Discurso de Apertura del Curso 2019

Carlos Acuña Castroviejo

**Metacognición en el Hombre**

**y animales**

****

Real Academia de Medicina de Galicia

La Coruña 25 enero de 2019

**Señoras y Señores Académicos, Señoras y Señores,**

Los Estatutos de esta Real Academia de Medicina de Galicia establecen que, en cada Sesión Inaugural de un nuevo Curso Académico, un académico, por turno de escalafón, pronuncie un discurso de apertura sobre un trabajo doctrinal de su especialidad.

En esta Sesión Inaugural del Curso Académico del año 2019 me cabe el honor de cumplir con esta obligación, y lo hago trayendo un tema que durante siglos ha interesado a filósofos, científicos y a todo el mundo por igual, el cual es: **¿tenemos todos los animales la capacidad de pensar sobre nuestros propios pensamientos?**

Consideremos la siguiente situación. Hemos leído las referencias de un libro y hemos decidido comprarlo a través de una página web de internet. El libro tardará tres días en llegar a nuestras manos. ¿Qué ocurre en nuestro cerebro durante ese tiempo en que se pospone conocer el resultado de nuestra decisión? Podemos supervisar escenarios, percepciones y acciones tales como si las revisiones que hemos leído estarían ajustadas, si la información que hemos obtenido sería fiable, si el precio que hemos pagado sería el adecuado, si la decisión que hemos tomado haya sido correcta, o si hubiese habido un error y no recibiremos el libro. Nos quedaremos pensando y recreando todos y cada uno de los aspectos que nos han llevado a tomar la decisión de comprar. Cuando recibimos el libro obtenemos la información que nos permite *valorar* la que nos faltaba (el *feedback*) y las incertidumbres de nuestra decisión se resuelven. Esta es una situación frecuente, que contrasta con la otra: recibir inmediatamente la valoración de los resultados de nuestras decisiones.

La metacognición se refiere a *nuestro conocimiento de nuestros propios procesos cognitivos y a todo lo relacionado con ellos, incluyendo la auto-vigilancia activa y su regulación*, un concepto creado por John H. Flavell en 1976 [[1]](#endnote-1). Pensar sobre nuestros pensamientos implica *consciencia* [[2]](#endnote-2) de nosotros mismos, de lo que ha acontecido (el *pasado*, dependiente de la *memoria*), de lo que acontece (el *presente*, servida por la percepción sensorial), y de su proyección al *futuro*. La capacidad metacognitiva supone tanto *supervisión*, como *autoevaluación*, *confianza* en nuestras decisiones y *aprendizaje*. Esos son los **componentes fundamentales de la metacognición**, y los *seres humanos tenemos un ejecutivo cognitivo que supervisa y guía y, por lo tanto, optimiza la cognición* (p. ej., Smith et al. 2014).

**El aprendizaje** está fundamentado en acontecimientos pasados y actuales -donde errores y aciertos son muy importantes- en planificación de actividades, toma de decisiones y su ejecución [[3]](#endnote-3). Una herramienta fundamental en estos procesos cognitivos es la **memoria**. **La memoria** de larga duración, donde almacenamos nuestras experiencias y recuerdos, y **la memoria de trabajo**, la que utilizamos para manipular y elaborar pensamientos y acciones con información procedente de los recuerdos y de la información actual.

La pregunta obvia es, ¿tienen otros animales la capacidad metacognitiva análoga a la que tenemos los seres humanos? La pertinencia de esta pregunta radica en la raíz filogenética de esta capacidad ya que, como todas las funciones de nuestro organismo, estaría anclada en la evolución darwiniana. En este sentido, otras especies animales pueden tener algunos de los componentes de la metacognición por lo que su estudio es de gran importancia, como lo es, para el origen del lenguaje, la capacidad recursiva limitada que pueda estar presente en otras especies de animales.

Sin embargo, la metacognición siempre se ha pensado que entrañaba un cierto tipo de **consciencia** que era única a los seres humanos, por lo que su estudio en otras especies ni se consideraba apropiado. Desde Agustín de Hipona (354-430 d. C.) a Descartes (1596-1650) [[4]](#endnote-4) se consideró que el alma era divina [[5]](#endnote-5), ajena al cuerpo, que sería lo mismo que decir que con un alma extra-corporal, no física, la capacidad auto-reflexiva y su experiencia fenomenológica es específica de los seres humanos. Sin embargo, el estudio de capacidades tales como la **memoria**, **consciencia** o **metacognición** es perfectamente apropiada ya que a la luz de la evolución nada es ajeno a la búsqueda científica.

