal 2: EEG parieto occipital derecho. Canal 3: Marcador para la entrada de la estimulación.

En la fase de control discriminativo de estímulos, el encendido de la lámpara evocaba de inmediato el *alfa*, mientras que el apagado originaba su supresión, en tiempos que variaron de sujeto a sujeto. L6 empezó a estar bajo control de estímulos al minuto número 8. Los sujetos de la segunda serie experimental mostraron ese control casi inmediatamente, al minuto número 4 en promedio. (El límite superior del rango fue 7 minutos y el inferior, 3.)

En la sesión en la que se hizo contingente un tono aversivo con la emisión de *alfa*, se observa una inmediata supresión del ritmo, que se inició, por cierto, con una perturbación fisiológica, pues el registro de todos los sujetos se vio contaminado por artefactos producidos por la respuesta galvánica de la piel. La supresión del *alfa* se dio frente al estímulo rojo. La respuesta continuó emitiéndose cuando la luz de la lámpara se hallaba encendida sin el foco rojo, pero el índice *alfa* bajó a

menos de 50%, dándose tan sólo alrededor de seis respuestas alfa por periodo de 20 segundos.

El moldeamiento del ritmo *mu* o ritmo de Rolando llevó aproximadamente tres minutos, quedando instalada la cadena en ese tiempo. Se observaba entonces que el ritmo *mu* aparecía con duración promedio de 1 857 milisegundos y después, en un periodo que como promedio duraba 1 528 milisegundos, aparecía el *alfa*. La luz se apagaba y de inmediato volvía a presentarse el *mu* para repetirse la secuencia. En algunas ocasiones *alfa* y *mu* corrieron paralelos durante periodos de ocho segundos, fenómeno al que Luzoro (trabajo en prensa) denominó efecto de arrastre.

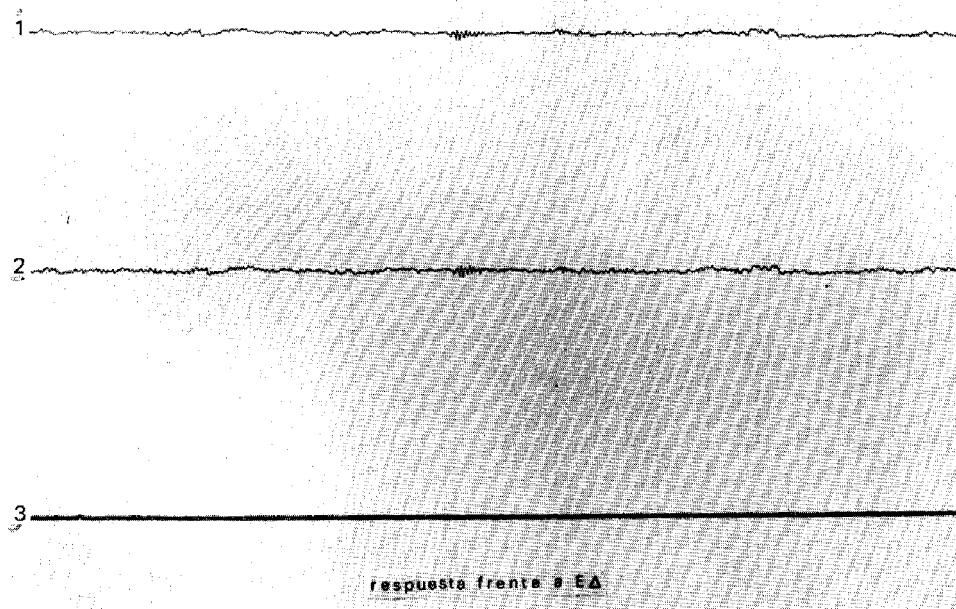


Figura 3. Registro EEG durante la presentación de EA. Puede observarse ausencia de *alfa*. Los canales, como en la figura anterior.

