

Imágenes del cerebro perturbado



AUGUSTO FERNÁNDEZ GUARDIOLA

RODRIGO FERNÁNDEZ MAS

Es muy antigua la idea de que los trastornos mentales se deben a una alteración del cerebro. Ya Hipócrates afirmaba que en el cerebro se integraban aspectos psíquicos como la alegría, la tristeza, el placer y el dolor. Hizo observaciones en cadáveres de epilépticos y de enfermos que ahora llamaríamos psicóticos, que lo llevaron a pensar que esos padecimientos tenían su origen en un trastorno cerebral. Sin embargo, tuvieron que pasar muchos años antes de que se comenzaran a acumular pruebas de ello en relación con las epilepsias, y todavía muchos más antes de que se tuviera evidencia de que lo mismo sucedía con varios trastornos mentales, con la locura. Hipócrates se adelantó más de dos mil años a su tiempo.

Actualmente las técnicas de imagen cerebral, las neuroimágenes, tratan de integrar datos estructurales y funcionales del cerebro vivo, utilizando métodos llamados “no invasivos”, porque no es necesario, para obtener la información, abrir el cráneo e introducir dispositivos de medida en su superficie o en su interior, o tomar pequeñas muestras de los tejidos que componen el encéfalo. Ahora bien, las ciencias que tienen como objetivo el estudio del sistema nervioso, las neurociencias, son de lo más variado y distintas entre sí. La neuroanatomía se ocupa de las estructuras micro y macroscópicas; la neurofisiología, de la actividad eléctrica, principalmente, así como de la integración de funciones sensoriales y motrices y de los actos reflejos; la neuroquímica, de las sustancias que lo forman, incluyendo las más diversas moléculas, y sobre todo de los posibles neurotransmisores; la neuropsicología se ocupa de la integración cerebral de la actividad mental. Además, contribuyen a las neurociencias la genética, la física, las matemáticas y, principalmente, las ciencias de la computación. La cantidad de datos que día a día se obtiene con el ejercicio de todas estas ciencias es enorme. Así, al enfrentar el problema de la imagen cerebral, vemos que ésta no puede ser única y revelar *todo*: la estructura y las diversas esferas del funcionamiento cerebral a la

vez. Necesariamente vamos a tener diferentes tipos de imagen cerebral.

Si se observa alguna parte del cerebro en un microscopio, por ejemplo la corteza, es notable la enorme cantidad de neuronas que aparecen conectadas unas con otras de manera ordenada, a través de las cuales viajan pulsos eléctricos. Es evidente entonces que el cerebro es de naturaleza dinámica y que ciertas funciones sensoriales conocidas, por ejemplo la visión, están bien definidas espacialmente, es decir, están localizadas en centros neuronales conocidos (corticales y subcorticales). Para el estudio de estas funciones sensoriales se pueden aplicar diferentes metodologías, unas estáticas, como la histología, y otras dinámicas, como el registro de potenciales evocados, todas ellas técnicas no invasivas de imágenes cerebrales. El estudio de las propiedades dinámicas de estas funciones sensoriales tiene que hacerse de manera simultánea con la estimulación sensorial y la respuesta evocada, de manera que los métodos de análisis que se apliquen requerirán de una resolución temporal suficientemente alta. Esta última necesidad no permite que algunos de los métodos de imágenes descritos hasta ahora puedan aplicarse a experimentos de descripción dinámica de un cerebro perturbado, dado que el tiempo en el que generan una imagen del cerebro es muy largo; sin embargo, hay métodos que por su naturaleza son aplicables a experimentos en tiempo real. Estos métodos son el *mapeo* de la actividad eléctrica cerebral (BEAM), la tomografía por emisión de positrones (PET), la tomografía computarizada por la emisión de fotones aislados (SPECT) y, recientemente, la tomografía por resonancia nuclear magnética funcional (NMRI).

El BEAM es el método que tiene menor resolución espacial pero es el que puede tener mayor resolución temporal, que está determinada básicamente por la velocidad de adquisición del electroencefalograma y la velocidad de procesamiento del sistema de cómputo asociado. Describiremos brevemente estos métodos de imagenología cerebral.

