

EL SISTEMA DE NEURONAS ESPEJO: EVIDENCIAS FISIOLÓGICAS E HIPÓTESIS FUNCIONALES

Alberto A. Yorrio

Profesor titular de la Cátedra de Neurofisiología II. Facultad de Psicología UBA.

RESUMEN

En este trabajo se comentan algunas evidencias anatómicas y fisiológicas que presenta una red de neuronas con propiedades de integración sensoriomotoras, denominadas "neuronas espejo". Estas neuronas se caracterizan por codificar las acciones tanto realizadas por el propio individuo, como observadas; constituirían el sustrato neural de la comprensión del significado de las acciones de otros individuos. Se plantean además otras hipótesis que vinculan el sistema de neuronas espejo con la codificación de habilidades del comportamiento aprendidas, la capacidad de imitación de los humanos, el comportamiento social, la formación y comprensión de conceptos abstractos, la comunicación y el lenguaje.

La ubicación del sistema de neuronas espejo en la encrucijada entre las áreas de la corteza cerebral en las que se procesan la información vinculada con orientación espacial, visión y audición, facilitaría la integración de las distintas modalidades sensoriales que se requieren para las acciones complejas aprendidas. Los "engramas motores" y el "patrón de inervación motora", clásicamente postulados como mecanismos independientes de la codificación de las "praxias", tendrían una existencia real como funciones complementarias del sistema de neuronas espejo cuyo centro se localiza en la circunvolución supramarginal ubicada en el lóbulo parietal inferior izquierdo. La lesión de esta estructura del sistema nervioso central, y de la sustancia blanca adyacente ocasiona el trastorno neuropsicológico conocido como "apraxia ideomotora". A partir de la integración de la información sensorial y motora, el sistema de neuronas espejo puede también constituir el circuito de codificación de otros tipos de información, como el de conceptos abstractos y el uso de metáforas, lo que es una capacidad especial del ser humano.

Palabras clave: neuronas espejo, conceptos abstractos, cognición corporizada.

INTRODUCCIÓN

Las "neuronas espejo" (NE) fueron originalmente descritas en la región ventral anterior de la corteza premotora del mono macaco (área F5), mediante el registro de potenciales unitarios con microelectrodos. Estas neuronas codifican aspectos relacionados con las acciones realizadas principalmente con la parte distal de las extremidades, tales como asir, levantar, y manipular objetos. La característica funcional que define a las NE es que la descarga de potenciales unitarios se activa en sintonía tanto con la ejecución de una acción por el mono, como por la observación por el mono de la misma acción realizada por otro individuo.

Aunque el significado funcional de las NE es aún especulativo, existen varios aspectos de la cognición animal y humana, que han sido vinculados con este sistema neuronal. En el presente texto se presentarán inicialmente las propiedades básicas de las células espejo y su rol en la comprensión de las acciones de otros individuos en los primates. A continuación se expondrán evidencias de que en los seres humanos existe un sistema de NE similar al de los primates no humanos, que además de jugar un rol en la comprensión de las acciones participaría en el aprendizaje por imitación. Se seguirá con el rol que se atribuye al sistema de NE con la codificación de las habilidades

aprendidas. Luego se presentará la implicancia que podría tener el sistema de NE con el aprendizaje y uso de conceptos, comportamiento social, de comunicación y el lenguaje. Finalmente se discutirán dos concepciones opuestas acerca de los mecanismos de algunos procesos cognitivos.

EL SISTEMA DE NE EN PRIMATES

En los primates, las neuronas de la corteza premotora se activan durante acciones dirigidas a objetivos, como los movimientos realizados para alcanzar y manipular un objeto. Las neuronas de la corteza premotora se activan también por estimulación de distintas modalidades sensoriales. Desde el punto de vista de la sintonización sensoriomotora de la descarga, las neuronas de la corteza premotora pueden diferenciarse principalmente en visuales, auditivas y somatosensoriales. El acceso de información sensorial a la corteza premotora facilita la actividad motora y permite la traducción de la información sensorial en acciones. Por ejemplo, cuando un objeto es visto, sus propiedades visuales pueden activar los esquemas motores necesarios para alcanzarlo y manipularlo. Investigaciones adicionales han identificado NE en el lóbulo parietal inferior, por lo que se considera que las NE forman un circuito o sistema que excede a la corteza premotora. Se han identificado dos clases de neuronas visuomotoras en los primates: las "canónicas", que responden a la presentación visual de objetos, y las NE, que descargan cuando el mono observa acciones dirigidas a objetos. Para que la descarga del sistema de NE sintonice con los