En el experimento de sujetos acoplados, la estimulación no contingente produjo, por lo general, desincronizaciones EEG en ambos sujetos del par; por cierto, dos de dichos sujetos tenían, en esta condición inicial, índices *alfa* bastante elevados, mientras que sus compañeros los tenían muy bajos. La estimulación contingente como la respuesta que se dio al sujeto que mostraba poco *alfa* en la primera fase, elevó su índice respectivo de manera notable, dejando el índice *alfa* de su compañero sin variaciones. El

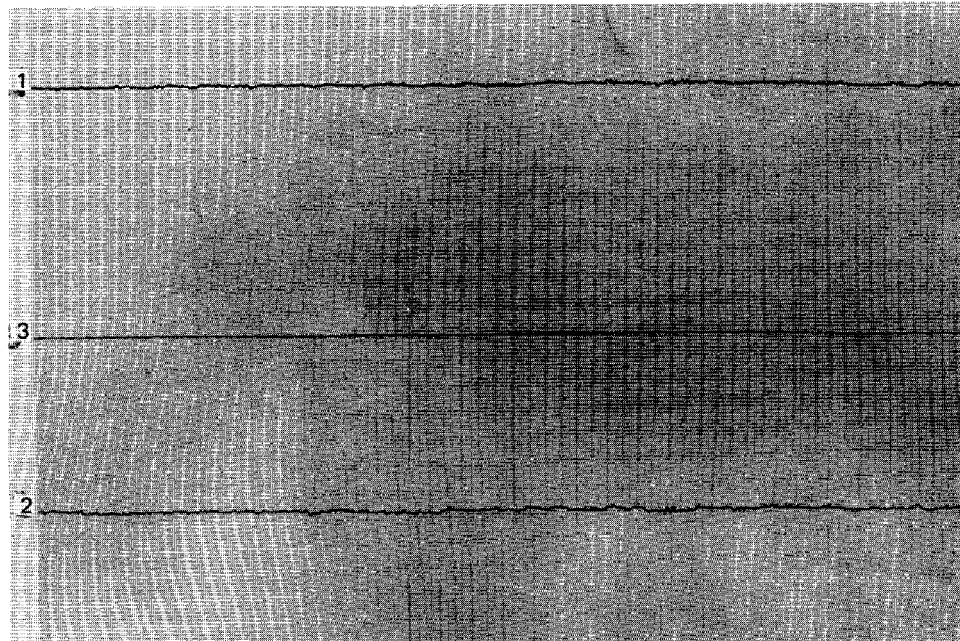


Figura 4. Línea base para la respuesta *alfa* y para la respuesta *mu*. Tanto en el EEG occipital como en el rolándico aparece actividad desincronizada. Canal 1: EEG occipital, Canal 2: EEG rolándico. Canal 3: Marcador para la entrada del estímulo.

propósito de reforzar al sujeto con el índice *alfa* inferior, determinó una equivocación con el grupo formado por AE3 y AE4, pues durante un periodo de 15 minutos se intentó moldear la respuesta *alfa* en el sujeto AE4, basándose en el hecho de que no mostraba dicha respuesta en el registro, sin que los experimentadores se percataran de que las instrucciones que había recibido no le pedían que llevara a cabo tarea alguna con relación con el tono. A pesar de recibir reforzamiento contingente a sus aproximaciones a la respuesta, AE4 permaneció sin alterar sus ritmos. Cuando se intentó reparar el error y se comenzó a dar el reforzamiento contingente a las respuestas del sujeto que había recibido las instrucciones de mantener el tono, hubo un periodo de 6 minutos de ausencia completa de *alfa*. Este ritmo reapareció posteriormente, pero sin que sus densidades difirieran de los periodos anteriores.