La existencia de una consciencia auto-reflexiva se ha desarrollado durante el curso de la evolución y ha debido tener una gran importancia adaptativa para todas las especies animales. La consciencia auto-reflexiva nos permite hacer cosas que se reflejan en nuestras acciones y en sus resultados y, dependiendo de los resultados, cambiar las acciones futuras permitiendo así una mejor adaptación y supervivencia. Las ventajas de ser capaces de prever y evaluar decisiones en nuestra mente, tanto antes como después de acometer acciones, son enormes y esta capacidad está muy desarrollada en los seres humanos. Pero no menos importante es que estas capacidades, más o menos desarrolladas, estén presentes en otros animales porque igualmente les permitiría mejores adaptaciones y acciones en el nicho en el que se desenvuelvan.

El objetivo de esta conferencia no es hacer un recorrido histórico de la evolución epistemológica de la metacognición, por lo que la breve descripción realizada es suficiente para enmarcar el problema de la existencia de capacidad metacognitiva en otras especies animales. Como neurocientífico, el objetivo que me planteo aquí es evaluar la información que hemos obtenido de la capacidad metacognitiva en primates subhumanos mediante el estudio de su actividad cerebral durante la toma de decisiones. En efecto, los compontes fundamentales de la metacognición se encuentran en la toma de decisiones: percepción sensorial, memoria, elecciones (*choice(s),* en inglés), decisiones, confianza y, una vez comunicadas las decisiones, su evaluación y su uso para modificar acciones futuras, es decir, aprendizaje.

**Nuestro conocimiento de la capacidad metacognitiva en el Hombre** proviene de estudios de la conducta y funcionales que indican que la metacognición es una función independiente del cerebro (p. ej., Hampton, 2001; Kornell et al., 2007). Esta no esuna tarea fácil ya que se trata de estudiar lo que pensamos sobre nuestros propios pensamientos.

Los pacientes con síndrome de Korsakoff, asociado a menudo al alcoholismo, se vuelven amnésicos debido a la lesión del *hipocampo*, y cuando la lesión afecta también al *lóbulo frontal del cerebro* no son conscientes de sus deficiencias, lo que sugiere que la metacognición depende del lóbulo frontal (Shimamura et al 1986), un resultado confirmado en pacientes con lesiones de las *cortezas cerebrales frontales y prefrontales* (Janowsky et al. 1989). Los estudios de imagen funcional cerebral por resonancia magnética (fMRI) en sujetos normales han confirmado esas observaciones (Fernandez-Duque et al. 2000; Gallo et al. 2006).

**La confianza en nuestras decisiones es un componente principal de la metacognición** (Kiani and Shadlen 2009). Actualizamos nuestras elecciones con nueva evidencia para cada opción de elección lo que nos permite evaluarla para guiar nuestras acciones. La confianza en nuestras elecciones se revisa sopesando la evidencia comparándola con la elección que hemos realizado. En un estudio con una tarea de conducta **-**equivalente a un juego de ordenador**-** orientada a este fin, y recogiendo la actividad neuronal mediante fMRI en el Hombre, se ha revelado que, después de haber ejecutado la decisión, la corteza *frontal medial posterior* representa la evidencia obtenida y la corteza *prefrontal anterior lateral* señala los cambios en la confianza de la decisión independientemente del valor de la decisión (Fleming et al 2018). Esta capacidad introspectiva se correlaciona con el volumen de sustancia gris en la *corteza prefrontal anterior*, cuanta más sustancia gris mayor capacidad metacognitiva (Fleming et al. 2010).

**La sincronización de los circuitos neuronales en la corteza cerebral origina oscilaciones eléctricas que pueden recogerse mediante el electroencefalograma** (EEG). Hay varias bandas de oscilación entre 0,05 y 500 Hz que se han definido correlacionándolas con *estados funcionales* [[6]](#endnote-6) del cerebro. Las oscilaciones de la actividad cerebral se piensa que contribuyen a procesar la información y, concretamente las bandas *alfa* y *theta* (2-15 Hz), sincronizarían regiones del cerebro alejadas entre si (p. ej., revisado en Pevzner et al. 2016) al desplazarse a unos 0,25-0,75 m/s desde las regiones más posteriores o sensoriales primarias del cerebro a las regiones más anteriores o de asociación, como la corteza frontal (Zhang et al. 2018). Por esta razón, su estudio puede arrojar luz al conocimiento de las regiones cerebrales implicadas en la supervisión y control de nuestras decisiones, componentes metacognitivos necesarios para tomar decisiones apropiadas.

La metacognición permite ajustar la conducta de manera adaptativa y determinar qué hacer en aquellas situaciones en las **tomamos decisiones y se ejecutan pero no disponemos de una valoración inmediata de las decisiones,** es decir, el *feedback* no está disponible inmediatamente. **Durante ese retraso, la ejecución metacognitiva está asociada específicamente con el incremento de la actividad electroencefalográfica en la *banda theta*** (4-6 Hz) **en las *regiones prefrontales del cerebro*** de las personas estudiadas, lo que sugiere que los procesos metacognitivos están orquestados por oscilaciones *theta* en las regiones prefrontales (Wokke et al. 2012).