estímulos visuales, es necesario que exista una interacción entre el objeto y la acción realizada por el individuo. El disparo de estas neuronas ocurre en dos circunstancias: cuando el animal efectúa acciones particulares, tales como agarrar un cacahuete, y cuando el animal observa a otro individuo asir un cacahuete. Las NE entonces, tienen dos propiedades de definición: responden específicamente a una acción particular, y producen su respuesta específica de acción de forma independiente si el mono ejecuta la acción u observa pasivamente a un con-específico realizar la misma acción. Cuando un individuo observa a otro realizando una acción, por ejemplo asir un objeto, los estímulos visualizados, por ejemplo la mano del agente, el objeto y el movimiento de la mano hacia el objeto, sintonizan inicialmente con neuronas del lóbulo occipital. Los mismos estímulos son codificados además en neuronas visuales extraestriadas ubicadas en la circunvolución temporal superior, sin embargo estas neuronas no forman parte del sistema NE porque no se activan también con la actividad motora realizada por el propio individuo.

La descarga de las NE presenta cierta somatotopía según la acción de tomar un objeto se realice con una extremidad o con la boca. Existen además categorías específicas de neuronas espejo, por ejemplo las neuronas espejo de categoría audiovisual, que son las que se activan no sólo cuando el primate observa una acción realizada por otro individuo, sino también cuando el mono escucha sonidos relacionados con la acción. La activación de estas neuronas a estímulos acústicos es también específica a un tipo de sonido, por ejemplo la rotura de un cacahuete y, además a la realización del acto que produce ese sonido. Otra categoría de neuronas espejo llamados "de comunicación" se activan en forma específica por la observación de movimientos de la boca de otro individuo que corresponden a gestos de comunicaciones de los primates. El sistema de NE puede ser la base de otros aspectos de la comunicación, sea ésta intencional o no: Un gesto realizado por un individuo que es observado por otro individuo, puede activar el circuito neural que codifica el esquema de la acción, que incluye el objetivo de la acción. La actividad perceptual del observador puede permitirle comprender el significado del gesto del emisor ya que en ambos casos, el actor y el observador del mensaje tienen un código en común. En este contexto el gesto se traduce en mensaje y la interacción entre actores en una forma de comunicación. Se considera que cuando el mono observa las acciones de otro individuo, la activación del esquema motor de la acción no conduce a la realización de movimientos, sino a la comprensión de esa acción. La comprensión de la acción por el observador puede efectuarse porque la información visual accede a la corteza motora del observador y activa la codificación de una acción similar en el observador. La asociación de los aspectos visuales de la acción observada y la interacción con las acciones propias del observador le permiten a éste "realizar las inferencias" acerca de la intención de la acción observada.

En la evolución natural, varios factores pudieron haber actuado como presiones de selección para la constitución de las NE: Por un lado, los animales deben entender la finalidad de las acciones de otros individuos para poder sobrevivir. Además, las acciones realizadas por otros individuos constituyen una categoría de estímulos de gran importancia socio biológica ya que la comprensión de las acciones de otros individuos favorece la actividad en conjunto y la organización social. Desde el punto de vista evolutivo, es posible que la comunicación intencional haya sido un desarrollo tardío de mecanismos de comunicación no intencional, basado en la comprensión de las acciones entre individuos sociales. En el caso de los seres humanos, el aprendizaje por imitación que depende de la observación de las acciones hechas por otros individuos y de la activación de las NE, es una facultad básica para la cultura.