Discusión

Las manipulaciones experimentales reseñadas parecen fundamentar la afirmación de que la tasa con la que se emiten los ritmos de la corteza cerebral son susceptibles de condicionamiento operante. Mucho se

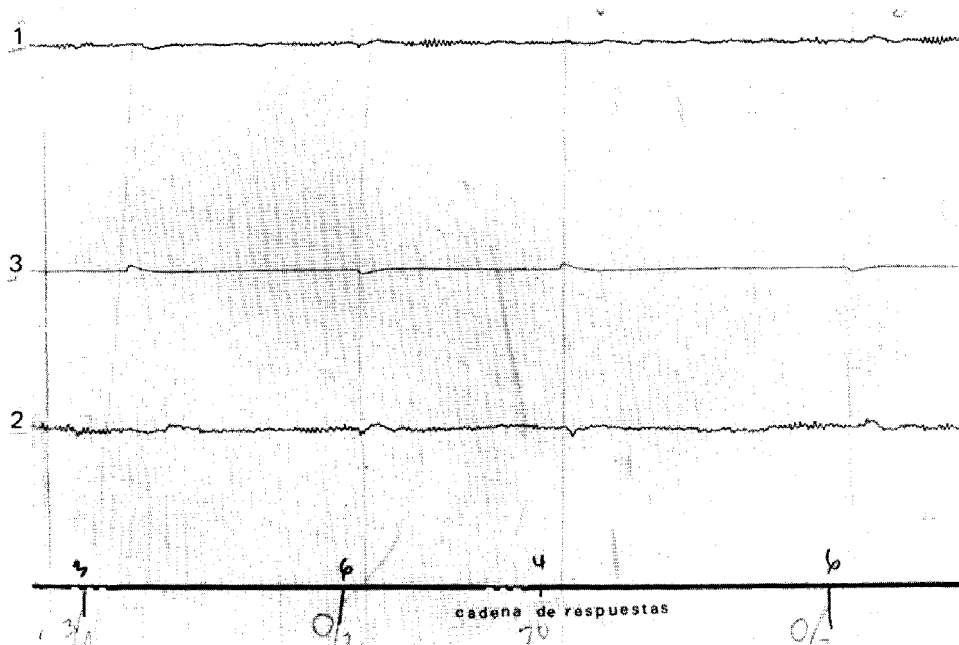


Figura 5. Cadena de ritmos corticales. Se observa cómo, después de la aparición de la respuesta *mu* en el canal 2, se presenta la respuesta *alfa* en el canal número 1. Derivaciones como en el registro anterior.

ha dicho respecto a que un simple fenómeno de habituación podía explicar el progresivo aumento del *alfa*, sobre todo, porque las líneas base empleadas no satisfacen un criterio riguroso, pues han sido muestreos temporales no extendidos, que poco nos dicen de las tendencias de los ritmos; sin embargo, al introducir las situaciones de estimulación contingente y no contingente, mantuvimos condiciones estimulativas que iban, por la irregularidad de las presentaciones de los estímulos, en contra de la habituación. Lo único que varió de las dos sesiones primeras a las sesiones experimentales que le siguieron fue el carácter de la contingencia, así como las instrucciones. Con la estimulación contingente los ritmos aumentaron su tasa de emisión, demostrándose también la posibilidad de sujetarlos a control de estímulos, pues la entrega sistemática de reforzamiento en la presencia de un estímulo, determinó la presentación de la respuesta que estábamos reforzando, mientras que la retirada del reforzamiento frente a otro estímulo dio lugar a que se dejara de emitir dicha respuesta.

Los tonos aversivos produjeron, como ya lo hemos dicho, una pronta supresión de la respuesta; queda poco claro lo que se debe a la perturbación fisiológica que de esta manera se induce en el organismo por