La época de la histología del sistema nervioso

Las primeras imágenes de la organización del cerebro fueron detectadas en cadáveres, tanto de humanos como de animales, fijados y cortados en finas rebanadas, teñidos con las más diversas técnicas y observados en el microscopio. Con ello se logró un gran avance en el siglo XIX y principios del XX. De hecho, este método sigue siendo de vanguardia en la investigación. Con él se obtuvo una imagen decisiva: ¡El cerebro estaba constituido por una sustancia *gris* y una sustancia *blanca*; en la primera se agrupaban las células, en la segunda, las fibras con sus prolongaciones, forradas de mielina! (ésta es una especie de envoltura, como el aislamiento de un cable eléctrico). Pronto se elaboraron técnicas histológicas que permitían teñir por separado la sustancia gris —las neuronas— y la blanca. Esto tuvo mucha importancia epistemológica, ya que se estableció la teoría de la neurona, la cual proponía que estas células son la unidad funcional y de desarrollo del sistema nervioso; tuvo asimismo gran importancia práctica pues se pudo utilizar el fructífero método de la correlación anatómo-clínica, es decir, fue posible relacionar los hallazgos de alteraciones histológicas con el tipo de enfermedad y, sobre todo, con los signos y síntomas de lesión cerebral que presentaron en vida los pacientes. Así se pudieron localizar en el cerebro muchas funciones, tales como la visión y la audición, el movimiento voluntario y el reflejo, las áreas dedicadas a la comprensión y emisión del lenguaje, etcétera; casi no hubo aspecto de la conducta humana que no fuera adscrito a regiones cerebrales. Pero la correlación cerebro-actividad mental de funciones como la memoria y el aprendizaje y sus trastornos, o la imagen mental del sueño y de la vigilia, y la conciencia, seguían siendo muy difíciles de investigar en el hombre; sin embargo, en los animales los métodos invasivos —los obtenidos con técnicas de electrodos implantados a permanencia en la superficie y profundidad del cerebro, para registro y estimulación, y con procedimientos que tomaban en cuenta la lesión crónica y la observación conductual— comenzaban a proporcionar datos e imágenes. También en los años cincuentas se obtuvieron datos sobre la respuesta del cerebro humano a la estimulación eléctrica de la corteza, y más tarde se logró mayor información sobre las estructuras profundas del cerebro; en estos casos, los métodos utilizados eran invasivos, cuya justificación ética era necesaria. Se estudiaba a enfermos epilépticos incurables médicamente, en los que se ensayaban métodos de extirpación neuroquirúrgica de los llamados “focos” epilépticos.

Aire en la cabeza; venas y arterias opacas

El cerebro no es un órgano macizo, tiene cavidades que se llaman “ventrículos”: dos laterales, un tercero medial y un cuarto, que se localiza al final hacia abajo, donde comienza la médula espinal. Estos huecos están llenos de un líquido trans-

parente, llamado líquido cefalorraquídeo (LCR), que también ocupa el espacio subaracnoideo (éste forma parte de las meninges y está entre la aracnoides y la piamadre); es decir, el cerebro, además de estar lleno de líquido en sus cavidades, está cubierto por una especie de colchón líquido que lo protege. Cuando se efectúa una radiografía simple del cráneo no se pueden observar los ventrículos que, como el resto del cerebro, son transparentes a los rayos X. Pero a los neurólogos se les ocurrió vaciarlos del LCR y llenarlos de aire a través del espacio subaracnoideo (neumoencefalograma) o directamente por punción ventricular (ventriculograma). Apareció entonces una imagen clara de hipodensidad. Las cavidades pueden estar deformadas o desplazadas por abscesos, tumores, etcétera, o estar sumamente dilatadas, lo que refleja atrofia de la corteza cerebral suprayacente. Éstas fueron las primeras imágenes de cerebros vivos perturbados o con debilidad mental profunda. Era, desde luego, una imagen “en negativo”; lo que se veía no era la lesión en sí sino la repercusión de ésta sobre el equilibrio del sistema ventricular.

Ante la evidencia de que los ventrículos se deforman y alteran con las lesiones cerebrales, los neurólogos se preguntaron si no pasaría lo mismo con las arterias y venas del cerebro. Y se dedicaron a hacerlas visibles *in vivo*. En los años treintas, Egas Moniz¹ introdujo la angiografía cerebral. Ésta consiste en inyectar sustancias con moléculas opacas a los rayos X en las arterias que irrigan el cerebro y tomar radiografías seriadas de la etapa arterial del recorrido de las sustancias y de la etapa venosa de retorno. Este procedimiento enriqueció mucho el diagnóstico tanto de las lesiones de las propias arterias y venas (muy comunes en la edad madura) como de otros procesos ocupativos cerebrales, que al instalarse y crecer deforman el curso normal de los vasos. En la figura 1 pueden verse dos ejemplos de neu-
mo y angiografía.