EL SISTEMA DE NE EN HUMANOS

En los seres humanos, las NE han sido identificadas predominantemente usando técnicas electro o magnetoencefalografía (EEG – MEG), de estimulación magnética transcraneana y de imágenes cerebrales. Es sabido que movimientos activos de un individuo, tales como extender /flexionar la mano se asocian con la desincronización de los ritmos cerebrales en las áreas de corteza cerebral cercanos al surco central. Estudios EEG - MEG muestran una desincronización similar durante la observación de acciones realizadas por otros individuos. Por medio de estimulación magnética transcraneana en el área de corteza motora izquierda correspondiente a la mano y registro de potenciales evocados motores (PEMs) en los músculos correspondientes de voluntarios sanos, es posible evaluar el grado de excitabilidad de la corteza cerebral, y por lo tanto establecer si la corteza cerebral en estudio es activada durante la observación de acciones realizadas por otro individuo. Los resultados mostraron que la excitabilidad de la corteza motora aumenta tanto por la observación de acciones transitivas (sobre objetos) e intransitivas (sin objeto). Estos estudios son de especial interés ya que muestran que las acciones realizadas por otros individuos activan la red neuronal que es utilizada para replicar las acciones observadas, es decir que a diferencia del mono, el sistema de NE humano tiene la capacidad de replicar internamente acciones realizadas por otros individuos aún cuando estas acciones no tienen un objetivo aparente. En estudios de imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI), el incremento en el flujo sanguíneo regional que se ha observado correlativo a la realización o la observación de acciones involucra un circuito que incluye áreas frontales, parietales, temporales y occipitales de la corteza cerebral. Dos de las regiones con aumento de señal de resonancia son la porción rostral del lóbulo parietal inferior, la porción inferior de la circunvolución precentral y la parte posterior de la circunvolución frontal inferior (área 44 de Brodmann), regiones que se conocen por su función

predominantemente motoras y que forman el centro del sistema de NE humano. Ocasionalmente, otras regiones se activan durante la observación de acciones realizadas por otros individuos, como la corteza premotora dorsal y el sector de la circunvolución frontal inferior que corresponde al área 45 de Broadman. La justificación para concluir que los datos de los estudios mencionados representan un sistema de NE surge de la evidencia que los mismos satisfacen tres criterios: a) La activación cerebral se detecta en regiones cerebrales homólogas a las que contienen las NE en el macaco, b) la actividad cerebral es modulada por la actividad motora del sujeto, por ejemplo la acción de asir un objeto, y c) la actividad es también modulada por la observación por el agente de acciones similares realizadas por otro individuo.

Es sabido que el lóbulo parietal inferior (LPI) desempeña un papel relevante en el procesamiento de las entradas visuales y en control motor de las extremidades superiores. Se ha propuesto que las praxias normales de las extremidades estarían mediadas por el sistema de NE localizada en el lóbulo parietal inferior. La naturaleza del sistema de NE en el lóbulo parietal parece predisponer al enlace de movimientos individuales para formar una secuencia del acto, facilitando así la ejecución coordinada y fluida de una acción compleja. La mayoría de las NE que disparan sintonizadas con las acciones en la circunvolución supramarginal del lóbulo parietal inferior, no lo hacen en respuesta a un movimiento aislado, sino en respuesta a una sucesión de movimientos combinados para producir una acción compleja. La lesión de esta región del cerebro en humanos, generalmente en el hemisferio izquierdo, se asocia con frecuencia al trastorno neuropsicológico conocido como "apraxia ideomotora" (AI). La AI se caracteriza por la incapacidad o dificultad del paciente para realizar en forma adecuada acciones complejas aprendidas. Este desorden está presente a pesar de que la fuerza, el tono y la coordinación de las extremidades son normales y que no existen trastornos sensoriales básicos. La AI incluye la inhabilidad para utilizar objetos con las extremidades de manera apropiada, y en mayor medida, la de realizar la mímica de la acción, o pantomima. Además, los pacientes con AI no pueden afirmar si otro individuo está o no realizando una acción compleja correctamente. Aunque la AI y la afasia de comprensión pueden coexistir en algunos pacientes, ambos desórdenes pueden ocurrir en forma independiente, lo que demuestra que la apraxia no es debida a la incomprensión de los comandos verbales para la acción motora.

EL SISTEMA DE NE Y LA UTILIZACIÓN DE CONCEPTOS

Es posible que la prensión haya tenido un enorme valor para la supervivencia de los primeros primates. Para alcanzar una rama, el cerebro de los primeros primates arbóreos debió integrar señales provenientes de las entradas visuales de la retina con diversas señales propioceptivas, cada una de las cuales se

procesan primariamente en áreas separadas del cerebro. A pesar de las diferencias en las distintas modalidades sensoriales, la existencia de un denominador común en las propiedades estímulares codificadas en la corteza de asociación pudieron servir para producir percepciones complejas, como por ejemplo la correspondencia de estímulos de distintos sistemas sensoriales en la percepción de una rama oblicua. En relación con el movimiento, el sistema de NE en el LPI, posiblemente se originó para habilitar la creación de un mapeo directo entre la visión y la percepción del movimiento. El LPI, aun más que el resto de la corteza, experimentó una ampliación acelerada en la evolución filogenética de los primates. Puede suponerse entonces, que el mono macaco sea capaz de extraer el común denominador de "oblicuidad" de la integración visual y cinestésica. En los homínidos, las circunvoluciones angular y supramarginal en la intersección de los lóbulos parietales, temporales y occipitales del cerebro pudieron haberse desarrollado para posibilitar otras formas de mapeos perceptuales cruzados.