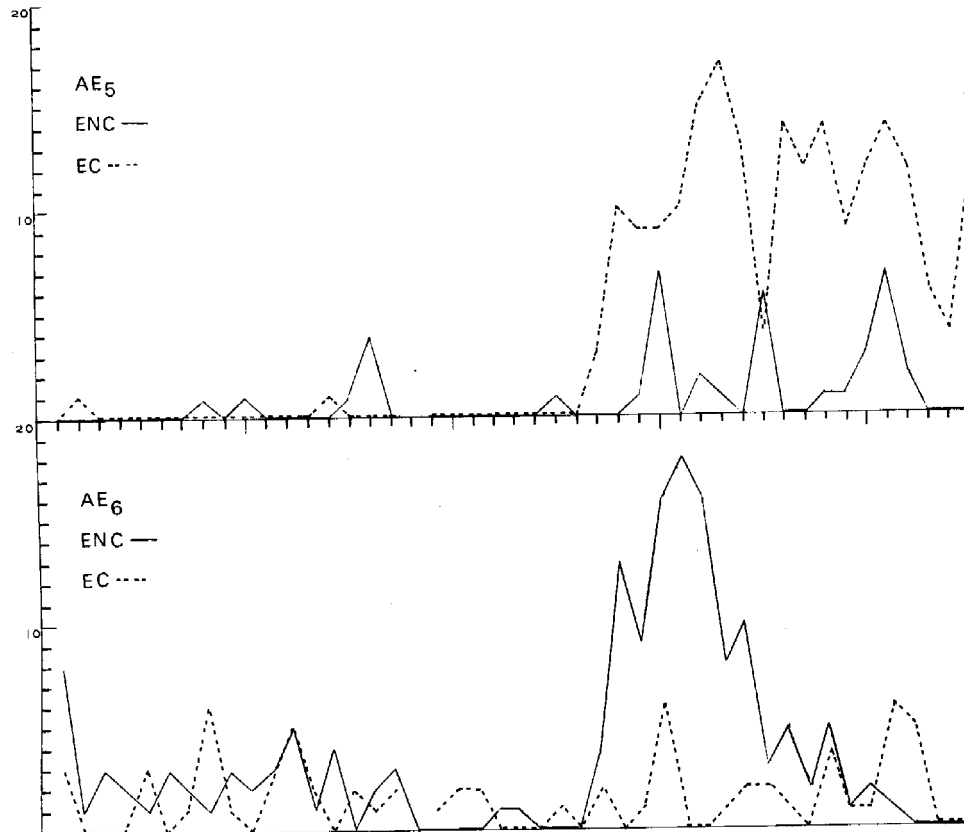


Figura 6. Respuestas *alfa* por épocas de 20" en dos sujetos acoplados. La gráfica superior representa la actividad *alfa* del sujeto que recibió (en el 2º periodo) estimulación contingente a la respuesta. La inferior, la actividad del sujeto que en ambos periodos recibió estimulación no contingente. Obsérvese cómo el *alfa* tiende a incrementar en el primer sujeto y a disminuir en el segundo. ENC (estimulación no contingente), EC (estimulación contingente), ENCI (estimulación no contingente sin instrucciones) ENC2 (estimulación no contingente con instrucciones).

el estímulo rojo, que juega las veces de estímulo de advertencia, y cuánto es evitación del choque por la respuesta no *alfa*. Para dilucidar lo anterior habría habido necesidad de aumentar el número de sesiones con el tono aversivo. Lo que sí es cierto es que el índice alfa sin el estímulo de advertencia, disminuyó sensiblemente, cosa que hablaría más a favor de una perturbación fisiológica. En lo que respecta a la cadena, ésta quedó limpiamente implantada. No sabemos si el control de la secuencia de respuesta fue exteroceptivo a través del encendido y del oscurecimiento de la lámpara de la cámara o se debió a que los ritmos por sí mismos puedan

