

400840
MADE IN SPAIN



DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN EL ACTO DE
INVESTIDURA DE DOCTOR "HONORIS CAUSA"
DEL PROFESOR

MICHAEL I. POSNER

UNIVERSIDAD DE GRANADA
MCMXCIX

DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN EL ACTO DE
INVESTIDURA DE DOCTOR "HONORIS CAUSA"
DEL PROFESOR

MICHAEL I. POSNER

UNIVERSIDAD DE GRANADA
MCMXCIX

DISCURSOS

PRONUNCIADOS EN EL ACTO DE
INVESTIDURA DE DOCTOR "HONORIS CAUSA"
DEL PROFESOR

MICHAEL J. POSNER



UNIVERSIDAD DE GRANADA
MCMXCIX



DIRCURSO PRONUNCIADO POR EL
PROFESOR DON PIO TUDELA GARMENDÍA
CON MOTIVO DE LA INVESTIDURA DEL
DR. DON MICHAEL J. POSNER

© UNIVERSIDAD DE GRANADA
DISCURSOS ACTOS INVESTIDURA DOCTOR "HONORIS CAUSA"

Edita: Universidad de Granada
Printed in Spain

Impreso en España

Excmo. Sr. Rector Magnífico
de la Universidad de Granada

Excmos. Srs. Vicerrectores de la
Universidad de Granada

Excmos. Miembros del Claustro
de la Universidad de Granada

Excmas. e Ilmas Autoridades,

Señoras y Señores

La celebración de una investidura de Doctor Honoris Causa es siempre un acto de profundo gozo universitario. Es el acto honorífico más alto que una universidad puede otorgar y expresa, por tanto, el máximo reconocimiento que puede manifestarse a la labor investigadora de una persona.

A estas características generales que todo acto de investidura de Doctor Honoris Causa tiene, debemos añadir una que es particular y específica de nuestra celebración de hoy. Una característica que tiene especial significación para nosotros, los psicólogos de la Universidad de Granada. Este acto de hoy es la primera investidura de Doctor Honoris Causa que nuestra universidad celebra a propuesta de la joven Facultad de Psicología.

La persona a quien hemos querido expresar nuestro primer reconocimiento por la calidad de su trayectoria científica, por su impacto en la labor investigadora de importantes sectores de nuestra facultad, y, sobre todo, por la significación que la amplitud de miras de sus puntos vista y de sus investigaciones ha tenido para la psicología del mundo entero, ha sido Michael Posner.

La biografía de Michael Posner es un buen ejemplo de que los grandes pensadores en una disciplina surgen en un caldo de cultivo amplio en preocupaciones intelectuales, rico en interrogantes y atento a los avances en todas las disciplinas del saber. Michael nació en Cincinnati, Ohio, en el seno de una familia con profundas inquietudes políticas y sociales. "La política - recuerdo que me comentaba Sharon, su esposa, - era la conversación cotidiana en casa de Mike". Allí adquirió un alto sentido de la justicia social que le ha acompañado durante toda su vida y que de mil formas se ha manifestado en su preocupación por el estudiante, su apoyo a todos los que lo hemos necesitado y su apertura a las demandas de todo el mundo. Allí comenzó a echar raíces su preocupación por los demás que acabaría conduciéndole a la psicología. Sin embargo no fue la psicología su primera elección universitaria. Cuando después de una estancia en California, su familia se asentó en Seattle, en el estado de Washington, la materia principal - el "major", en la jerga universitaria americana - fue la física, y el "minor" fue la filosofía. Esta elección indicaba ya entonces la doble vertiente de científico y

humanista que ha caracterizado a Michael Posner a lo largo de su carrera.

Su toma de contacto con la psicología tuvo lugar a través de la ingeniería humana. Poco tiempo después de graduarse, fue contratado por la Compañía Boeing de Aeroplanos como ingeniero asociado de investigación. Allí comenzó a investigar, entre otros temas, la habituación de los observadores humanos al espectro de energía acústica, y con la ayuda económica de la compañía pudo terminar un Master en psicología en la Universidad de Washington investigando sobre procesos de pensamiento en la línea propuesta por Bartlett.

En 1959 su decisión de dedicarse a la psicología estaba definitivamente tomada y se trasladó hacia el este del país para obtener un doctorado en la Universidad de Michigan en Ann Arbor bajo la dirección de Paul Fitts que era entonces uno de los líderes de la nueva tendencia que comenzaba a llamarse "Procesamiento Humano de Información" y uno de los pioneros en aplicarla a la ingeniería humana.

La carrera académica de Posner fue meteórica. Después de pasar tres años como Profesor Ayudante en la Universidad de Wisconsin, volvió al oeste, a la Universidad de Oregon, primero como Profesor Asociado y desde 1968 como Catedrático, contribuyendo a crear uno de los departamentos de psicología científicamente más potentes en los Estados Unidos.

En mi opinión, pueden distinguirse en la trayectoria científica de Michael Posner dos épocas diferentes aunque íntimamente relacionadas. En la primera, su investigación fue una de las que lideraron la consolidación del "Procesamiento Humano de Información" como concepción dominante en la psicología cognitiva. En la segunda, sus investigaciones se han caracterizado por la apertura interdisciplinar y por la variedad de métodos incorporados al estudio de la cognición, añadiendo a las medidas comportamentales tradicionales el uso de las más modernas medidas fisiológicas e incorporando los modelos y el espíritu de la ciencia cognitiva a la teoría psicológica. Permítanme un breve recorrido sobre cada una de estas dos épocas.

Durante los años sesenta y la mayor parte de los setenta, la teoría psicológica fue gradualmente abandonando los postulados conductistas y construyendo el nuevo marco de referencia conocido como "Procesamiento Humano de Información". La conducta y su predicción dejó de ser el objetivo único de la investigación psicológica y se puso el acento en la investigación de los procesos mentales que hacían posible la conducta. Las investigaciones de Michael Posner contribuyeron de forma singular, mediante ingeniosos diseños experimentales y cuidadosos análisis de cronometría mental, a nuestra comprensión de la memoria a corto plazo, de los procesos de codificación en memoria y de los procesos de control motor. Particularmente influyente fue su contribución a la conceptualización de la arquitectura mental en términos de procesos automáticos

y procesos bajo control atencional, junto con sus trabajos sobre los componentes de la atención y su papel en el control cognitivo. Afortunadamente para nosotros, Posner hizo el esfuerzo de sistematizar estas aportaciones en su libro *Exploraciones Cronométricas de la Mente* publicado en 1978 y llamado a ocupar un puesto entre los clásicos de la psicología cognitiva junto a *Percepción y Comunicación* de Broadbent y otros de similar influencia. Por lo que a mí respecta, confieso con gusto que fue un libro definitivo para reorientar mi trabajo y mi línea de investigación.