Se ha sugerido que este mismo mecanismo intermodal de codificación sensoriomotora, que se desarrolló inicialmente en primates no humanos para realizar movimientos precisos, evolucionó en los homínidos hasta posibilitar procesos de abstracción mental que son exclusivos de los seres humanos tales como la aritmética y la metáfora. En consonancia con esto, existen descripciones de pacientes con lesión en la circunvolución angular del LPI izquierdo que presentan trastornos en conceptos abstractos, por ejemplo sobre la ordinalidad y la cardinalidad de los números en coordenadas espaciales. Además, se ha comprobado que varios pacientes con AI, presentan dificultades en la comprensión no sólo de las acciones de otros individuos, sino también en la correcta interpretación de metáforas. Por ejemplo, pacientes con AI típicamente no pueden interpretar metáforas como "Julietta es el sol" (William Shakespeare), donde se yuxtaponen los conceptos implícitos de resplandor y calidez.

EL SISTEMA DE NE Y EL COMPORTAMIENTO SOCIAL

Existen hipótesis que vinculan al sistema de NE con la "teoría de la mente", y la lectura de otros individuos a través de la observación de sus acciones. El punto de vista tradicional de la psicología cognitiva sostiene que sólo los seres humanos son capaces de entender el comportamiento de otros individuos en términos de sus "estados mentales" (intenciones, creencias y deseos). Esta perspectiva establece una distinción neta entre las capacidades de los primates no humanos que estarían limitados a la "lectura del comportamiento" y las de los humanos, cuya cognición social haría uso de un diferente nivel de explicación o "lectura de la mente". Otro problema de la perspectiva tradicional es la pretendida relación que tendría la cognición social con la competencia lingüística. Por el contrario, evidencia reciente muestra que niños de 15 meses de edad comprenden

“falsas creencias”, lo que muestra que la capacidad de atribuir a otros individuos creencias falsas puede ser explicado sobre la base de mecanismos de “bajo nivel”, que no requieren del desarrollo completo de la competencia lingüística.

La perspectiva de la “simulación corporizada”, basada principalmente en hallazgos de estudios neurocognitivos, plantea que mecanismos del tipo del sistema de NE pueden contribuir no sólo a aspectos primarios de la cognición social, como ser la “empatía” o capacidad de comprender las emociones y sentimientos de otros individuos, sino también de aspectos más sofisticados, como la atribución de estados mentales a otros y el lenguaje. Desde esta perspectiva, la cognición social no constituye solamente una “metacognición”, esto es, de pensamientos explícitos por medio de símbolos u otras representaciones en un formato proposicional acerca de los contenidos mentales de otros individuos.

EL SISTEMA DE NE Y EL ORIGEN DEL LENGUAJE

Aunque no es posible hacer una reconstrucción de cómo el lenguaje apareció en la evolución, algunas evidencias apoyan la hipótesis de que el lenguaje humano se desarrolló de la comunicación gestual no intencional en mayor medida que del sistema de llamadas de los animales actuales. Por un lado no se han encontrado homologías consistentes entre primates no humanos y humanos en los mecanismos del cerebro responsables del control de las vocalizaciones. En contraste, el control neural de las extremidades superiores y de los movimientos faciales, que incluye la corteza motora, permiten a ambas especies la posibilidad de generar un repertorio amplio de gestos relacionados con la comunicación y utilizarlos en apoyo de los enunciados vocalizados. En los primates existen dos subcategorías de NE de acuerdo a su activación por la observación de gestos comunicativos realizados por otros individuos, y por la audición de los sonidos de acciones. Estas propiedades de las neuronas espejo podrían constituir el sustrato de aspectos más sofisticados de la comunicación. Estas consideraciones son plausibles si se tiene en cuenta la homología anatómica y funcional entre la región F5 de la corteza premotora de los monos y el área de Broca (área 44 de Brodmann) en los humanos. Varios componentes del lenguaje humano, incluyendo algunos aspectos de la fonología y la sintaxis, puede ser incorporados dentro de las propiedades de organización del sistema de NE. Por consiguiente, un mejor conocimiento de este sistema podría esclarecer acerca de la forma de evolución del lenguaje.