La tomografía computarizada: “cortando” el cerebro con un fino cuchillo de rayos X

Actualmente contamos con la tecnología para generar un pequeño haz de rayos X, dirigirlo y enfocararlo en un punto determinado y luego medir con mucha exactitud cuánta radiación se queda en el tejido y cuánta sale de él. Este modelo es el que utiliza la técnica de tomografía computarizada (CT), y consiste en un “cuchillo” de rayos X que además puede moverse dentro del cerebro con mucha precisión sin modificar sus características funcionales. Cuando este fino haz se mueve de manera ordenada y se hacen mediciones simultáneamente, se logra una imagen que muestra las densidades en una rebanada de cerebro. Los médicos han aprendido a darles significados muy precisos a estas imágenes y a asociarlos a patologías bien definidas.

¹ Investigador portugués que recibió el Premio Nobel e inició además la psicocirugía con la lobotomía prefrontal.

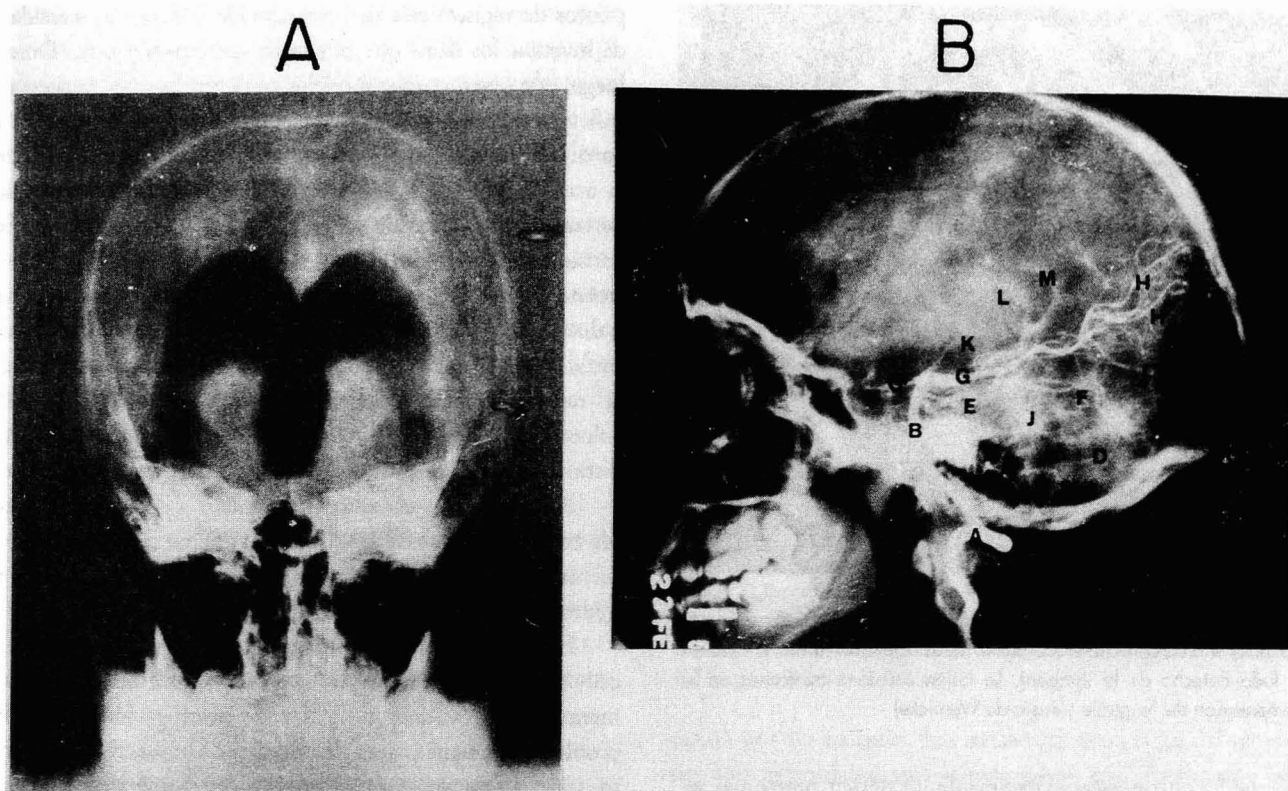


Figura 1. Ventriculografía de un caso de hidrocefalia (A). Angiografía vertebral (arteriograma lateral) (B). Tomado de *Anatomía funcional del sistema nervioso* de Luis López Antúnez, Limusa, México, 1993