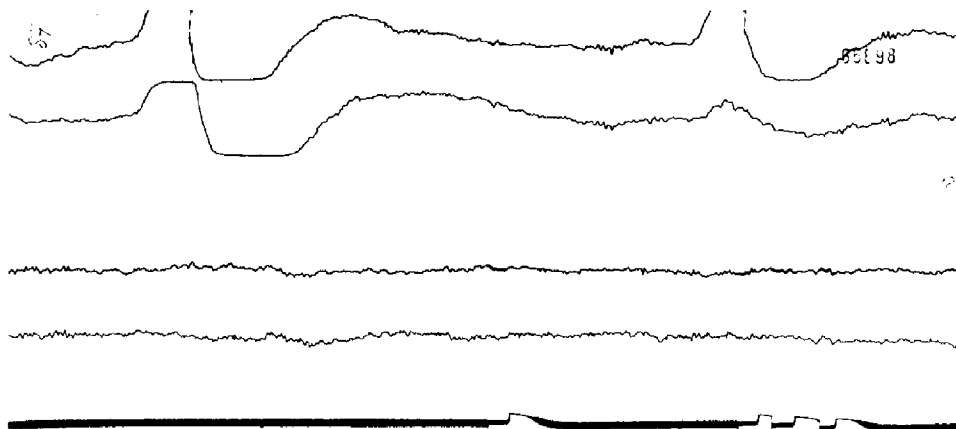


Figura 7. Estimulación no contingente como la respuesta en dos sujetos acoplados. La actividad aparece desincronizada durante todo el periodo. Canal 1: EEG parieto-occipital izquierdo del sujeto AE5. Canal 2, EEG parieto-occipital derecho de ese mismo sujeto. Canal 3. EEG parieto-occipital izquierdo del sujeto. AE6. Canal 4. EEG parieto-occipital derecho del sujeto AE6 Canal 5. Marcador para la entrada del estímulo.

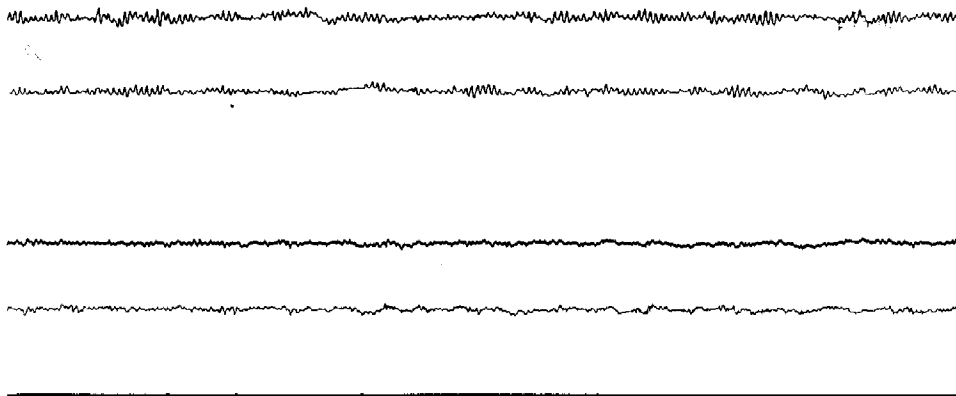


Figura 8. Respuesta *alfa* en dos sujetos acoplados en una situación en la cual uno de los sujetos, el que muestra mayor índice *alfa*, recibe estimulación contingente a la respuesta.