Como prueba del reconocimiento al trabajo realizado durante este periodo, Posner recibió en 1980 el premio de la Sociedad Americana de Psicología a las más distinguidas contribuciones científicas, premio que sólo han recibido las grandes figuras de la psicología mundial y que está considerado como el máximo dentro de nuestra disciplina. Las razones con que la Sociedad justificó este premio son el mejor diagnóstico de su contribución científica:

" Por su influyente e innovador trabajo sobre la cognición humana. Su aproximación analítica a la teoría y a la investigación ha contribuido a nuestra comprensión de la memoria y de la representación categorica, de la activación en paralelo de los códigos en lectura y en percepción, de los mecanismos de orientación y de alerta y del control motor. Con sus investigaciones ha proporcionado luz a cuestiones centrales relacionadas con la atención y la consciencia mediante el uso de potentes

técnicas cronométricas. Su contribución se extiende más allá de sus propias investigaciones. De una forma inusitada ha estimulado a otros colegas y a sus discípulos en sus respectivas investigaciones, ha fomentado el trabajo interdisciplinario en neurociencia cognitiva y desarrolla programas llenos de imaginación para educar a los estudiantes de los primeros cursos en la ciencia psicológica".

Esto se decía de él en 1980.

La llegada al Olimpo de la Psicología no fue razón para vivir de las rentas, sino acicate para desarrollar una actividad investigadora que ha desbordado el campo estricto de la disciplina. Su interés por los procesos psicológicos ha continuado intacto pero ha sido pionero en sentir la insuficiencia de una psicología limitada al análisis de medidas cronométricas y de precisión. Para Posner, el estudio de los procesos cognitivos ha sido también una forma de estudiar el cerebro y por eso siempre ha estado interesado por relacionar los conceptos de la teoría cognitiva con las funciones cerebrales de más alto nivel. Para llevar esto a cabo trabajó primero en neuropsicología cognitiva estudiando pacientes con daño cerebral. Fruto de estas investigaciones fue su aportación al conocimiento de los componentes de la atención visuo-espacial. Y cuando las modernas técnicas de neuroimagen hicieron su aparición, fue el primero en aplicarlas al estudio de los procesos cognitivos. Su estancia, como profesor de Neuropsicología y Psicología en el departamento de Neurología y Neurocirugía de la

Universidad Washington en San Luis, Missouri, fue una oportunidad única para demostrar el extraordinario potencial que para la psicología y las ciencias del cerebro supone la unión de los métodos psicológicos proporcionados por la psicología cognitiva y la moderna tecnología computacional de imágenes. Posner puso de manifiesto las áreas cerebrales implicadas en la construcción de los diferentes códigos que intervienen en la percepción de palabras así como las áreas responsables del sistema atencional encargado del control cognitivo. Es así como Michael Posner se ha convertido en una de las principales autoridades mundiales - para mi, la primera autoridad mundial - en el estudio de la atención y en uno de los principales fundadores y pioneros de la neurociencia cognitiva, orientación investigadora que se está convirtiendo en la principal corriente de estudio de la mente y que aparece como el nuevo horizonte para la investigación psicológica para el siglo que está a punto de empezar.

La vinculación de nuestro equipo de investigación a Michael Posner ha sido antigua si tomamos en consideración la influencia que sus trabajos y su teoría de la atención ha tenido en nuestras investigaciones. Todos mis estudiantes han estado siempre familiarizados con sus escritos y mis alumnos de doctorado saben que los artículos de Posner son lectura obligada en el curso. Hoy tengo el orgullo de poder decir que varios de los estudiantes que han trabajado conmigo están realizando contribuciones de gran calidad en el campo de la atención dentro del marco teórico formulado por Posner. Sin

embargo, fue cuando nuestra investigación psicológica quiso orientarse hacia la neurociencia cognitiva cuando pudimos conocer directamente no sólo al científico sino también al hombre. Fue su hospitalidad la que me permitió pasar un año en su laboratorio, estrechar la relación intelectual que ya me unía a él y conocer las técnicas de electrofisiología de alta densidad que él estaba desarrollando en Oregon con la colaboración de Don Tucker. Allí también tuvimos, mi familia y yo, la oportunidad de disfrutar de la cálida y cariñosa acogida de su mujer, Sharon. Hoy en la familia estamos encantados de tener dos buenos amigos en Mike y Sharon y en el Departamento estamos orgullosos de haber puesto en marcha el primer laboratorio en España que utiliza esas técnicas y mantenemos una relación fluida con Oregon que nos permite asegurar la solidez de la formación que damos a nuestros alumnos.

Terminaré esta semblanza de Michael Posner resaltando que, fiel a su vocación de abrir caminos a la investigación psicológica en todos sus frentes, ha aceptado recientemente en Nueva York la dirección del Sachler Institute for Developmental Psychobiology at Cornell Medical School. Estoy seguro de que la Psicología Evolutiva de los próximos años se verá muy beneficiada con las aportaciones e ideas de Michael Posner.

Es difícil resumir en esta breve intervención la significación de Michael Posner para la investigación psicológica. Es una de esas personas excepcionales que

cuando abordan un problema en una determinada disciplina, dejan su impronta y su influencia durante mucho tiempo. Con la fertilidad de sus ideas, Michael Posner ha puesto a trabajar a muchas promociones de investigadores y deseamos de corazón que pueda seguir haciéndolo muchos años.

En atención a los méritos que concurren en el Profesor Michael I. Posner, solicito la venia del Claustro para que se le conceda la investidura como Doctor Honoris Causa por la Universidad de Granada.

DISCURSO PRONUNCIADO POR
EL DR. MICHAEL J. POSNER CON MOTIVO
DE SU ACTO DE INVESTIDURA COMO
DOCTOR "HONORIS CAUSA" POR LA
UNIVERSIDAD DE GRANADA

EDUCACION Y CEREBRO HUMANO

Michael I. Posner

Para mí este es un momento de intensa emoción al tener ahora el gran privilegio de dirigirme a esta audiencia de la Universidad de Granada. Quiero expresarles mi profunda gratitud por su generosidad. Ha sido un gran placer para mí y para mis colegas el haber tenido la oportunidad de trabajar con algunos profesores y estudiantes de esta Universidad.

