



# Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma

Andreé Savatierra <sup>1</sup>

## Resumen

*Se aborda una introducción al arsenal de procedimientos y metodologías que, derivados de las aportaciones de diversas disciplinas, ofrecen herramientas cuantiosas para el estudio del sistema nervioso central. Así, de la mano del desarrollo de las nuevas tecnologías se proporciona información cualitativa y cuantitativa de las principales técnicas de neuroimagen (Rayos X, Tomografía axial computarizado, Angiografía, Resonancia magnética, Espectroscopia, Tensor de difusión, Resonancia magnética funcional y Tomografía por emisión de positrones) centradas en establecer las enrevesadas relaciones entre el cerebro y la conducta. Adicionalmente, se exponen elementos de interés respecto a una de las principales técnicas de exploración neurofisiológica, electroencefalograma.*

**Palabras clave:** *Técnicas de neuroimagen, neuroimagen nuclear, exploración neuroanatómica, electroencefalograma.*

## Abstract

It addresses an introduction to the arsenal of procedures and methodologies that, derived from various disciplines, offer substantial tools for the study of the central nervous system. Thus, qualitative and quantitative information on the main neuroimaging techniques is provided with the development of new technologies (X-rays, Computed axial tomography, Angiography, Magnetic resonance imaging, Spectroscopy, Diffusion tensioner, Functional MRI and Positron Emission Tomography) focused on establishing the complicated relationships between the brain and the behavior. In addition, practical and of interest are exposed to

one of the main techniques of neurophysiological examination, electroencephalogram.

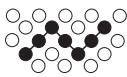
**Key Word:** *Neuroimaging techniques, nuclear neuroimaging, neuroanatomical exploration, electroencephalogram.*

**ISSUE N°1**  
**JUNIO**  
**2021**

**Recibido:**  
01/03/2021

**Aceptado:**  
22/04/2021

(1) MSc. Juan Andreé Salvatierra Baldeón. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Contacto: Av. Arequipa n° 4670, Miraflores, Lima, Perú (15074). 4andree4@gmail.com



## *Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*

### INTRODUCCIÓN

Las técnicas de neuroimagen tienen dos características básicas: 1) Valoran un aspecto o característica del cerebro y 2) traducen la información recibida en una imagen gráfica para ser estudiada.

Para efectos prácticos pueden dividirse en dos tipos: estructurales y funcionales (Figura 1). Sin embargo, antes de profundizar en cada una, es necesario considerar la limitación y la contraindicación de las técnicas, esta última entendida como el impedimento para el diagnóstico por medio de imágenes, ya que de hacerlo podría incurrirse en un acto iatrogénico (embarazadas y rayos X).

En ese mismo sentido, se ha de tener en cuenta los valores predictivos de la técnica y los falsos positivos o negativos que puede llegar a representar (Tabla nº 1). Así mismo, debe considerarse el nivel de invasión de la prueba como el alcance económico del paciente.

### Técnicas estructurales en imagenología

#### **Rayos X**

Designan una radiación electromagnética invisible y son producidos por el choque de electrones, emitidos por un cátodo (polo -) y contra los elementos de un ánodo (polo +). En ese sentido, el principio físico para obtener la imagen es de los electrones acelerados a gran velocidad que chocan con un objeto metálico (Cobalto 60), transformando su energía en 99% calor y 1% energía. Así, en el proceso los rayos X que salen del cuerpo son filtrados por una rejilla que solo permite el paso de aquellos con dirección perpendicular, donde se encuentran las pantallas intensificadoras y las películas. La imagen obtenida se caracteriza por una escala pictográfica entre blanco y negro, las cuales simbolizan el grado de dificultad de penetración de los rayos X. Actualmente, no es muy empleada debido al riesgo mutagénico que puede llegar a desencadenar, así como su alta radiación y la baja resolución espacial que ofrece.

#### **Tomografía axial computarizada**

Utiliza los mismos principios que la radiología convencional, pero tiene una particularidad, un tubo de rayos X instalado en un soporte que gira 360°. Así mismo, hay detectores de rayos X en la totalidad del círculo, mientras un computador asigna un valor

numérico a cada celda (voxel) de la matriz obtenida. El nombre axial es porque obtiene cortes transversales de una región u órgano, perpendicular (90°) a su eje constitucional. En cuanto sus principios técnicos estos incluyen:

- (a) Colimación: El haz de rayos X puede cambiarse para obtener distintos cortes de grosor.
- (b) Sistema Helicoidal: Mientras el tubo de rayos X está activado, gira alrededor del paciente
- (c) Kilovoltaje: Escala de voltaje, corta genera menor variedad de grises y larga una mayor variedad. Resulta de utilidad para evaluar malformaciones congénitas, hidrocefalia, traumatismo craneoencefálico (TCE) y detección de tumores y hemorragias. En ese mismo sentido, es utilizado para establecer relaciones entre la localización de lesiones cerebrales de pacientes y sus déficits cognitivos.