La característica principal del sistema de NE de los primates es la codificación en una misma área cortical tanto de la producción como de la percepción de acciones producidas por la cara y las extremidades anteriores. Este doble control pudo haber sido una función clave para la posterior evolución de un acoplamiento entre los gestos y las vocalizaciones de los primates. En los primates este acoplamiento se evidencia en el hecho

de que el repertorio gestual de los chimpancés se utiliza a menudo en asociación con las llamadas vocales. En los humanos varias observaciones sugieren la existencia de un acoplamiento similar: a) los gestos de las extremidades suelen acompañar a la producción del lenguaje, b) las lenguas de signos tienen la misma propiedades esenciales que el lenguaje hablado, c) la ejecución o la observación de las acciones de la mano afecta tanto a la apertura de los labios y el sonido de emisiones durante la producción de sílaba de la ejecución o la observación de agente, respectivamente, y d) durante la producción del habla existe activación de áreas cerebrales no específicas del lenguaje, particularmente del sistema motor. En síntesis, la capacidad del sistema motor de controlar acciones dirigidas a metas y las relaciones entre el sistema motor y el sistema de la percepción de las acciones y de los gestos de otros individuos han desempeñado un papel primario en la aparición de los complejos mecanismos sensoriomotores relacionados con la comunicación y, particularmente, con las facultades lingüísticas.

LA ENCARNACIÓN DE LA COGNICIÓN EN EL ESPEJO DE LA ACCIÓN

Según la hipótesis “amodal” de la representación semántica (hipótesis de la cognición “descorporizada”), los conceptos no están constituidos por información codificada en los sistemas sensoriales y motor, sino que las representaciones conceptuales son codificadas en forma cualitativamente distinta, “simbólica” o “abstracta”, y en áreas cerebrales enteramente separadas. De acuerdo a esta concepción la estructura interna del concepto no se asemeja a los estados perceptivos del cual ella se origina. Por ejemplo, la representación amodal del color de un objeto en la ausencia de ese objeto está situada en un sistema neural que es distinto al sistema de codificación neural de los objetos concretos de los cuales el concepto de color pudo haberse originado. Esta perspectiva constituye una variante de la psicología tradicional en la que persiste la idea dualista de que las representaciones conceptuales son a-modales (es decir, ni sensoriales ni motoras). Existen algunos problemas en la concepción a-modal de la cognición, como por ejemplo para explicar cómo los estados perceptivos se convierten en símbolos amodales.

En el otro extremo se encuentra la hipótesis de la “cognición corporizada” (HCC), según la cual el aprendizaje y comprensión de los conceptos se realiza en la forma de una “simulación” sensorial y motora. Varios estudios han demostrado que los sistemas sensoriales y motores son activados durante el aprendizaje y uso de conceptos. Tales resultados se han interpretado como indicativos de que el procesamiento semántico, y otros aspectos importantes de la cognición, se corporizan en una forma intermodal de integración sensorio-motora. La hipótesis de la cognición corporizada es una manera monista de interpretar la cognición, encarnándola en la fisiología del ser humano y animal. No se trata de una posición reduccionista porque la HCC considera que la

actividad psicológica transcurre en situaciones concretas del mundo real, en las que las condiciones del entorno contribuyen a la actividad apropiada del cuerpo y el cerebro del individuo. En esta perspectiva la codificación de las representaciones conceptuales resulta de mecanismos de la sensoropercepción y de la acción del individuo, que se solapan sustancialmente tanto en el ambiente natural, como en la integración sensorio motora a nivel neural. Existe evidencia empírica en apoyo a la plausibilidad de la hipótesis de la cognición corporizada. Por ejemplo, técnicas de imágenes cerebrales de sujetos humanos normales durante la realización de tareas de procesamiento semántico evidencian activación de áreas sensoriales y motoras en forma concomitante.