Estamos prácticamente al final de la década del cerebro declarada como tal con el fin de avanzar nuestra comprensión del más importante de los órganos humanos. Este siglo, que terminará dentro de un mes, ha sido testigo del extraordinario desarrollo de la ciencia del cerebro como parte de un milenio en el que la ciencia y sus productos tecnológicos ha comenzado a jugar un papel dominante en la vida humana.

Al comienzo de este sorprendente siglo, dos grandes personalidades simbolizan el progreso que había de venir. El trabajo que describiré en esta conferencia depende de sus geniales intuiciones. Una de estas personalidades fue Santiago Ramón y Cajal. Como ha dicho Gordon Shepherd en su libro sobre la historia de la doctrina neuronal, Cajal: "alcanzó durante su vida el reconocimiento como uno de los mayores científicos de todos los tiempos, con un rango en el moderno panteón similar al de Galileo, Newton y Darwin." (Shepherd,

1991, pag. 127). Él, más que ninguna otra personalidad particular, fue quien formuló la concepción de la neurona como unidad individual del cerebro. En su autobiografía, uno siente su emoción cuando fue capaz de ver las células que eran la fuente de todo pensamiento humano. Gran parte del trabajo de Cajal fue llevado a cabo utilizando cerebros de animales, pero también hizo trabajos sobre la corteza cerebral humana, resaltando que “el cerebro humano comenzaba a balbucear algunos de sus secretos. Lamentablemente, estas confidencias eran aún fragmentarias. Pero los comienzos siempre se hacen con pequeñas cosas” (Cajal, 1937, pag. 478). Ha correspondido a nuestra generación ser capaces de llegar a ver el cerebro humano en funcionamiento. Sin embargo, todo lo que se ha logrado en la síntesis de cerebro y mente (neurociencia y psicología) descansa sobre los hermosos estudios de Cajal ilustrando la importancia de la célula nerviosa.

Sigmund Freud jugó un papel central semejante en el estudio de la mente humana. A principios de este siglo, Freud (1920) defendió que el yo y el superyo se desarrollaron para regular sistemas de motivación en gran parte inconscientes. En la última parte de este siglo, mecanismos de autorregulación, incluyendo parte de su anatomía, han comenzado a ser descubiertos a través del estudio de la atención y del control esforzado (Posner & Rothbart, 1998). Los escritos de Freud sobre el inconsciente al comienzo de este siglo allanaron el camino hacia la posibilidad de que la mente humana con toda su complejidad pueda ser comprendida por medio de

los métodos empíricos abiertos a la ciencia. Un punto a señalar en esta conferencia es que al final de este siglo y milenio tenemos los instrumentos que permitirán a los científicos del próximo siglo explorar la integración de la mente y el cerebro que fue iniciada por los estudios de Freud y de Cajal.

Métodos

En los últimos veinte años algo realmente notable ha ocurrido. Por primera vez en la historia humana, somos capaces de ver el lugar en el cerebro donde se activan las neuronas cuando las personas normales piensan (Posner & Raichle, 1994). Este acontecimiento ha tenido enormes consecuencias para la síntesis del cerebro y la mente. En primer lugar, permítanme describirles cómo estas observaciones han llegado a ser posibles. Cuando las neuronas están activas, su riego sanguíneo local cambia. Esto hace posible determinar áreas del cerebro que están activas durante los procesos cognitivos por métodos diseñados para estudiar los cambios locales en determinados aspectos del riego sanguíneo cerebral. Los dos métodos más destacados para llevar esto a cabo son la tomografía por emisión de positrones (PET) y las imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI). PET utiliza un radionucleótido que emite positrones. Cuando los positrones son emitidos se produce su aniquilación después de recorrer una corta distancia y salen del cráneo como fotones que simultáneamente chocan contra los detectores situados en lados opuestos del cerebro. El número de veces que esto ocurre está



relacionado con medidas de la tasa de flujo sanguíneo en una region particular del cerebro. El método de PET más comúnmente utilizado en el caso de los procesos perceptivos y cognitivos consiste en examinar el flujo sanguíneo con un isótopo del oxígeno (O15). Este es un isótopo de muy corta duración y las imágenes de su actividad pueden sustentarse en una activación sostenida inferior al minuto. Otras aproximaciones son también posibles utilizando isótopos que permiten examinar la utilización de glucosa o que tienen la capacidad de ligarse a determinados transmisores. De esta forma, la técnica PET puede ser utilizada para abordar un amplio espectro de temas.

Cuando el aumento de actividad neural cambia el riego local de sangre, también se produce un cambio en el oxígeno contenido en ésta. El contenido de oxígeno en sangre aumenta y como la hemoglobina es paramagnética, es posible detectar ese aumento y visualizarlo en forma de imagen de la actividad de las células nerviosas en una región circundante. Las imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI) se han convertido en el método preferido para el estudio de la cognición debido a la seguridad y disponibilidad de los escáneres que también se utilizan con fines diagnósticos.

Localización

Uno de los mayores logros de los estudios de imágenes cerebrales ha sido la consistente localización de las áreas cerebrales que llevan a cabo una función

particular. Con respecto al sistema visual, los resultados de diferentes estudios e incluso en especies diferentes han producido mapas de áreas cerebrales que realizan funciones necesarias para ver. Cuando la construcción de mapas se combina con estudios de activación funcional en la corteza cerebral de aspectos como movimiento, color, forma y otras características de los objetos, resulta posible asociar las funciones de áreas corticales humanas a las propiedades de las neuronas encontradas en estudios celulares realizados con animales. Aunque este esfuerzo ha producido logros considerables, no ha resultado sorprendente comprobar que los animales, tanto humanos como no humanos, tienen sistemas visuales semejantes.

Sin embargo, con respecto a tareas cognitivas de alto nivel tales como leer, escuchar, recordar, procesar música y aprender, con frecuencia no existen modelos animales apropiados y han existido dudas dignas de consideración sobre la posibilidad de su localización. Cualquier psicólogo que se iniciara en la materia a mediados del siglo veinte estudió la historia de los esfuerzos por localizar en el cerebro la actividad mental de alto nivel. Se nos enseñaba que Karl Lashley (1931) había descubierto por medio de sus trabajos con ratas aprendiendo laberintos, que el efecto de una lesión cerebral dependía de la cantidad de tejido destruido y no de la parte de la corteza que sufría la lesión. Los estudios con pacientes que tenían lesiones frontales también fueron interpretados como demostración de que el cerebro operaba como un todo respecto a la cognición. Los principios un tanto vagos de "acción de masa" y

"equipotencialidad" fueron utilizados para explicar el fracaso a la hora de encontrar localizaciones precisas. También se nos ponía en guardia contra los intentos para analizar los procesos cognitivos en términos de elementos, porque el todo era diferente de la suma de las partes, o contra los intentos de abstraer los resultados de una condición experimental de otra porque las tareas eran completamente alteradas cuando se cambiaba alguna de sus partes.