Los antecedentes de la tomografía son muy variados y provienen de ciencias tan dispares como son las investigaciones sobre los campos gravitacionales, la astronomía solar y la microscopía electrónica. Muchos investigadores trataron de obtener una imagen de una matriz de coeficientes de atenuación de los rayos X; algunos lo hicieron con métodos rudimentarios, como Cormack en 1963, pero no fue hasta 1967 cuando G. N. Hounsfield, un ingeniero de los laboratorios de investigación de la fábrica de instrumentos musicales EMI Ltd., en Inglaterra, tuvo una idea mientras investigaba técnicas de reconocimiento de patrones. Era simple: estaba convencido de que en muchas áreas de trabajo se perdían grandes cantidades de datos, debido a la ineficiencia en los métodos de recuperación. Pensó que las imágenes del interior del cuerpo podían reconstruirse a partir de medidas de la transmisión de rayos X tomadas desde todas las direcciones posibles, siendo el método más conveniente el tomográfico y utilizando tubos fotomultiplicadores en lugar de la película usual de radiografía. En 1979 Hounsfield compartió con Cormack el Premio Nobel de Fisiología y Medicina. (No faltó quien protestara porque le daban un premio de medicina a un ingeniero de una fábrica de juguetes, que además había hecho las primeras grabaciones de los Beatles.) Desde entonces el adelanto técnico ha sido enorme; en las primeras tomografías se tardaban horas o muchos minutos. En la actualidad con los aparatos de la quinta generación se efectúa el barrido en 16 milisegundos.

La tomografía ha sido de gran ayuda en la investigación de los centros de lenguaje, a través del estudio clínico de las afasias y corroboración tomográfica (Fig. 2).

La gravedad y la cronicidad de las alteraciones mentales asociadas con la esquizofrenia han impulsado a numerosos autores a ensayar los métodos no invasivos con el afán de encontrar una alteración cerebral que explique la enfermedad. Cuando surgió la tomografía por computadora se comprobó en seguida que un grupo de esquizofrénicos mostraba un aumento en el tamaño de sus ventrículos laterales, que no eran patentes en sujetos no enfermos o en enfermos de otros padecimientos nerviosos. Desde luego, los ventrículos deben su forma y tamaño a las estructuras que los rodean; así, la dilatación encontrada en los esquizofrénicos puede deberse a cambios en el tálamo, los ganglios basales y parte de la corteza anterior del cerebro, donde se supone que se integran funciones cognoscitivas. En una revisión hecha en 1990 se encontró lo siguiente: de 1568 enfermos de esquizofrenia (con mucho, la más frecuente y grave de las enfermedades mentales), 1279 (81.56%) presentaban dilatación de los ventrículos laterales, comparándolos con una población de enfermos no esquizofrénicos y con sujetos normales. Es muy probable que si se hubiera hecho la comparación exclusivamente con sujetos normales, el porcentaje de dilatación ventricular en la esquizofrenia hubiera sido mucho más alto pues muchos pacientes con problemas neurológicos o con defectos congénitos de desarrollo pueden presentar dilatación de los ventrículos laterales.