El propósito de este trabajo ha sido por un lado, describir las características funcionales del sistema de NE, esto es, de codificar las acciones tanto realizadas por el propio individuo como observadas, permitiendo la comprensión del significado de las acciones. Además,

se ha intentado plantear cómo un mecanismo que en la evolución natural de las especies se constituyó originalmente para el control del movimiento pudo devenir en un mecanismo básico de la utilización de conceptos y otros aspectos de la cognición. Los resultados de las investigaciones neurocognitivas sugieren que en el cerebro de los primates, el sistema de NE, desempeña un papel principal en varios aspectos relacionados del aprendizaje, realización y comprensión de las acciones. El sistema de NE de los humanos sirve también de base para la integración de información abstracta, las capacidades de la cognición social y para el procesamiento del lenguaje. Existen varios ejemplos de este tipo en la evolución natural del sistema nervioso de los vertebrados, en los que estructuras que se desarrollaron originalmente para determinadas funciones específicas, sirvieron también de base a otras funciones. Finalmente se han considerado las evidencias presentadas a favor de la hipótesis de la "corporización" de varios aspectos de la cognición en el sistema de las NE.

Bibliografía

- Aziz-Zadeh, L.; Wilson, S.M.; Rizzolatti, G.; Iacoboni, M. (2006). Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current Biology*, 16: 1818-1823.
- Barsalou, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22: 577-660.
- Chong, T.J.; Cunnington, R.; Williams, M.A.; Kanwisher, N.; Mattingley, J.B. (2008). fMRI Adaptation Reveals Mirror Neurons in Human Inferior Parietal Cortex. *Current Biology* 18: 1576-1580.
- Dapretto, L.; Davies, M.S.; Pfeifer, J.H.; Scott, A.A.; Sigman, M.; Bookheimer, S.Y.; Iacoboni, M. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neurosciences*, 9: 28-30.
- Fogassi, L.; Ferrari, Pier, F. (2007). Mirror Neurons and the evolution of embodied language. *Current Directions in Psychological Science*, 16: 136-141.
- Fogassi, L., Ferrari, P.F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., and Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: From action organization to intention understanding. *Science*, 308: 662-667.
- Gallese, V.; Keysers, C.; Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8: 396-403.
- Gallese, V. (2007). Before and below 'theory of mind': embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 362: 659-669.
- Gazzola, V.; Aziz-Zadeh, L.; Keysers, C. (2006). Empathy and the somatotopic auditory mirror system in humans. *Current Biology*, 16: 1824-1829.
- Glenberg, A.M.; Kaschak, M.P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin Reviews*, 9: 558-565.
- Glenber, A.M. (2006). Naturalizing Cognition: The Integration of Cognitive Science and Biology. *Current Biology*, 16: 801-804.
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind* (Chicago: University of Chicago Press).
- Mahon, B.Z.; Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology*, 102: 59-70.
- McGeoch, P.D. (2007). Apraxia, metaphor and mirror neurons. *Medical Hypotheses* 69: 1165-1168.
- Newell, A. (1980). Physical symbol systems. *Cognitive Sciences*, 4: 135-183.
- Rizzolatti, G.; Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27: 169-192.
- Searle, J.R. (1980). *Minds, brains, and programs*. *Behavioral and Brain Sciences*, 3: 417-457.
- Shapiro, L. (2004). *The Mind Incarnate*. The MIT Press. Cambridge.

ABSTRACT

This paper discusses some anatomical and physiological evidence that shows a network of neurons with sensorimotor integration properties, called "mirror neurons". These neurons are characterized by encoding actions both made by the individual as reported, suggesting that it would constitute the neural substrate of understanding the meaning of the actions of other individuals. It also raised other hypotheses that link the mirror neuron system with coding skills learned behavior, the ability of imitation of human social behavior, training and understanding of abstract concepts, communication and language.

The location of the mirror neuron system at the crossroads between the cerebral cortex areas in which they process information related to spatial orientation, vision and hearing, would facilitate the integration of different sensory modalities required

for complex actions learned. The "motor engrams" and "motor innervation pattern, classically postulated mechanisms independent of the encoding of" praxia "would have a real existence as complementary functions of the mirror neuron system whose center is located in the supramarginal gyrus located in the left inferior parietal lobe. Injury to this structure of the central nervous system and the white adjacent matter causes neuropsychological disorder known as ideomotor apraxia. From the integration of sensory and motor mirror neuron system may also be the coding circuit of other types of information, such as abstract concepts and the use of metaphors, which is a special ability of the human

Key words: mirror cells, abstract concepts, embodied cognition.