Dos acontecimientos en los que he participado me convencieron de que alguna forma de localización de las funciones mentales superiores era, de hecho, verdad. El primero fue la demostración de que lesiones unilaterales del lóbulo parietal de la corteza, de partes del tálamo o del cerebro medio interferían con la atención a estímulos visuales en el lado del espacio contrario a la lesión. Sin embargo, cada una de estas áreas lo hacía de una forma diferente pero al mismo tiempo tan precisa que podía ser descrita en términos de componentes operativos que actuando conjuntamente cambiaban la atención de una posición a otra (Posner & Presti, 1987). El estudio de los mecanismos de orientación de la atención ha sido importante dedicación de muchos investigadores, incluyendo a Pío Tudela, Luis Fuentes y Eduardo Madrid aquí en Granada (Posner & Tudela, 1997). En la actualidad es posible ver cómo se activan estas áreas durante un cambio de la atención y también ha sido posible entender algunos de los mecanismos celulares implicados. (Parasuraman, 1998).

El segundo acontecimiento, fue una investigación que utilizó tomografía por emisión de positrones para encontrar las áreas del cerebro activas al procesar palabras. Mediante la substracción de la activación asociada con una tarea menos compleja (e.g. repetir una palabra) a la asociada con otra más compleja (generar un uso para la palabra) se pusieron de manifiesto de forma directa áreas específicas relacionadas con el agrupamiento de letras en unidades ortográficas, con la pronunciación y con la determinación del significado (Petersen et al., 1989). Más aún, las áreas activadas estaban por lo general relacionadas con importantes áreas cerebrales identificadas en estudios con pacientes que a consecuencia de un derrame cerebral habían perdido la capacidad de leer debido al deterioro de áreas cerebrales específicas. Estos dos acontecimientos fueron suficientes para convencerme de que, aunque no existía un lugar único en el que tuviera lugar una tarea como leer, las operaciones mentales individuales implicadas en la tarea estaban localizadas en el tejido cerebral concreto de una forma exquisita (Posner et al., 1988). Como Cajal, podíamos en realidad ver los procesos que estábamos estudiando.

Circuitos

También es posible observar el curso temporal de estas estructuras anatómicas durante la ejecución de tareas. Esta es una forma de aproximarnos a la comprensión de los circuitos implicados. En los años sesenta, los psicólogos cognitivos demostraron que una

gran variedad de tareas podían ser descritas en términos de operaciones mentales (subrutinas) que ocurrían desde decenas a centenas de milisegundos (Posner, 1978). Incluso las áreas visuales primarias pueden mostrar influencias bien directamente desde el input sensorial al cerebro o indirectamente desde la atención de la persona a esa información. Por ello, ha resultado de vital importancia el documentar el curso temporal de una actividad para poder distinguir las influencias puramente sensoriales de las atencionales.

Durante varias décadas, los potenciales corticales ligados a estímulos y registrados en el cuero cabelludo de las personas (EEG) han tenido gran importancia para rastrear los procesos cognitivos milisegundo a milisegundo. Sin embargo, con la llegada de las nuevas técnicas de imágenes, ahora es posible relacionar la actividad en el cuero cabelludo con generadores que han sido identificados a partir de medidas de flujo sanguíneo en las personas y a partir de registros celulares en animales. Mientras que la primera parte de la señal eléctrica que sigue a un estímulo está principalmente determinada por acontecimientos sensoriales, al cabo de 100 milisegundos las influencias atencionales de arriba hacia abajo resultan claramente evidentes en la corteza cerebral humana.

En las habilidades de alto nivel, el curso temporal está con frecuencia constreñido por la naturaleza de la tarea. Por ejemplo, un lector capacitado emplea solamente 275 milisegundos en efectuar una fijación individual.

Existen pruebas claras de que la duración de un movimiento ocular (sacádico) que sigue a una fijación está influenciado por el significado de la palabra que se acaba de fijar. Por ello, 275 milisegundos resulta ser un límite superior para obtener el significado de una palabra que pueda proporcionar información apropiada al sistema de movimiento ocular. En la actualidad, podemos observar la activación de partes individuales de la anatomía funcional de la lectura de palabras milisegundo a milisegundo (Posner & Abdullaev, 1999).

Lectura de Palabras

¿Qué áreas cerebrales se activan durante la fijación de una sola palabra?. En una tarea típica, se presenta a los participantes una serie de 40 nombres comunes (e.g. martillo). En la condición experimental tienen que indicar un uso para la palabra presentada (por ejemplo, martillo-clavar). En la condición control, tienen que leer la palabra en voz alta. La actividad cerebral obtenida durante la condición de lectura en voz alta se substrahe de la actividad registrada en la condición de generar un uso para la palabra. La diferencia en activación entre las dos tareas muestra lo que ocurre en el cerebro cuando se requiere a los participantes llevar a cabo un pensamiento muy simple, en este caso cómo usar un martillo. Los resultados muestran el hecho sorprendente de que de esta actividad cognitiva de alto nivel es lo suficientemente semejante entre los distintos individuos participantes como para producir activaciones focales promedio que

son a la vez estadísticamente significativas y reproducibles.

Hay cuatro áreas focales pero bien separadas entre sí que experimentan un aumento en la actividad cerebral durante el simple acto de pensar necesario para encontrar el uso de la palabra. La primera es una actividad en la línea media del lóbulo frontal en el giro cingulado anterior. Este área del cerebro está involucrada en los aspectos superiores de la atención tanto si la tarea implica al lenguaje, a la localización espacial o al procesamiento de objetos. Nosotros creemos que está relacionada con lo que frecuentemente ha sido llamada "atención ejecutiva" en habilidades de alto nivel (Posner & Rothbart, 1998). Dos activaciones adicionales tienen lugar en el área fronto lateral izquierda y en la corteza posterior. Estas zonas están relacionadas con áreas del lenguaje bien conocidas. Finalmente, hay activación en el cerebelo derecho, que está fuertemente conectado a las áreas frontales izquierdas.