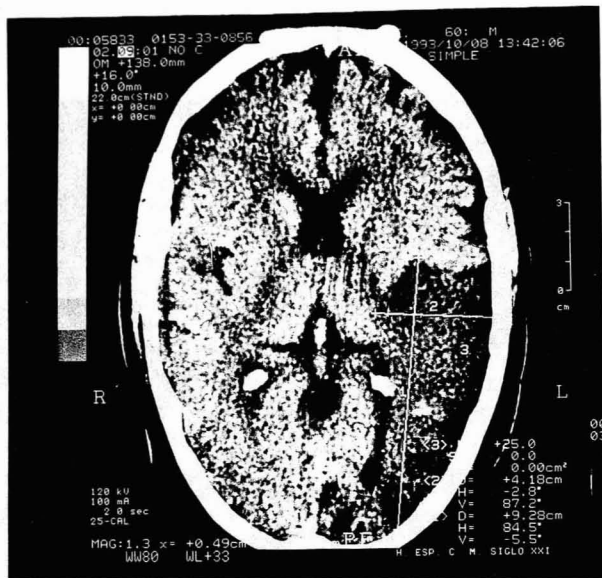


Figura 2. Tomografía axial computarizada que muestra una amplia zona de infarto cerebral en el lóbulo temporal izquierdo (área oscura en el lado derecho de la imagen). La lesión ocasionó trastornos en la comprensión del lenguaje (afasia de Wernicke)

Se ha encontrado evidencia de un déficit prefrontal selectivo en pacientes con esquizofrenia. Estos enfermos muestran una relación volumen ventricular-volumen cerebral más alta de lo normal, además de que su tercer ventrículo es más amplio, lo que sugiere atrofia de núcleos del hipotálamo. Es interesante señalar que desde los años sesentas, el doctor Dionisio Nieto (del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM), utilizando material *post mortem* de cerebros de esquizofrénicos y empleando las técnicas de la escuela de Cajal, registró estas alteraciones degenerativas del hipotálamo en los esquizofrénicos.²

El cerebro dinámico

Existen métodos generadores de imágenes cerebrales que son inherentemente estáticos en el tiempo o dinámicos por naturaleza. La tomografía computarizada se puede considerar estática, ya que muestra una imagen con estructuras anatómicas que evolucionan muy lentamente. Por el contrario, los métodos que ven la actividad cerebral en términos de voltaje o de cambios químicos son de naturaleza dinámica, ya que es posible hacer imágenes consecutivas, que serán, probablemente, diferentes entre sí. Un ejemplo es la generación de mapas de voltaje sobre la superficie de la corteza cerebral; estos mapas pueden tener una resolución temporal sumamente alta. Pueden generarse miles de mapas en un segundo y describir fielmente un fenómeno eléctrico en el cerebro, como un potencial evocado. Esta metodología tiene una limitación importante respecto a la resolución espacial. El número de

puntos de registro eléctrico es reducido y surge la necesidad de inventar los datos que hay entre un punto y otro. Desde luego, este invento sigue modelos muy precisos que se acercan suficientemente a la realidad y permiten hacer inferencias a partir de los mapas eléctricos. Otra limitación de los mapas de la actividad eléctrica es que sólo ven lo que sucede en la corteza cerebral (porque ahí están puestos los electrodos). Se considera un método no invasivo porque se utiliza el electroencefalograma (EEG), que se registra en el cuero cabelludo y detecta el campo eléctrico generado en las neuronas de las capas superficiales de la corteza cerebral, que tiene que pasar las meninges (dura, aracnoides y piamadre) y el hueso del cráneo. Este campo eléctrico recorre varios milímetros y sufre distintas distorsiones antes de ser registrado por los electrodos.

Este método se utiliza básicamente para hacer seguimientos en la corteza cerebral en tiempo real, y es posible incrementar su resolución temporal simplemente aumentando el poder de la computadora que esté generando los mapas.

El mapeo (algunos prefieren el término cartografía) de la actividad eléctrica cerebral (BEAM) se ha utilizado ampliamente en aplicaciones clínicas y de investigación básica. El problema fundamental en clínica es que las situaciones experimentales no pueden controlarse como en la investigación básica. Es por esta razón que en clínica se han aplicado análisis estadísticos sofisticados y bases de datos normativas.

En investigación básica generalmente se controla el protocolo experimental porque se pueden aplicar estímulos en estructuras internas del cerebro de animales y esperar las respuestas (lo cual no se hace en humanos). Estas respuestas están incluidas en el EEG basal y se pueden filtrar para obtener una señal que corresponda únicamente al estímulo aplicado. Este modelo permite estudiar con mucha precisión diversas vías de propagación y diferentes centros neuronales que estén relacionados y que tengan conexiones con la corteza cerebral.