#### **Angiografía**

Desarrollada por el neurólogo portugués Egas Moniz (nobel de medicina 1949). El propósito de la prueba es valorar la arquitectura de los vasos sanguíneos, no visible mediante una radiología convencional. Consta de una inyección de medio de contraste (sustancia radiopaca) vía intravascular, que bloquea los rayos X, revelándose así la morfología del árbol arterial. Los tipos más comunes de angiografía incluyen:

- (a) Flebografía : Permite estudiar el recorrido de la circulación venosa
- (b) Arteriografía : Permite observar anomalías de los vasos sanguíneos.

En cuanto a la utilidad, su uso es recomendable en lesiones de tipo arterial, identificación de aneurismas e isquemias, como para la evaluación de la vascularización de un tumor antes de una cirugía.

#### **Resonancia magnética nuclear.**

Descubierto en 1946 por Bloch y Purcell (nobel medicina 1952), no obstante es hasta 1980 cuando empieza a ser usado en humanos. Es una técnica imagenológica que utiliza potentes imanes y ondas de radio para crear imágenes del cerebro y tejido nervioso circundante. Algunos estudios requieren el uso de tintes especiales como Gadolinio (Gd) administrado en el antebrazo antes del examen, con el fin de tener mayor lucidez en ciertas áreas.

## Salvatierra

Las bases de su funcionamiento se fundamentan en las propiedades físicas de los átomos de Hidrógeno (H), debido a su abundancia en los tejidos orgánicos, lo cual resulta ideal para esta técnica. Así, la información en Resonancia Magnética proviene de las propiedades magnéticas naturales de los átomos de H, bajo la existencia de dos movimientos (Figura 2). Estos movimientos desencadenan un campo magnético alrededor de cada núcleo, los cuales son predominantemente positivos, generando así mayor actividad magnética (Figura 3). Es de gran utilidad para evaluar tumores cerebrales, alteraciones hipofisiarias, procesos desmielinizantes y eventos vasculo-cerebrales (E.V.C).

### Espectroscopia

Es una técnica derivada de la resonancia magnética convencional, que permite cuantificar la concentración de protones de ciertos compuestos químicos que se encuentran disueltos en el medio acuoso de los tejidos, permitiéndonos obtener datos sobre su participación en los procesos bio-químicos. No se trata propiamente de una imagen anatómica, sino del metabolismo que aporta información de utilidad para el diagnóstico diferencial de distintas enfermedades que afectan el SNC (Figura 4). Así, mediante el análisis de núcleos de Hidrógeno, la propiedad del movimiento giratorio y la inhomogeneidad, la cual depende de la frecuencia de oscilación en referencia con su contexto (ambiente del protón); se genera el registro de señales de metabolitos presentes en el tejido cerebral.

### Tensor de difusión

Técnica derivada de la resonancia magnética convencional, permite estudiar la direccionalidad, magnitud de la difusión de agua y visualización in vivo de la estructura de los tejidos del SNC. Es la única técnica que permite estudiar la integridad de las conexiones en sustancia blanca.

Los principios físicos se fundamentan en la difusión, entendida como la medición del movimiento aleatorio microscópico de las moléculas en un medio líquido (paso de moléculas de un lugar de mayor concentración a uno menor). En ese sentido, las imágenes por tensor de difusión permiten cuantificar el grado de anisotropía de los protones de agua en los tejidos. Así, nos permite realizar una reconstrucción 3D de las fibras nerviosas presentes en sustancia blanca, posibilitando el análisis de diferentes áreas funcionales relacionadas, por lo cual es gran utilidad

para el diagnóstico de isquemias (restricción de agua), envejecimiento (disminución de sustancia blanca), entre otras.

### Técnicas funcionales en imagenología

Se ocupan de medir estructuras, con las que es posible relacionar zonas del cerebro y aspectos propiamente conductuales/psíquicos

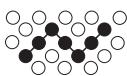
### Resonancia magnética funcional

Técnica que permite obtener imágenes de la actividad del cerebro, mientras el sujeto realiza una tarea. Pudiendo así, detectar áreas del encéfalo que a diferencia de la resonancia magnética convencional solo aportan una visión anatómica. Así, cuando una determinada región del cerebro aumenta su nivel de actividad (como otros tejidos del ser humano), consume una mayor cantidad de energía (oxígeno y glucosa). En ese sentido, cuando una región cerebral se activa por encima de su nivel basal, se produce un aumento en el consumo de sangre oxigenada, compensada con un incremento en la perfusión sanguínea y en la oxigenación de dicha región.