Hemos sido capaces de encontrar señales de tres de estas áreas anatómicas en el registro electroencefalográfico (Posner & Abdullaev, 1999). Cuando los participantes obtienen el uso de un nombre, hay un área de actividad eléctrica positiva en los electrodos frontales que comienza hacia los 150 milisegundos después de aparecer la palabra. Esta actividad eléctrica está probablemente generada por la extensa área de activación en el cíngulo anterior encontrada en los estudios con PET.

Otras dos áreas que están activas durante la generación del significado de una palabra aparecen en las cortezas frontal y posterior izquierdas. El área frontal izquierda (anterior y solapando el área clásica de Broca) comienza a mostrar actividad poco después de que el cíngulo se active. Durante este intervalo, tanto el cíngulo como el área semántica frontal izquierda están activas. Nosotros suponemos que la activación frontal izquierda está relacionada con el significado de la palabra concreta que ha sido presentada en ese ensayo. Este área también se activa lo suficientemente pronto como para influenciar las respuestas de movimiento ocular. Por otra parte, el área posterior izquierda que se ha encontrado activa durante el procesamiento de palabras presentadas visualmente, no aparece como tal en los mapas eléctricos hasta un tiempo posterior a la ocurrencia de un movimiento ocular en una situación normal de lectura. Esta actividad está próxima al área clásica de Wernicke y es bien sabido que lesiones en este área producen la pérdida de la comprensión del significado del habla. Nosotros creemos que este área es importante para el almacenamiento e integración de palabras en unidades significativas más amplias. Los pacientes con daño en esta zona emiten secuencias de palabras que con frecuencia carecen de significado global.

Aprender a Leer

En los Estados Unidos ha habido recientemente una gran polémica sobre el desarrollo del cerebro humano. Algunos han llegado a creer que el cerebro

cambia como resultado de la experiencia en los primeros años de vida pero no después (véase Bruer, 1999 para una revisión de esta controversia). Sin minimizar la importancia de los tres primeros años de vida, no hay duda de que en fases posteriores de la vida tiene lugar un importante desarrollo cerebral como resultado de experiencias concretas.

Para examinar cómo aprendizajes específicos pueden influenciar las estructuras cerebrales, es útil considerar las primeras etapas de la adquisición de la lectura en niños pequeños. La habilidad lectora es una invención cultural con una historia relativamente corta en términos de la evolución de nuestra especie. Estudiar la relación entre la experiencia de la lectura y los circuitos neuronales es útil para asociar los cambios cerebrales con el desarrollo de las habilidades cognitivas de alto nivel. Estos estudios pueden ayudar a la comprensión tanto de la lectura fluida como de los problemas neurológicos asociados con la incapacidad de poder leer, como ocurre en la dislexia evolutiva.

Existe un área del sistema visual que se activa en los estudios que utilizan PET cuando se presentan palabras y pseudopalabras que pueden ser pronunciadas, pero que no se activan con meras secuencias de consonantes (Petersen et al., 1990). Para las personas adultas, las primeras indicaciones de que el cerebro procesa de forma diferente las palabras y las secuencias de consonantes tiene lugar en los canales posteriores aproximadamente a los 170 milisegundos (McCandliss,

Givon & Posner, 1997; Posner & McCandliss, en prensa). La especificidad de esta activación sugiere que esta región responde a la organización visual de letras permitida en la lengua inglesa y ha sido por ello etiquetada como el área de "la forma de la palabra". Es de suponer que la organización de este área se desarrolla cuando un niño aprende a leer.

Nosotros realizamos un conjunto de experimentos con niños diseñados para examinar el desarrollo del sistema encargado de procesar la forma de las palabras presentadas visualmente. En nuestro primer conjunto de estudios, registramos la actividad eléctrica en el cuero cabelludo de niños de entre 4 y 7 años mientras veían secuencias de letras en la pantalla de un ordenador (Posner & McCandliss, en prensa). Un aspecto crítico en este estudio consistía en que la mitad de las series de letras presentadas durante la tarea formaban palabras de alta frecuencia que eran comunes en el curriculum de primer grado, mientras que la otra mitad eran series de consonantes. Nuestros estudios iniciales con niños de 4 a 7 años mostraron poca diferencia entre las palabras y las series de consonantes en los canales posteriores en los que el efecto de la forma de la palabra había sido encontrado con adultos, incluso en el caso de los niños de 7 años que eran capaces de leer las palabras que les presentamos.

Sin embargo, con niños de 10 años, la cosa era muy distinta. La influencia del conocimiento específico de la palabra aparece bastante pronto en los canales

posteriores e inferiores de forma semejante a lo que ocurría con adultos. No obstante, y de forma diferente a los resultados con adultos, los niños de 10 años sólo mostraban sensibilidad si la serie de letras formaba una palabra que era familiar para ellos. Sólo más tarde y en canales situados en posiciones anteriores mostraban influencia de palabras no familiares para ellos.

Los resultados de este estudio sugieren que los niños de 10 años parecen integrar las letras presentadas visualmente de forma diferente a los adultos. Los niños de 10 años muestran dos fases. La primera fase parece relacionada con el sistema de la forma de la palabra en lo referente a su localización. En esta fase las palabras conocidas se diferencian de las palabras desconocidas y de las series de consonantes. Esto sugiere que el sistema de la forma visual de la palabra es sensible a la familiaridad de las palabras pero no a su ortografía. Todo ello contrasta con el sistema adulto que parece responder a la ortografía independientemente de la familiaridad de las palabras.

Este nuevo trabajo proporciona la oportunidad de rastrear el cambio que tiene lugar entre los diez años y la edad adulta. Algunos modelos del procesamiento de palabras (McClelland & Rumelhart, 1981) mantienen que el almacenamiento de determinadas palabras es el mecanismo básico del sistema de la forma de la palabra.

En estos modelos el sistema de la forma de la palabra parece ser sensible a las reglas ortográficas de la lengua

a causa de la densidad de asociaciones presentes en los adultos. Estos resultados de los modelos de simulación pueden también concordar con los datos provenientes de PET con adultos que muestran que no existe diferencia entre las palabras y las pseudopalabras que tienen una ortografía regular. Sin embargo, nosotros también hemos encontrado que 50 horas de entrenamiento en una lengua nueva creada artificialmente no influencia el área de la forma visual de la palabra en lectores adultos. (McCandliss, Givon and Posner, 1997). Nuestros resultados proporcionan apoyo a la existencia de cambios notables en el cerebro debidos a un nuevo aprendizaje y, porque encontramos que el sistema adulto de la forma de la palabra no era influenciado por nuevas palabras, también pueden indicar que existen límites respecto al momento en que tales cambios pueden tener lugar.