Las bases de datos normativas que se utilizan en investigación clínica se hacen con grandes cantidades de mapas en situaciones control (sujetos normales) y en diferentes patologías. Las bases de datos luego son comparadas con mapas de sujetos a los que se trata de hacer un diagnóstico para posteriormente determinar un posible desorden. El EEG se considera una señal aleatoria en términos matemáticos, porque no existe una relación formal que lo defina. Este hecho hace difícil su tratamiento numérico y es por esto que se realiza en términos estadísticos y de desviaciones típicas; además, el error al hacer un diagnóstico partiendo sólo del EEG puede ser significativo.

El EEG normal varía en frecuencia y amplitud en relación con diversos estados de actividad cerebral, como la atención, la somnolencia y las distintas etapas del sueño. También los ritmos del EEG varían mucho en enfermedades como las epilepsias, en procesos ocupativos (tumores, infartos o hemorragias) y en el estado de coma. A través de la experiencia estos ritmos han sido clasificados —según su

² D. Nieto y A. Escobar, "Major Psychosis", en *Pathology of the Nervous System*, McGraw-Hill, Nueva York, 1972.

frecuencia, su forma, su amplitud y localización— en *delta* (0.5-4.0 ciclos por segundo, cps), *theta* (5.0-7.0 cps), *alfa* (8.0-13 cps) y *beta* (arriba de 16 cps). Los mapas eléctricos cerebrales se han elaborado siguiendo estas frecuencias y han servido para caracterizar diversos padecimientos o establecer modelos experimentales en animales.

Una técnica que ha enriquecido los mapas eléctricos cerebrales es la combinación del EEG con potenciales evocados sensoriales (PES). Estos potenciales son cambios eléctricos bruscos, debidos a la activación simultánea de miles de neuronas cuando se estimula un órgano de los sentidos; por ejemplo, cuando se ilumina la retina con un destello luminoso o se activa el oído con un sonido intenso y breve. Las respuestas o potenciales evocados sensoriales en el cerebro fueron descritos en los años treinta por Lord Adrian (Premio Nobel) y causaron un gran revuelo epistemológico pues constituían la primera prueba de un cambio en la actividad celular, que se acompaña de una percepción en el campo de la conciencia; es decir, representaban un paso importante en el establecimiento de la identidad mente-cerebro.

En cuanto al cerebro perturbado, en psiquiatría, los datos de los mapas eléctricos cerebrales han sido poco específicos en relación con la esquizofrenia pero sí han revelado un hallazgo de importancia: los enfermos muestran una cantidad mayor de actividad *delta* sobre la superficie total del cerebro que los controles sanos; esto ha sido comprobado por diversos investigadores. Por otra parte, al asociar los mapas de EEG con PES de diverso origen, pero sobre todo los originados por estimulación de la piel, se ha encontrado que en los esquizofrénicos se presentan más difusos y sin la estrecha relación con la intensidad del estímulo que es característica de los sujetos normales.

Resonancia en el cerebro

La diferencia fundamental entre la tomografía computarizada y la resonancia magnética nuclear (NMRI) es que la primera, como ya dijimos, utiliza rayos X y en ella la imagen se forma midiendo la atenuación (que es proporcional a la absorción del tejido) de un haz muy fino; por su parte, la resonancia magnética nuclear forma una imagen del cerebro midiendo la variación de un campo electromagnético que puede ser enfocado y controlado con mucha precisión. Este método utiliza el campo magnético inherente de algunos átomos. El más común es el del hidrógeno, que está ampliamente distribuido en el cerebro (puesto que éste, como la mayoría de los tejidos, tiene una alta proporción de agua), de manera que este método puede generar imágenes muy finas y con mucha resolución espacial de las concentraciones del átomo de hidrógeno, es decir, de agua.

En principio, se aplica un campo magnético (como el de un imán) a todo el cerebro y los átomos de hidrógeno emiten señales de radio frecuencia (RF) que son detectadas a dis-