En las técnicas funcionales, será necesario la comparación entre imágenes obtenidas en dos momentos: experimental (relacionada con el proceso cognitivo de interés) y reposo (línea base). Dentro los principios, se pueden encontrar: Especificación cortical, vasodilatación cerebro – local, efecto magnético de la desoxihemoglobina y respuesta hemodinámica (Tabla nº 4). El cerebro es un órgano complejo que, en condiciones fisiológicas normales continuamente está reaccionando a impulsos o señales internas y externas.

Así, se sabe que cuando el cerebro se activa o trabaja, ocurren cambios locales en el flujo sanguíneo regional en áreas específicas del cerebro, dependientes del tipo de tareas que se esté realizando. En cualquier caso, estos cambios requieren un mayor consumo de oxígeno.

En ese sentido, la técnica se sustenta en la detección de cambios locales que suceden en la oxigenación y el flujo sanguíneo cerebral, en respuesta a la actividad neuronal. Por lo que es de gran utilidad para realizar mapeos cerebrales, evaluar los efectos de un evento vascular o traumático en el cerebro e incluso guiar la planificación de una cirugía o tratamientos quirúrgicos



### *Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*

#### **Tomografía por emisión de positrones**

Es una técnica de neuroimagen actual, utiliza un medicamento radioactivo que se acumula en áreas del cuerpo con niveles más elevados de actividad química. Para ello, se inyecta el radiomarcador por el brazo, generalmente de 30 a 60 minutos antes para que el cuerpo absorba.

Esta cantidad de material radioactivo inyectado en el torrente sanguíneo, se acumula en el área del cuerpo que está siendo examinada, la cual emite energía en forma de rayos gamma ( $\gamma$ ). Esta puede ser detectada por una cámara especial que con la ayuda de un ordenador, permiten crear imágenes sensibles a las emisiones radioactivas.

Por lo general, se utiliza fluorodesoxiglucosa /F-18 (molécula similar a la glucosa). Así, por ejemplo, las células cancerosas son metabólicamente más activas y pueden absorber glucosa a una tasa más alta, misma que puede ser observada por las imágenes ofrecidas por un TEP.

Así mismo, es factible superponer más de una imagen nuclear como las de tomografía axial computarizada o resonancia magnética, para producir vistas especiales. Es tipo de procedimientos son conocidos usualmente como “fusión de imágenes”, que permiten obtener una información más precisa para realizar un diagnóstico.

Dentro de las potencialidades de la técnica, resalta el hecho de poder fusionar las imágenes y realizar un PET/TC. Sin embargo, el radiofármaco puede tardar varias horas para acumularse en al área de interés, asimismo decae rápidamente por lo que es necesario establecer un horario rígido.

#### **Electroencefalograma**

Permite registrar la actividad eléctrica del cerebro, mediante un equipo especial (electroencefalógrafo). Es decir, registra la corriente eléctrica de las neuronas (potenciales de acción) y de los circuitos neuronales que hay en este órgano, generados comúnmente por el sistema molecular de bomba sodio-potasio (Figura 5). Así, la actividad eléctrica del cerebro genera mínimas señales eléctricas que pueden ser captadas mediante electrodos, situados en el cuero cabelludo. Estas señales son amplificadas y se pueden representar en una pantalla. Para este objetivo se usan electrodos, generalmente 15 pares, aunque dependerá del propósito (hasta 128 electrodos). En cualquier ca-

so, son repartidos por todo el cuero cabelludo, bajo una denominación internacional

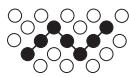
“10-20” (Denominada así porque los electrodos están espaciados entre el 10% y el 20% de la distancia total entre puntos reconocibles en el cráneo). Así, la comparación de las señales entre distintos electrodos permite obtener numerosos trazados distintos, lo que permite la exploración de la actividad cerebral en distintos lugares (Tabla n° 5).

#### **Potenciales relacionados con eventos**

Es necesario considerar la actividad normal, descrita como ondas alfa en las regiones posteriores, cuando estamos despiertos, relajados y con los ojos cerrados, misma que desaparece al realizar una tarea. Además evidencia la ausencia de actividad focal, signos de oposición de fase y actividad paroxística. (Figura 6).

Ahora los potenciales relacionados con eventos, son cambios en el voltaje dentro del Electroencefalograma(EEG), asociados a procesos sensoriales, motores o cognitivos, que se miden a partir de los mismos datos del EEG. (Tabla 6-10).