El uso de imágenes obtenidas por resonancia magnética funcional con niños se ha venido desarrollando en los últimos años. Ello ha hecho posible examinar más específicamente la forma cómo el cerebro cambia cuando uno aprende a leer. Observaciones preliminares llevadas a cabo por McCandliss sugieren que los métodos de entrenamiento para la lectura construidos sobre la base de los principios desarrollados por la psicología cognitiva pueden acelerar la adquisición de esta habilidad. Más aún, los resultados de fMRI muestran que esta adquisición está acompañada por la activación de áreas cerebrales específicas que se sabe que están implicadas en la habilidad (McCandliss, Sandack, Beck, Perfetti & Schneider, 1999). En realidad, ahora somos capaces de

ver cómo se altera el cerebro a causa de experiencias específicas de aprendizaje.

Sabemos que ser capaz de observar lo que antes era inobservable tiene importantes consecuencias para el desarrollo de la ciencia. Es de esperar que estas observaciones y otras semejantes nos conduzcan a investigaciones que aceleren y mejoren el aprendizaje de muchas materias que, como es el caso de la lectura, se enseñan en la escuela a los niños.

Conclusiones

Al comienzo de este siglo, Cajal escudriñó a través del microscopio para ver la célula nerviosa y desarrolló una teoría sobre su función que ha guiado la investigación a todo lo largo del siglo. Freud también nos enseñó que una observación cuidadosa podía revelarnos procesos mentales que se escondían a nuestra vista. Al final de este mismo siglo tenemos nuevos instrumentos para observar la anatomía del cerebro mientras se aprenden y se llevan a cabo las complejas tareas de que son capaces los seres humanos. Ahora estamos en condiciones de observar áreas del cerebro relacionadas tanto con procesos conscientes como inconscientes. No resulta fácil predecir las consecuencias que se seguirán de estas observaciones. Sólo podemos trabajar juntos con la esperanza de que nos lleven no sólo a una comprensión mejor del cerebro, sino también a la mejora de nuestros métodos de educación y de socialización que permitan mejorar la condición humana.

EDUCATION AND THE HUMAN BRAIN

Michael I. Posner

This is an exciting moment for me to have the great privilege of addressing a meeting of the University of Granada. I express to you my deep appreciation for your kindness. It has been a great pleasure for me and my colleagues to have had the opportunity to work with some of the faculty and students of psychology at this University.

We are almost at the end of the decade of the brain proclaimed to advance the understanding of this most important of human organs. The century, which ends in a month, has witnessed an extraordinary development of brain science as a part of a millennium in which science and its technological products has begun to play a dominant role in human life.

At the beginning of this remarkable century two great figures symbolized the progress that was to come. The work I shall describe in this lecture depends upon their remarkable insights. One of these figures was Santiago Ramon y Cajal. According to Gordon Shepherd, in his book on the history of the neuron doctrine, Cajal: "attained recognition within his lifetime as one of the greatest scientists of all time, ranked among the modern pantheon of.....Gallileo, Newton and Darwin." (Shepherd, 1991, page 127). He, more than any other single figure, was the formulator of the view of the

neuron as an individual unit of the brain. In his autobiography, one senses his excitement in being able to see the cells, which were the source of all of human thought. Much of Cajal's work was done on animal brains, but he worked also on the human cerebral cortex, remarking "the human cerebrum began to stammer some of its secrets. Unfortunately, these confidences were still quite fragmentary. But, beginnings are made with small things" (Cajal, 1937, page 478). It is left to our generation to be able to actually see into the human brain as it functions. However, all that has been achieved in the synthesis of brain and mind (neuroscience and psychology) rests upon Cajal's beautiful studies illustrating the importance of the nerve cell.

Sigmund Freud played a similar central role in the study of the human mind. Early in this century, Freud (1920) argued that the ego and superego developed to regulate largely unconscious motivational systems. In the latter part of this century, mechanisms of self-regulation, including some of their anatomy, have begun to be uncovered through the study of attention and effortful control (Posner & Rothbart, 1998). Freud's writings on the unconscious at the start of this century paved the way for the possibility that the human mind with all its complexities, might be understood by the empirical methods open to science. A theme of this lecture is that at the end of this century and millennium we now have the tools that will allow scientists of the next century to explore the integration of mind and brain opened up by the studies of Freud and Cajal.

Methods

In the last twenty years a remarkable thing happened. For the first time in human history, we were able to see where in the brain neurons are active when normal people think (Posner & Raichle, 1994). This event has had enormous consequences for the synthesis of brain and mind. Let me first describe to you how these observations became possible. When neurons are active, they change their own local blood supply. This makes it possible to trace areas of the brain that are active during cognitive processes by methods designed to study local changes in aspects of the brain's blood supply. The two most prominent methods for doing this are positron emission tomography (PET) and functional magnetic resonance imaging (fMRI). PET uses a radionucleotide that gives off positrons. When the positrons are emitted they are annihilated after short distances and exit the skull as photons, which strike detectors at opposite sides of the brain simultaneously. The resulting PET counts can be related to measures of rate of blood flow through particular regions of the brain. The most commonly used PET method for perceptual and cognitive processes is to examine blood flow with an isotope of oxygen (O^{15}). This is a very short-lived isotope and pictures of activity can be based on sustained activation of less than a minute. Other approaches are also possible using isotopes that allow examination of glucose utilization or which bind to various transmitters. Thus, PET can be used to deal with a whole spectrum of questions.

When increased neuronal activity changes the local blood supply, there is also a change in the oxygen content of the blood. The blood oxygen content increases and since hemoglobin is paramagnetic, it is possible to sense this increase and display it as an image of the activity of nerve cells within a surrounding region. Functional MRI has become the method of choice for the study of cognition because of the availability and safety of the scanners that are also used for diagnostic purposes.

Localization

A major achievement of brain imaging studies has been consistent localization of the brain areas that perform particular functions. Within the visual system, results from different studies and even different species have produced maps of brain areas that perform the functions needed for seeing. When mapping is combined with functional activation studies of motion, color, shape and other object features in the human cortex, it becomes possible to link the functions of human cortical areas to the properties of neurons in cellular studies done with non-human animals. While this effort has been a considerable achievement it was no surprise that human and non-human animals would have similar visual systems.