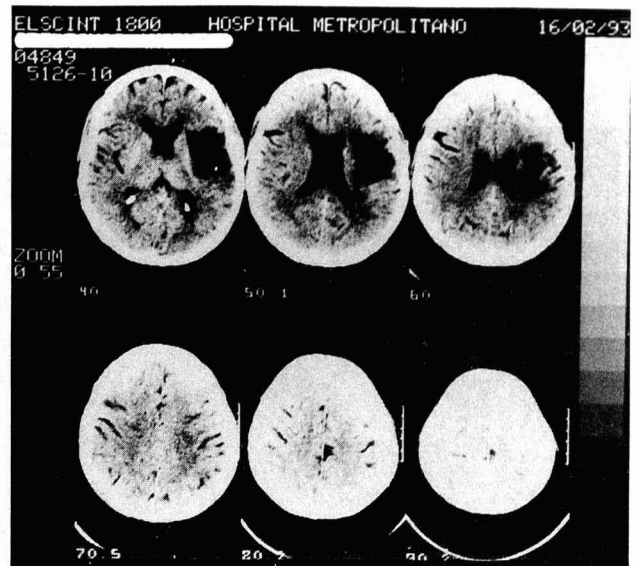


Figura 3. Resonancia magnética nuclear (NMRI) que revela la presencia de un infarto cerebral fronto-parietal izquierdo (área oscura en el lado derecho de la imagen). La lesión ocasionó trastornos en la expresión del lenguaje (afasia de Broca)

tancia por un receptor. Las señales ya procesadas del receptor son aplicadas a una computadora que finalmente las traduce en una imagen con tonos grises, que será interpretada por un médico especialista y mostrará fielmente la estructura anatómica del cerebro y sus lesiones eventuales.

Otro aspecto importante de esta metodología es que se generan imágenes en tres planos (x, y, z) mientras que la tomografía computarizada lo hace en un plano, lo que dificulta la reconstrucción tridimensional de estructuras internas.

La NMRI está teniendo una aplicación indiscutible en neurología (Fig. 3), aunque también comienza a tenerla en los padecimientos mentales. De ser un procedimiento estático está pasando a ser dinámico.

La investigación de la esquizofrenia ha puesto énfasis en el estudio de los lóbulos frontales, el cuerpo calloso y el tamaño global del cerebro.

Jugando con positrones y fotones: el pet scanner y la tomografía computarizada de la emisión de fotones aislados

Desde que se formularon hipótesis sobre el posible papel de la dopamina y otras catecolaminas en las psicosis se desarrollaron métodos para poder medir estas aminas en el cerebro y encontrar posibles diferencias de su metabolismo en sujetos normales y enfermos mentales. Los primeros indicios de que se iba por buen camino provenían de exámenes de los metabolitos en el LCR, la orina y el plasma sanguíneo pero, desde luego, estas medidas no podían suministrar datos sobre localización cerebral.

En 1979, Reivich y Wolf y en forma independiente Phelps y colaboradores describieron un método no invasivo que podía medir cuantitativamente el consumo de glucosa local en áreas cerebrales de seres humanos conscientes y ca-