En general el EEG, permite la evaluación de la actividad eléctrica asociada con el procesamiento cognitivo en tiempo real. Además, no es invasiva, es económica, rápida e indolora. Por esta razón es ampliamente usada para la evaluación de casos de traumatismo craneo-encefálico, investigación en demencia, tumores, epilepsia y muerte neuronal



*Salvatierra*

## REFERENCIAS

1. Almagiá, A., & Lizana, P. (2010). Aspectos básicos de neurociencia. Módulo del curso: Neurociencias desde las neuronas al como Aprendemos. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
2. Aracil, J. (2005). Historia del Enfoque Sistémico. Complejidad y Tecnologías de la Información, 3(17): 1- 17.
3. Arnold, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Cinta de Moebi, 3(1): 40-9.
4. Álvarez, É. (2016). Neurochemical bases of depression. A medical model of depressive disorders. Elsevier; 23(1): 9-15.
5. Centre for Educational Research and Innovation (2010), Neurociencia: La exploración del cerebro. Madrid: Wolters Kluwer.
6. Carlson, N. (2014). Comunicación en el interior de la neurona. Fisiología de la conducta. Madrid: Pearson Education.
7. Carter, R. (2010). Impulso Nervioso. El Cerebro Humano. Reino Unido: Dorling Kindersley Ltd.
8. Kandel, E., Schwartz, J., & Jessell, T. (2001). Principios de Neurociencia. McGraw-Hill.  
La organización como Sistema Dinámico Complejo (s.f.). De la Teoría General de Sistemas a las Ciencias de la Complejidad [Internet]. Available from:  
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2658/Partel.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
9. Pinel, J. (2007). Conducción neural y transmisión sináptica. Biopsicología. Madrid: Pearson Education.

*Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*

*Tabla n° 1. Consideraciones estadísticas para la elección de una técnica de neuroimagen*

<b>Elección de una técnica de neuroimagen</b>		
<b>Valor predictivo</b>	+	Porcentaje de presentar la patología
	-	Porcentaje de no presentar la patología
<b>Falsos</b>	+	Diagnosticar a un sujeto sano como enfermo
	-	Diagnosticar un sujeto enfermo como sano
<b>Sensibilidad</b>		Porcentaje de pacientes enfermos detectados
<b>Especificidad</b>		Porcentaje de pacientes sanos diferenciados

\* (+)positivo. (-)negativo

*Tabla n° 2. TAC vs RM*

<b>Tomografía axial computarizada</b>	<b>Resonancia magnética</b>
Utiliza rayos X.	No utiliza radiación, se basa en campos magnéticos.
Los estudios son más rápidos.	Los estudios son toman tiempo en ser realizados.
Económicamente es más barata.	Es más costosa.
Permite llevar objetos de metal.	No se permite llevar objetos metálicos.
Presenta menor resolución espacial.	Tiene mayor resolución espacial.
Cuenta con una buena sensibilidad para detectar tumores y hemorragias.	Tiene mejor sensibilidad para detectar cambios sutiles en el cerebro.

*Salvatierra*

*Tabla nº 3. Principales metabolitos (espectroscopia)*

Metabolitos	Asociación
<i>N-acetilaspartato</i>	Mayor pico del espectro, es un indicador de la viabilidad neuronal y axonal.
<i>Alalanina</i>	Asociada de manera característica con los meningiomas
<i>Celina</i>	Precursor de la síntesis de acetilcolina, por lo que puede ser tomada como un marcador de procesos proliferativos (tumor cerebral).
<i>Citosol</i>	Indicador de abscesos piógenos, pero no se ha observado en tumores intracraneales.
<i>Creatina</i>	Utilizado como referencia, es el metabolito cerebral más estable.
<i>Mionositol</i>	Marcado específico glial.
<i>Lactato</i>	Relacionado con casos de isquemia, no es detectable en SNC sano.
<i>Lipidos</i>	Marcadores de necrosis y ruptura de la vaina de mielina

*Tabla nº 4. Principios de la RMF*

**Principios de la resonancia magnética funcional**

<i>Especificación cortical</i>	Término para expresar que cada función cerebral es ejecutada por una o más áreas definidas
<i>Vasodilatación cerebro – local</i>	El área cerebral que ejecuta una determinada función, sufre dilatación microscópica de sus vasos arteriales y venosos..
<i>Efecto magnético de la desoxihemoglobina</i>	La desoxihemoglobina se comporta como un imán microscópico.
<i>Repuesta hemodinámica</i>	La actividad neuronal en respuesta a estímulos, genera un aumento en exceso de oxihemoglobina y consecuentemente, disminución de desoxihemoglobina venosa.

*Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*

*Tabla n° 5. Relación neuroanatómica y funcional*

<b>Neuroanatomía y funciones</b>	
<i>Corteza frontal</i>	Actos motores
<i>Corteza parietal</i>	Sensaciones
<i>Corteza temporal</i>	Reconocimiento, memoria
<i>Corteza occipital</i>	Visión

*Tabla n° 6. Potenciales relacionados con eventos (PRE)*

<b>P.R.E</b>		
<b>Origen</b>	Actividad sincronizada entre miles de neuronas en un mismo momento, activado frente a una misma tarea. Pueden incluir aspectos visuales, somato-sensoriales y/o auditivos	
<b>Reflejan</b>	<i>Fisiológico</i>	Potenciales post-sinápticos sincronizados de grupos neuronales.
	<i>Neuropsicológico</i>	Procesamiento neural de la información

*Tabla n° 7. Mismatch Negativity – Potencial de Disparo*

<b>M.M.N</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Frontocentral 150 -220ms (post estímulo).</li><li>Representación electrofisiológica de la disparidad auditiva a nivel cortical.</li><li>Relacionado con la atención, percepción auditiva y discriminación de estímulos.</li><li>Marcador del deterioro cognitivo.</li><li>Potencial más importante para estudiar esquizofrenia (decremento en pacientes).</li></ul>

Salvatierra

Tabla n° 8. Potencial N 200

<b>N 200</b>		
Frontocentral 200 -350 ms (post estímulo)		
<i>N2a</i>	<i>Frontocentral-anterior</i>	<i>Frontocentral-posterior</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• No requiere atención consciente del estímulo</li><li>• Detección de la novedad</li><li>• Coincidencia de estímulos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere atención consciente del estímulo</li><li>• Supervisión de errores</li><li>• Inhibición de respuestas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere atención consciente del estímulo</li><li>• Atención visual</li><li>• Atención que se requiere</li></ul>

Tabla n° 9. Potencial 300

<b>P 300</b>	
Compuesta por ondas secundarias, que responde individualmente a diferentes estímulos	
<i>P3a</i> <i>Frontocentral (250-350ms)</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• Respuesta a la orientación y la novedad</li><li>• Marcado cognitivo de disfunción frontal (esquizofrenia, memoria de trabajo y funciones ejecutivas)</li></ul>	<i>P3b</i> <i>Centroparietal (300-450 ms)</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• Actualización de la información y procesamiento de la memoria.</li><li>• Señal muy robusta, pero sensible a cualquier tipo de lesión o enfermedad inespecífica</li></ul>

Tabla n° 10. Negatividad de Re-orientación

<b>RON</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Fronto central (400-700 ms/ post estímulo)</li><li>▪ Reorientar los procesos cognitivos a la tarea original</li><li>▪ Reenfoque de la atención, tras la distracción</li></ul>

*Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*

**Figuras**

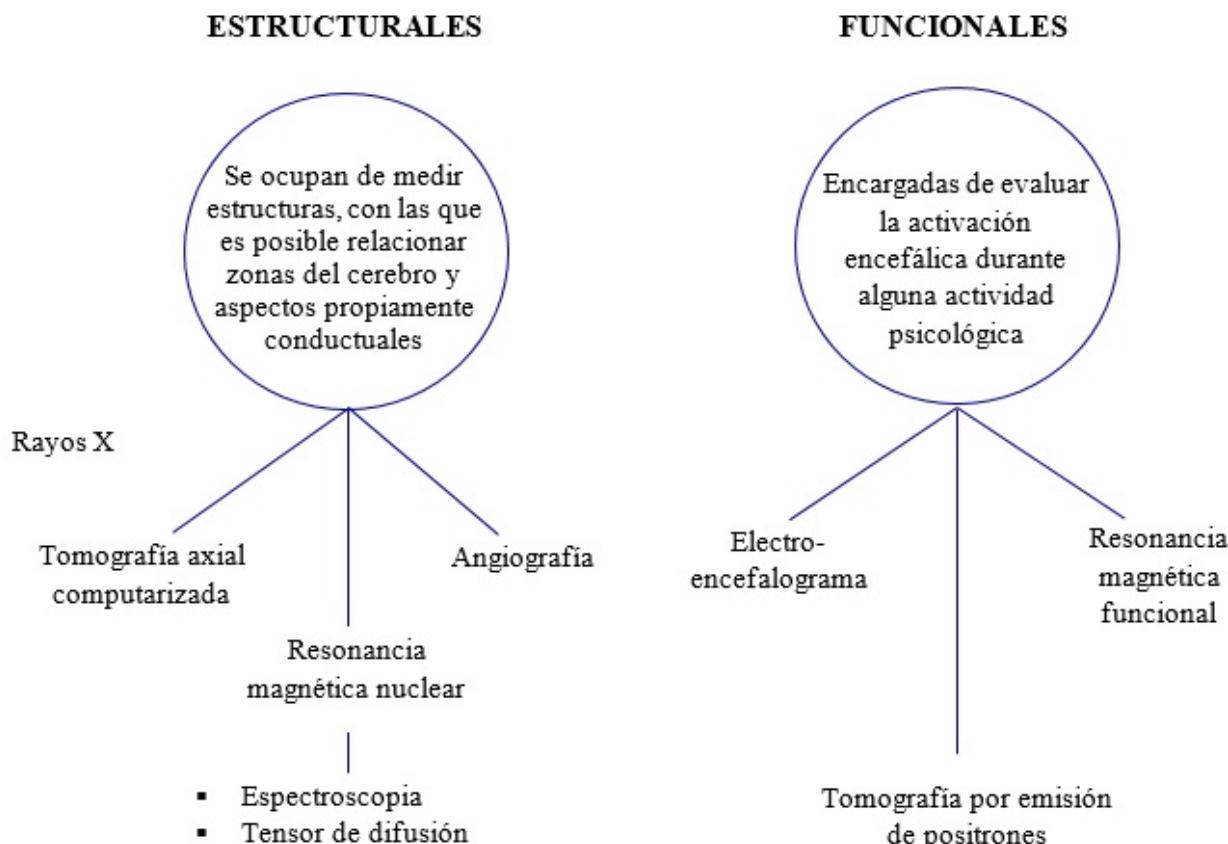


Figura 1. Tipos de técnica de neuroimagen

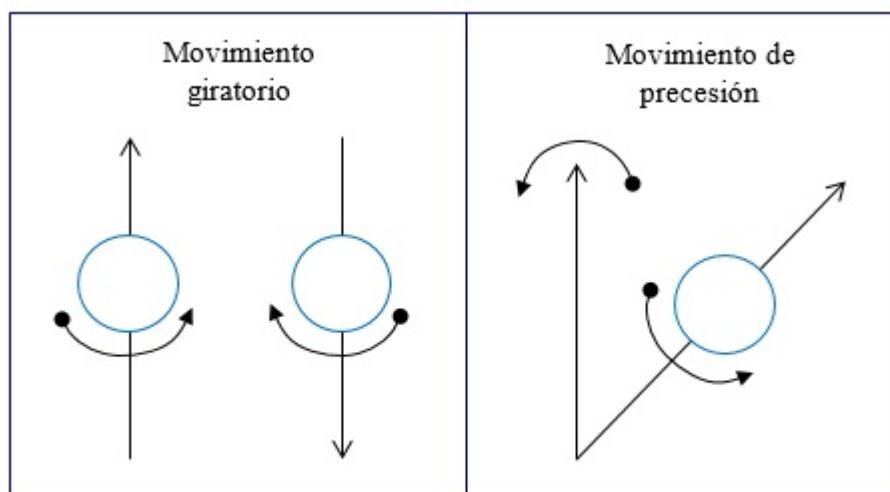
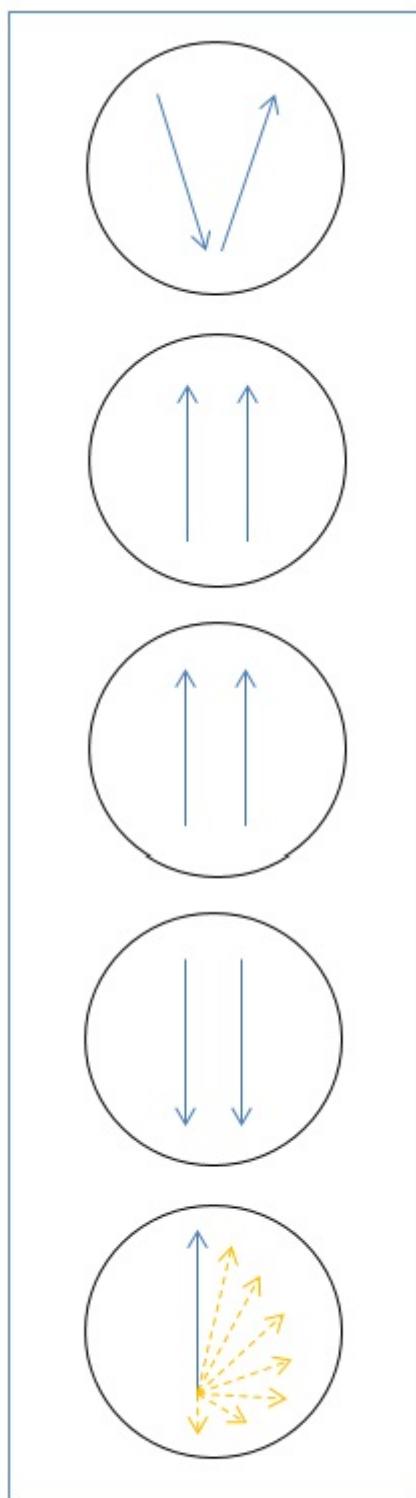