For higher level cognitive tasks such as reading and listening, remembering, processing music and learning, however, there are often no appropriate animal models and there has been considerable doubt about the

possibility of localization. Every psychologist who entered the field in the mid 20th century studied the history of efforts to localize higher level mental activity in the brain. We were taught that Karl Lashley (1931) had discovered in his work with rats learning mazes, that the effect of a brain lesion depended on how much tissue was removed and not on what part of the cortex was taken out. Studies of human patients with frontal lesions were also interpreted as showing that the brain operated as a whole with respect to cognition. The somewhat vague principles of mass action and equipotentiality were used to explain failures to find any precise localization. We were also cautioned about efforts to analyze cognitive processes into elements, because the whole was different than the sum of the parts, or to subtract the results of one condition from another because tasks were completely altered when any part was changed.

Two events in which I participated satisfied me that a form of localization for higher mental functions was, in fact, true. The first was showing that unilateral lesions of the parietal lobe of the cortex, parts of the thalamus or midbrain interfered with attention to visual events on the side of space opposite the lesion. However, each brain area did so in a very different and yet quite precise way that could be described in terms of component operations that together shifted attention between locations (Posner & Presti, 1987). The study of the mechanisms of orienting of attention have been a major occupation of many researchers, including Pio Tudela, Louis Fuentes and Eduardo Madrid here at

Granada (Posner & Tudela, 1997). It is now possible to actually see these areas become active during a shift of attention and it has also been possible to work out some of the cellular mechanisms involved (Parasuraman, 1998).

The second event, was a study employing positron emission tomography to find brain areas active in processing words. Specific areas related to chunking letters into an orthographic unit, sounding things out, and determining meaning were revealed quite directly by subtracting activation associated with less complex tasks (e.g. repeating a word) from more complex ones (generating a use for the word) to examine component operations (Petersen et al., 1989). Moreover, the activated areas were generally related to important brain areas identified in studies with stroke patients who have lost the ability to read due to their specific brain damage. These two events were enough to convince me that, although there was no single place where a task like reading took place, the individual mental operations involved in the task and studied in cognition were exquisitely localized in specific brain tissue (Posner et al., 1988). Like Cajal, we could now actually see the processes we were studying.

Circuits

It is also possible to observe the time course of this anatomy during the performance of tasks. This is one approach to understanding the circuits involved. In the 1960s cognitive psychologists showed that a wide variety

of tasks could be described in terms of mental operations (subroutines) that took place over 10s to 100s of milliseconds (Posner, 1978). Even primary visual areas can show influences either directly from the sensory input to the brain or indirectly from the person's attention to that information. Thus, it has become very important to document the time course of activity to be able to distinguish purely sensory from attentional influences.

For several decades, event-related electrical potentials recorded from the scalp (EEG) in humans have been important in tracing cognitive processes millisecond by millisecond. However, with the advent of imaging techniques, it is now possible to relate the scalp activity to generators identified from the blood flow measures in humans and from cellular recording methods in non-human animals. While the earliest parts of the electrical signal following a stimulus are primarily driven from the sensory event, within 100 millisecond top down attentional influences are clearly evident in human cortex.

In high level skills timing is often constrained by the natural task. For example, a skilled reader takes only about 275 millisecond for an individual fixation. There is clear evidence that the length of the eye movement (saccade) that follows the fixation is influenced by the meaning of the fixated word. Thus, 275 millisecond sets an upper bound to achieve the word meaning sufficiently to convey appropriate information to the eye movement system. We could now observe the activation of individual parts of the functional anatomy of reading

words millisecond by millisecond (Posner & Abdullaev, 1999).

Word Reading

What brain areas are activated during the fixation of a single word? In a typical task subjects are shown a series of 40 simple nouns (e.g., hammer). In the experimental condition they indicate the use of each noun (for example, hammer—pound). In the control condition, they read the word aloud. The brain activity obtained during the read-aloud condition is subtracted from the activity found in the generate condition. The difference in activation between the two tasks illustrates what happens in the brain when subjects are required to develop a very simple thought, in this case how to use a hammer. The results illustrate the surprising fact that the anatomy of this high-level cognitive activity is similar enough among individuals to produce focal average activations that are both statistically significant and reproducible.

There are four focal but well-separated areas that undergo increases in brain activity during the simple thought needed to find the use of the word. The first is activity in the midline of the frontal lobe in the anterior cingulate gyrus. This brain area is involved in higher-level aspects of attention regardless of whether the task involves language, spatial location, or object processing. We believe it relates to what has often been called executive attention in high-level skills (Posner & Rothbart, 1998). Two additional activations are in the left

lateral frontal and posterior cortex. These are related to well known language areas. Finally, there is activation in the right cerebellum, which is closely connected to left frontal areas.

We have been able to find signs of three of these anatomical areas in the scalp recorded EEG (Posner & Abdullaev, 1999). When subjects obtain the use of a noun, there is an area of positive electrical activity over frontal electrodes starting about 150 msec after the word appears. This early electrical activity is most likely generated by the large area of activation in the anterior cingulate shown by the PET studies.

Two other areas that are active during generating word meanings occur in the left frontal and left posterior cortex. The left frontal area (anterior to and overlapping classical Broca's area) begins to show activity shortly after the cingulate becomes active. During this interval, both the cingulate and the left frontal semantic area are active. We assume that the left frontal activation is related to the meaning of the individual word that has been presented on that trial. This area is also active early enough to influence eye movement responses. On the other hand, the left posterior brain area found to be more active during the processing of the meaning of visual words does not show up in the electrical maps until well after the time for an eye movement during normal reading. This activity is near classical Wernicke's area and lesions of this area are known to produce a loss of understanding of meaningful speech. We think this area

is important in the storage and integration of words into larger meaningful units. Patients with damage in this area utter strings of words that often appear to be without any overall meaning.

Learning to read

Recently there has been much discussion about human brain development in the United States. Some observers have come to believe that the brain changes with experience in the first few years of life, but not later (see Bruer, 1999 for a review of this controversy). Without minimizing the importance of the first three years of life, there is no doubt that very important brain developments occur as the result of specific experiences later in life.