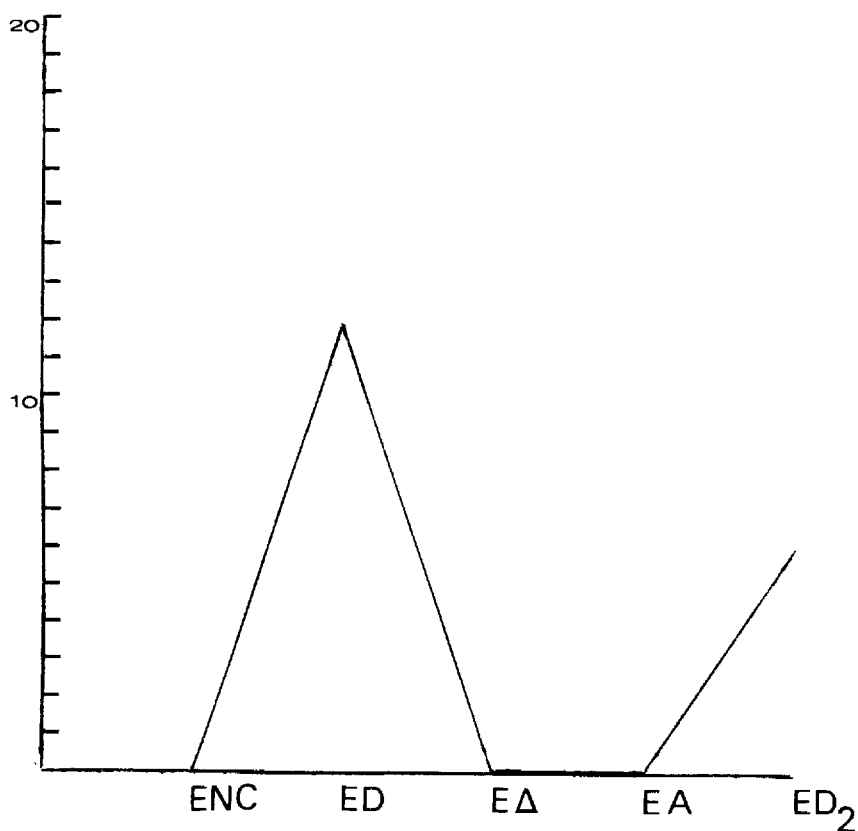


Figura 9. Promedios de respuesta *alfa* por tipos de estimulación: ENC (no contingente con la respuesta); ED (estímulo discriminativo); E Δ (estímulo *delta*); EA (estímulo aversivo); ED₂ (estímulo discriminativo que marca la ausencia del tono aversivo).

llegar a tener propiedades discriminativas sobre la base de sus concomitantes sensoriales propioceptivos. De este modo, el ritmo *alfa* se vincula al estado del aparato oculomotor (Mulholland, 1971) y a un tono muscular disminuido. El ritmo de Rolando se asocia a estados de inmovilidad conductual; un procedimiento para bloquearlo consiste, incluso, en la realización de movimientos de los miembros (Gastaut y otros, 1952). Los datos que ahora tenemos, no nos permiten hacer ninguna aseveración sobre este aspecto; quedará pues para las investigaciones futuras, el esclarecer los mecanismos que intervienen.

El tipo de procedimientos que empleamos evitó conocer el verdadero índice *alfa* de un sujeto o su nivel operante. No sabemos entonces si el reforzamiento incrementó dicho índice más allá de los niveles establecidos por contingencias que el experimentador desconoce, pues los sujetos le llegan al laboratorio con las respuestas ya implantadas. No obstante lo anterior, las contingencias experimentales impuestas demostraron su efectividad, sobre todo en la serie con los sujetos acoplados. Nuestro propósito era demostrar la efectividad de la contingencia y, por el momento, la discusión de los niveles operantes rebasa los límites de este artículo.

Con los sujetos acoplados se observó también el papel que juegan las instrucciones en la relación que el sujeto establece con el estímulo. El tono en la primera fase de presentación no contingente originaba desincronizaciones de los ritmos, las cuales venían a formar parte de la activación general propia del reflejo de orientación. Las presentaciones irregulares del sonido evitaban que el reflejo se extinguiera. Cada aparición del tono ocurría en momentos distintos de la serie temporal e incluso su duración llegaba a variar. Cuando el tono se dio de manera contingente a la respuesta sin que mediaran instrucciones, debido al error cometido en la presentación de las tarjetas, continuaron las variaciones aleatorias en los ritmos del fondo.

Con el sujeto AE5, quien recibió en forma adecuada las instrucciones, las respuestas *alfa* no comenzaron a incrementar sino hasta el momento en el que se le asignó al tono un valor reforzante, gracias a las instrucciones que parecieron jugar, aquí, el papel de estímulos discriminativos que disponen una variabilidad conductual más centrada en torno al estímulo, o dicho de otra manera que permiten que las respuestas se emitan buscando relaciones con el tono y no completamente al azar.