Figura 2. Movimiento que generan un campo magnético

Salvatierra



Condición normal

Vectores de los protones de H en direcciones aleatorias

Relajación longitudinal

Al introducir un campo magnético (T) el cuerpo se magnetiza ( $\uparrow\uparrow$ )

Inyección de energía

42.6Mhz con el fin de girar esta magnetización

Relajación transversal

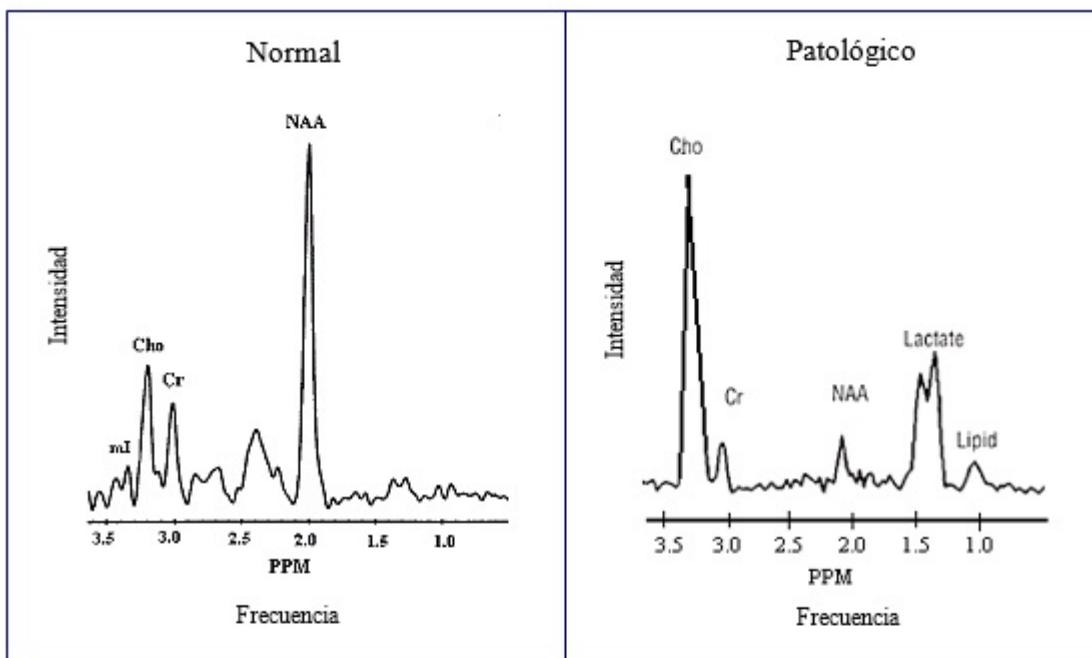
Inversión de los protones de H

Regresión a estado basal

Los vectores de los protones vuelven a su estado original, emitiendo energía. La cual puede ser leída por el equipo, que determina la señal del tejido y construye las imágenes.

Figura 3. Vectores de Hidrógeno y generación de energía

*Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*



~ Glioblastoma multiforme

\*(PPM) partes por millón, (mI) mioinositol, (Cho) colina, (Cr) creatinina, (NAA) N-acetil aspartato