To examine how specific learning can influence brain structures, it is useful to consider the initial acquisition of literacy in young children. Reading skill is a cultural invention with a history that is relatively short in terms of the evolution of our species. Studying the relationship between reading experience and neural circuitry serves to link brain changes with the development of high level cognitive skills. Such studies may aid in understanding fluent reading as well as neurological problems associated with failures to acquire literacy, as in developmental dyslexia.

There is an area of the visual system activated in PET studies by words and by non-words that can be

pronounced, but not by consonant strings. (Petersen et al., 1990). For adults, the earliest indication that the brain processes words and consonant strings differently occurs in posterior channels at about 170 msec (McCandliss, Givon & Posner, 1997; Posner & McCandliss, in press).

The specificity of this activation suggests that this region is sensitive to the visual organization of letters permitted within the English language and, hence, it has been dubbed the "word form" area. Presumably, the organization of this area is developed as a child learns to read.

We conducted a set of experiments with children designed to examine the development of the visual word form system. In our first set of studies, we recorded scalp electrical activity as 4 and 7-year-old children watched letter strings appear on a computer screen (Posner & McCandliss, in press). A critical aspect of this study was that half of the letter strings in these tasks formed high frequency words that are common in first grade curricula and the other half were consonant strings. Our initial studies with 4- and 7-year-olds showed little difference between words and consonant strings within the posterior channels where the word form effect was found in adults, even though the 7-year-olds could read the words we showed them.

However, for 10-year-olds, the story was quite different. The influence of word specific knowledge appears quite early in similar posterior and inferior



channels to those found for adults. However, unlike the adult results, the 10-year-olds were sensitive only to whether letter strings form a familiar word or not. Only later and over more anterior channels did they appear to be influenced by unfamiliar visual words.

The results of this study suggest that 10-year-old children appear to integrate visual letters into word forms differently than adults. The 10-year-olds show two distinct phases. The first phase appears related in location to the word form system. In this phase, known words on the one hand differ from unknown words and consonant strings on the other. This suggests a visual word form that is sensitive to familiarity of words but not their orthography. It contrasts with the adult system that appear to respond to orthography whether or not the string is familiar.

This new work affords the opportunity to trace how a specific change in the that occurs between ten years and adulthood. Some models of the processing of words (McClelland & Rumelhart, 1981) argue that the storage of particular words is the basic mechanism of the word form system. In these models, because of the dense neighborhoods present in adults, their word form system appears to be sensitive to the orthographic rules of the language. This result could be made to fit with adult PET data showing no difference between words and orthographically regular non-words. However, we also found that 50 hours of training on a new artificial language did not influence the visual word form area in

adult readers. (McCandliss, Givón and Posner, 1997). Our findings both support remarkable brain changes with respect to new learning and because we found the adult word form system not to be influenced by new items it may also indicate some limits as to when such changes can be obtained.

The use of functional magnetic resonance imaging with children has been developing in recent years. This has made it possible to examine more specifically how the brain changes as one learns to read. Preliminary observations by McCandliss suggest that methods of training reading based upon principles developed from cognitive psychology can greatly speed acquisition of the skill. Moreover, fMRI results show that this acquisition is accompanied by the activation of specific brain areas known to be involved in the skill (McCandliss, Sandak,, Beck, Perfetti, & Schneider, 1999). We can now actually see how the brain is altered by a specific learning experience.

We know that being able to observe what was formerly unobservable has strong consequences for scientific development. It is hoped that these observations and many like them will lead rapidly to studies that accelerate and improve the learning of many subjects, which like reading, are taught to children in school.

Conclusions

At the turn of the last century, Cajal peered into a microscope to view the nerve cell and developed a theory of its role that has guided research for a century. Freud showed that careful observations may also reveal mental processes hidden from our view. At the end of the same century we have new tools for observing the anatomy of the brain while learning and executing the complex tasks of which humans are capable. It should now be possible to see brain areas related to both conscious and unconscious processes. It is hard to predict what consequences will flow from these new observations. We can only work together in the hope it will lead, not only to a better understanding of the brain, but better methods of education and socialization that might serve to improve the human condition.

References

- Bruer, J.T. (1999). *The myth of the first three years*. New York: the Free Press.
- Cajal, S. R.Y. (1937). *Recollections of my life*. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Freud, S. (1920). *A general introduction to psychoanalysis*. New York: Basic Books.
- Lashley, K.S. (1931). Mass action in cerebral function. *Science* 73, 245-254.
- McCandliss B.D., Sandak, R., Beck, I., Perfetti C., and Schneider, W. (April, 1999). Inroads into reading acquisition failures: Relating

alphabetic decoding instruction to changes in behavioral and fMRI measures. Paper presented to the Society for the Scientific Study of Reading, Montreal, Canada.

McCandliss, B.D., Givon, T. & Posner, M.I. (1997). Brain plasticity in learning visual words. *Cognitive Psychology*, 33, 88-110.

McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1986) *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Vol 2. psychological and biological models*. Cambridge MA: MIT Press.

Parasuraman, R. (1998). *The Attentive Brain*. Cambridge MA: MIT Press.

Petersen, S.E., Fox, P.T., Posner, M.I., Mintun, M. & Raichle, M.E. (1989). Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 153-170.

Petersen, S. E., Fox, P. T., Snyder, A. Z., & Raichle, M. E. (1990). Activation of the extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science*, 249, 1041-1044.

Posner, M.I. (1978). *Chronometric Explorations of Mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Posner, M.I. & Raichle, M.E. (1994). *Images of Mind*. Scientific American Books.

Posner, M.I. & Abdullaev, Y. (1999) Neuroanatomy, circuitry and plasticity of word reading. *Neuroreport* 10, R12-23.

Posner, M.I. & McCandliss, B.D. (In press) *Brain circuitry during reading*. In R. Klein & P. McMullen (Eds) *Converging methods for understanding reading and dyslexia*. Cambridge:MIT Press

Posner, M.I., Petersen, S.E., Fox, P.T. & Raichle, M.E. (1988). Localization of cognitive functions in the human brain. *Science*, **240**, 1627-1631.

Posner, M.I. & Presti, D. (1987). Selective attention and cognitive control. *Trends in Neuroscience*, **10**, 12-17.

Posner, M.I. & Rothbart, M.K. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*: 353, 1915-1927.

Posner, M.I., & Tudela, P. (1997). Imaging resources. *Biological Psychology*, **45**, 95-107.

Shepherd, G.M. (1991). *Foundations of the neuron doctrine*. New York: Oxford, page 127.



Biblioteca Universitaria de Granada



01031592