En el sujeto AE3, con el cual se incurrió en el error de darle reforzamiento no contingente, después de instruirle para que mantuviera sonando el tono, se observa que la estimulación contingente con la respuesta no resulta ser del todo efectiva, pues no modifica notablemente su índice *alfa*, que de por sí era muy abundante. Quizá la falta de correlación inicial entre la respuesta y el estímulo se encuentre en la base de este fenómeno o, tal vez, como Lynch y Paskewitz (1971) señalan, las técnicas de retroalimentación biológica no sirvan para incrementar el *alfa*, por encima de un índice obtenido en condiciones óptimas de evocación de esta actividad y en este sujeto, un estímulo desconocido para el experimentador, produjo tales condiciones óptimas.

En síntesis y ya para cerrar esta discusión, parece que dejamos satisfechas algunas de las imposiciones que fijamos para nuestra definición de los ritmos corticales como una operante; por lo menos, aquellas que se refieren al aumento de probabilidad de emisión en una respuesta por la presentación subsecuente de un estímulo, al control que ejercen los estímulos precedentes y a la posibilidad de, en ausencia de la respuesta, irse moldeando progresivamente a través de aproximaciones sucesivas. Las acciones de los estímulos negativos sobre la respuesta, también parecieron

quedar un tanto cimentadas con la supresión que el tono aversivo produjo sobre el *alfa*; y la factibilidad de encadenar los ritmos a la manera de las respuestas musculo-esqueléticas, quedó igualmente demostrada.

Nuestra tarea parecerá a primera vista de naturaleza académica, pero debemos decir, ya para finalizar, que avizora aplicaciones prácticas de extrema importancia, muchas de las cuales ya se están trabajando; por ejemplo, la posibilidad de controlar transtornos que resultan de la desorganización de la actividad cortical parece estar a la puerta. Un primer ejemplo sería el de la epilepsia. En la actualidad, Sterman (1973) ha logrado suprimir los ataques epilépticos condicionando un ritmo que como el de Rolando se asocia a circunstancias de inactividad muscular. Se trata del denominado ritmo sensoriomotor o *sigma*, que tiene una frecuencia de 12 a 14 Hz y se localiza en las zonas centrales.

Otra aplicación práctica se relaciona con los síndromes hiperquinéticos; el condicionamiento del ritmo sensoriomotor da lugar, en los pacientes diagnosticados de esa manera, a una disminución de la movilidad que es tasada como un cambio favorable en su conducta.

El condicionamiento de los ritmos *teta*, puede ser utilizado con éxito para tratar los casos de insomnio, mientras que el condicionamiento del *alfa*, con los estados de relajación muscular que le acompañan, ha sido benéfico para el tratamiento de las cefaleas.

Si volvemos nuestros ojos hacia el futuro nos podemos ver organizando, mediante las técnicas descritas, la actividad eléctrica de la corteza cerebral. Recordemos cuál es la organización de esta actividad en el grueso de la población, en donde encontramos actividad *alfa* en las regiones parieto-occipitales; ritmos *beta* en las regiones anteriores, con límites en las zonas centrales y frecuencias más bajas en las zonas temporales. Imaginémonos organizando esa actividad en el caso de una hipsaritmia y presumanos con optimismo los resultados, a nivel conductual, que así obtendríamos. El logro anterior está en nuestra mano; las consecuencias que acarrearía para nuestro conocimiento de las funciones del cerebro, pensemos, son muchas; por lo que en este momento enfrentamos un reto que la investigación futura no debe soslayar.

REFERENCIAS

- Adrian, E.E. y Mathews, B.H. The Interpretation of Potential Waves in the Cortex. *Journal of Physiology*, 1934, 81, 440-471.
- Black, A.N., Young, G.A. y Batenchuk, C. The Avoidance of Hippocampal Theta Wave in Flexedilized Dogs and its Relations to Skeletal Movement. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 1970, 70, 15-24.
- Brown, B. Awareness of EEG Subjective Activity Relationships Detected Within a Closed Feedback System. *Psychophysiology*, 1971, 7, 441-564.
- Carmona, A. Trial and Error Learning of the Voltage of the Central EEG Activity. Selecciones de una disertación, 1967, 28b, 1157-1158.
- Delgado, J.M.R., Johnston, V.S., Wallace, J.D. y Bradley, R.J. Operant Conditioning of EEG in the Unrestrained Chimpanzee. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1969, 27, 701.
- Dewan, E.M. Occipital Alpha Rhythm, Eye Position and Lens Accomodation. *Nature*, 1967, 214, 975-977.