*Figura 4. Caso normal vs patológico con espectroscopia*

Fuente: <http://publicacionesmedicina.uc.cl/cuadernos/2002/espectroscopia.html>

Salvatierra

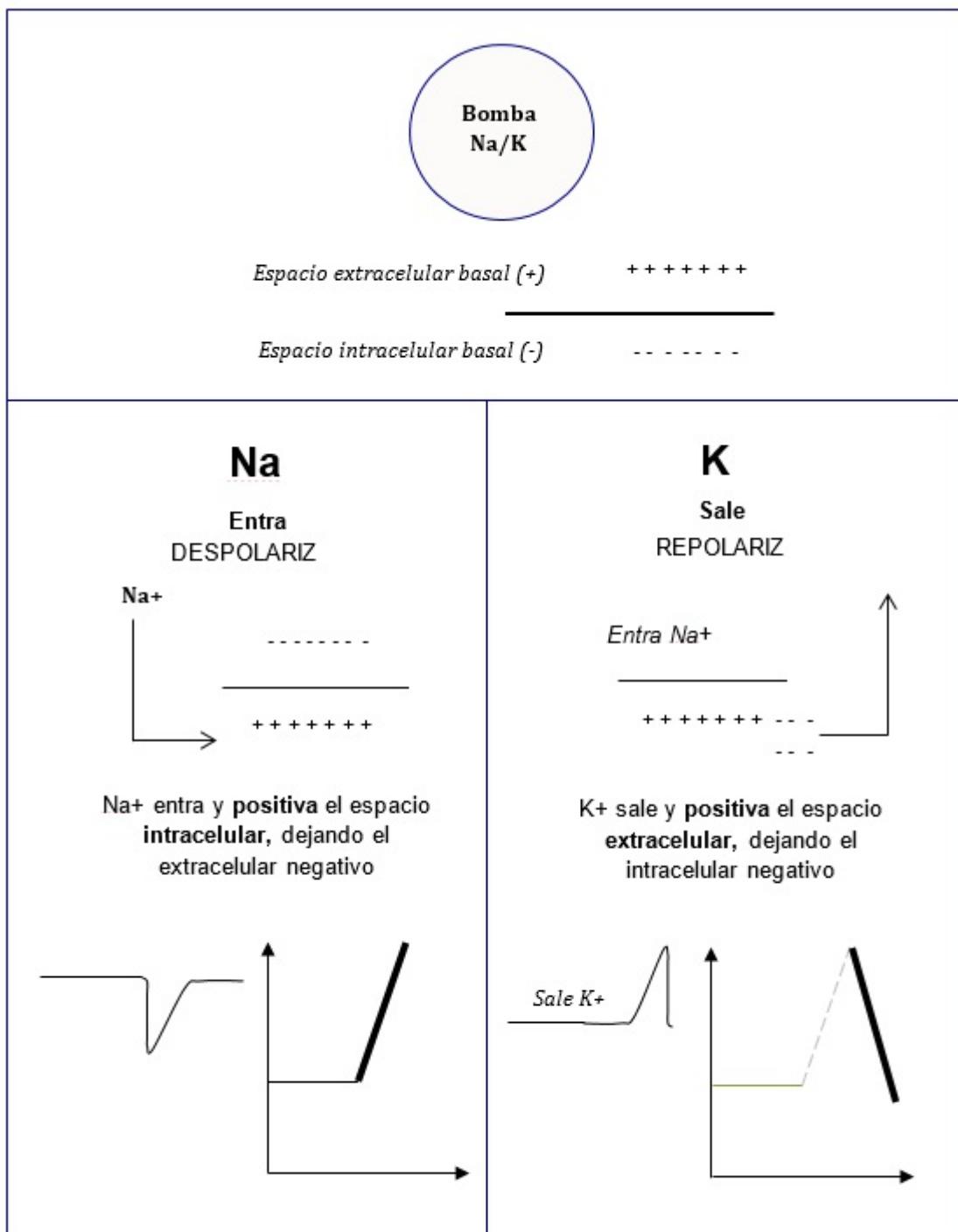
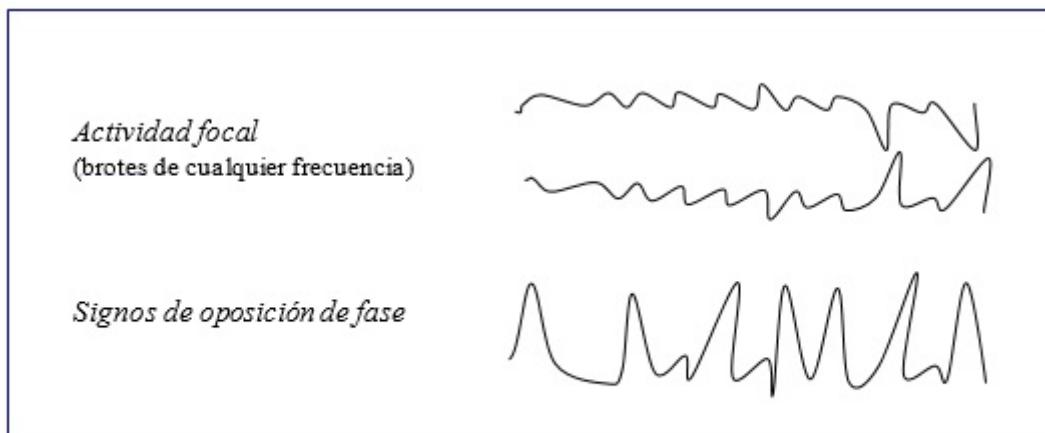


Figura 5. Bomba Na+/K+ y potencial de acción

*Nociones básicas en técnicas de neuroimagen y electroencefalograma*



*Figura 6. Relación neuroanatómica y funcional*