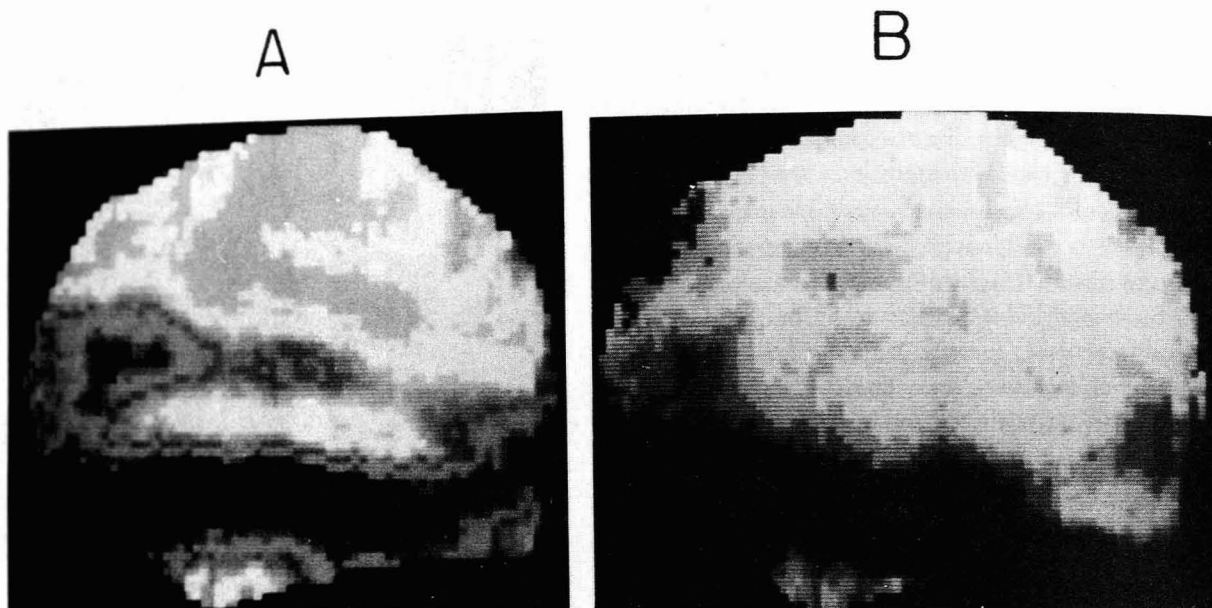


Figura 4. Asimetrías metabólicas izquierda-derecha en sujetos normales (A) y en esquizofrénicos (B), sujetos a una prueba de estímulos cutáneos dolorosos. Los pacientes muestran menor diferenciación en la prueba

paces de ejecutar conductas programadas. Esto se logró combinando los métodos de medida del metabolismo de la glucosa con los de emisión de positrones (PET) y las determinaciones tomográficas del flujo sanguíneo cerebral.

El PET utiliza "radiotrazadores", glucosa marcada, oxígeno u otros componentes del metabolismo cerebral. En principio, los radiotrazadores emiten positrones (con carga positiva); cuando éstos chocan con los electrones libres en el tejido (con carga negativa) se aniquilan y dan origen a dos fotones de rayos *gamma* que parten en ángulo recto, que son los detectados por el PET.

El PET y el SPECT han causado una verdadera revolución, ya que por primera vez se ha logrado relacionar el funcionamiento regional del cerebro con actividades mentales específicas. Las siguientes han sido las medidas más importantes: utilización local cerebral de la glucosa (deoxiglucosa); flujo sanguíneo cerebral y consumo de oxígeno; medidas del receptor a la dopamina (con radiotrazadores) y de receptores a opiáceos y a benzodiacepinas.

Estos métodos han proporcionado datos de interés acerca de la integración de la percepción sensorial y de las diversas fases de la construcción del lenguaje. En cuanto a las enfermedades mentales, han revelado diferencias significativas en las respuestas sensoriales a estímulos dolorosos entre sujetos normales y pacientes esquizofrénicos (Fig. 4). También se ha reportado una diferencia notable de consumo de glucosa en sujetos que duermen y no sueñan y en aquéllos con sueños angustiosos o pesadillas.

El PET es un procedimiento muy costoso debido a los equipos de detección que utiliza. En México no se cuenta todavía con este método. Sin embargo, el SPECT, de mucho menor costo, puede ser una alternativa. Es de reciente invención y no existe mucha experiencia clínica con él pero la

información aumenta rápidamente, sobre todo en farmacología. El SPECT utiliza un solo fotón *gamma* (en lugar de dos como el PET) y determina su punto de origen basado únicamente en su trayectoria. Es muy probable que éste sea un método muy empleado en un futuro.

Existe una nueva tendencia: la búsqueda de imágenes que resuman diversas características de un proceso, utilizando varios de los métodos que hemos descrito someramente. Cuanto más multidisciplinario sea el origen de las imágenes, más fidedignas y cercanas a la realidad serán. Cada día cobra más fuerza la estrategia de combinar la tomografía computarizada, la de emisión de positrones, el flujo regional sanguíneo cerebral y los mapas de EEG y PES para extender las investigaciones sobre las enfermedades mentales. Lo que se ha realizado hasta ahora corrobora la alteración prefrontal de la esquizofrenia.

Sin embargo, siempre nos quedará la duda de la veracidad total de las imágenes, aunque la mayor parte de las veces sean sumamente útiles para, por ejemplo, establecer un diagnóstico clínico. Quizá la imagen ideal sea la que surja algún día no en el *display* de una computadora sino en la imaginación de un investigador, que más tarde se empeñe en instrumentarla. Así como algún día debió suceder con los centros de lenguaje de Broca o la neurona imaginada por Cajal. ♦

Agradecimientos: Las imágenes tomográficas cerebrales de las afasias son cortesía del Dr. José Marcos Ortega, Sección de Neurolingüística del Hospital General de México, SSA. El Dr. Adrián Martínez Cervantes, del Instituto Mexicano de Psiquiatría, colaboró en la adquisición de los mapas EEG y la redacción del trabajo. El señor Raúl Cardozo elaboró el excelente material fotográfico.