- Durup, G. y Fessard, A. L'electroencephalogramme de l'homme. *Année Psychologique*, 1936, 43, 267-298.
- Elul, R., Brain Waves, Intracellular Recording and Statistical Analysis Help Clarify Their Physiological Significance. En K. Euslein (dir.) *Data Acquisition and Processing in Biology and Medicine*, vol. 5, Pergamon Press, Oxford, 1968, 93-115.
- Ferster, C.B. y Skinner, B.F. *Schedules of Reinforcement*. Nueva York: Appleton Century Crofts, 1957.
- Fox, F.S., y Rudell, A.P. Operant Controlled Neutral Event: Formal and Systematic Approach to Electrical Coding of Behavior in Brain. *Science*, 1968, 162, 1299-1302.
- Fox, F.S., y Rudell, A.P. Operant Controlled Neural Events: Functional Independence in Behavioral Coding by Early and Late Components of Visual Cortical Evoked Response in Cats. *Journal of Neurophysiology*, 1970, 33, 548-561.
- Gastaut, H., Terzian, H., y Gastaut, Y. Etude d'une activité EEG méconnue: le rythme rolandique en arceau. *Marseille Medical*, 1952, 89, 296-310.
- Green, E.E., Green, A.M., y Walters, E.D. Voluntary Control of Internal States: Psychological and Physiological. *Journal of Transpersonal Psychology*, 1970, 2, 1-26.
- Hull, C. *Principles of Behavior*. Nueva York, Appleton Century Crofts, 1943.
- Kamiya, J. Operant Control of the EEG Alpha Rythm and Some of its Reported Effects on Consciousness. En Tart, C. (dir.), *Altered States of Consciousness: A Book of Readings*, Nueva York: Wiley, 1969.
- Li, C.L., y Jasper, H.H. Microelectrode Studies of the Electrical Activity of the Cerebral Cortex in the Cat. *Journal of Physiology*, 1953, 121, 117-140.
- Lopes da Silva, F.H. Van Lierop, T.H., Schirijer, C.F. y Storm, Van Leeuwen, W. Organization of Thalamic and Cortical Alpha Rhythms: Spectra and Coherences. *EEG and Clinical Neurophysiology*, 1973, 35, 627-639.
- Luzoro, J. Control discriminativo de ritmos corticales. En Alcaraz V.M., Brady, J.V., y Shapiro, D., (dirs.) *El condicionamiento de los sistemas internos de respuesta, México*: Trillas, (en prensa).
- Luzoro, J. Encadenamiento de ritmos corticales, tesis para obtener el grado de maestro, UNAM.
- Lynch, J.J. Paskewitz, D.A. On the Mechanisms of the Feedback Control of Human Brain Wave Activity. *The Journal of Nervous and Mental Diseases*, 1971, 153, 205-217.
- Morison, R.S., y Dempsey, E.W. A study of Thalamo-Cortical Relations. *American Journal of Physiology*, 1942, 135, 281-292.
- Mullholand, T.B., y Peper, E. Occipital Alpha and Accomodative Vergence, Pursuit Tracking and Fast Eye Movements. *Psychophysiology*, 1971, 8, 556-575.
- Olds, J., y Olds, M.E. Interference and Learning in Paleocortical Systems. En Fessard, A. y otros (dirs.) *Brain Mechanisms and Learning*. Londres: Blackwell, 1961, 153-187.
- Skinner, B.F. *Contingencies of Reinforcement: A theoretical Analysis*. Nueva York: Appleton Century Crofts, 1969.
- Sterman, M.B. Neurophysiologic and Clinical Studies of Sensorimotor EEG Biofeedback Training: Some Effects on Epilepsy. En Birk, L. (dir.) *Biofeedback Behavioral Medicine*. Nueva York: Grune Stratton, Inc. 1973, 147-165.