**Los intentos para detectar metacognición en animales tienen una dificultad añadida** **debida a que nosotros no nos podemos comunicar directamente con ellos sobre su estado mental**. Sin embargo, para conocer lo que piensan o sus estados cognitivos, podemos comunicarnos indirectamente con ellos a través de sus acciones. Esto lo hacemos mediante tareas de conducta que los animales aprenden a ejecutar. El diseño apropiado de estas tareas de conducta es crucial para una interpretación adecuada de los resultados, y los estudios de conducta en animales indican que son capaces de reflejar sus estados mentales.

**En uno de los primeros experimentos de conducta realizados en animales de experimentación se ha descrito que las ratas conocen los límites de su propio conocimiento** (Foote y Crystal 2007). Es decir, que tienen una capacidad metacognitiva que siempre se había pensado que pertenecía al cerebro de los seres humanos: la consciencia de nuestro propio estado.

En este experimento se estudió la conducta de ratas mediante una prueba de auto-conocimiento al pedirles que clasificaran sonidos. Primero se entrenaron las ratas a asociar un brote corto de sonido (2 s) con una palanca, y un brote largo de sonido (8 s) con otra palanca. Al presionar la palanca correcta recibían 6 bizcochitos de recompensa pero si presionaban la incorrecta no la recibían. Las ratas también aprendieron que podían recibir la mitad de la recompensa (tres bizcochitos) metiendo su hocico en un agujero. Una vez entrenadas a realizar esta tarea comienza la prueba de metacognición. Las ratas comenzaron pulsando la palanca correcta sabiendo que recibirían la recompensa mayor y evitaban meter el hocico en el agujero. Entonces los experimentadores hicieron la prueba más difícil, utilizando sonidos intermedios más difíciles de clasificar como cortos o largos. En ese momento la probabilidad de que las ratas metiesen el hocico en el agujero para recibir la mitad de la recompensa aumentó significativamente; es decir, evitaban pulsar la palanca. Para confirmar que las ratas evitaban pulsar la palanca porque sabían que darían la respuesta errónea, los experimentadores repitieron la prueba sin el agujero donde introducir el hocico. Al forzarlas a pulsar la palanca, su ejecución era muy pobre; probablemente las ratas sabían que así sería y por esa razón evitaban pulsarla. La conclusión es que las ratas, como el Hombre, son capaces de reflejar sus propios estados mentales.

**Durante años se ha debatido hasta donde las funciones de las diferentes regiones del cerebro están especializadas o solapadas.** Por un lado la corteza cerebral está muy interconectada y es resistente al daño localizado, lo que apunta a representaciones más distribuidas y solapadas (Lashley 1963), pero por otro lado hay evidencia de funciones circunscritas a algunas regiones (Fodor 1983; Kanwisher 2010). **La evidencia actual es que ambos puntos de vista coexisten en la organización funcional del cerebro.** Algunas funciones como la codificación del color, el tacto, caras, o lugares están localizadas en regiones cerebrales particulares. Sin embargo, las representaciones categóricas abstractas se localizan en las regiones más anteriores del cerebro, especialmente en la corteza frontal. Pero una función determinada depende de la asociación de muchos módulos o regiones cerebrales que se conectan y desconectan funcionalmente de manera dinámica. La desconexión de un módulo no implica que deje de participar, sino que –reminiscente de la concepción *jacksoniana* de *desintegración* (Jackson 1881; 1882 [[7]](#endnote-7))- puede permitir liberar temporalmente las funciones de otras zonas del cerebro, que se realicen otras conexiones y desconexiones y así sucesivamente. El resultado funcional final depende, por lo tanto, de la actividad de prácticamente todo el cerebro, como se ha demostrado recientemente para la metacognición (Fleming et al 2018). Aunque en muchos trabajos experimentales se describen ciertas zonas asociadas a una función, esto no quiere decir que sean esas las únicas que participen. En estos momentos, tenemos limitaciones técnicas o de diseño experimental que no siempre permiten observar la actividad de todo el cerebro asociada a una función determinada.

En esa búsqueda de las zonas cerebrales asociadas a funciones cognitivas muchos laboratorios nos hemos centrado en las áreas de la corteza parietal, corteza frontal o zonas interhemisféricas del cerebro. Estas son áreas que están muy densamente interconectadas con otras zonas del cerebro y además tienen una conectividad intrínseca mesoscópica mucho más rica y extensa que las áreas sensoriales primarias. Esta organización sugiere la existencia de una maquinaria para coordinar el procesamiento de la información distribuida que sustenta funciones complejas tales como los procesos cognitivos (p. ej., Safavi et al. 2018). Sabemos además que las zonas sensoriales primarias no codifican las decisiones y por lo tanto no participan directamente en estas funciones cognitivas (p. ej., Hernández et al. 2010).

Aunque la búsqueda de las bases neuronales de la metacognición se haya centrado –por ser más accesible- tanto en la corteza cerebral del Hombre como en la de los animales, no quiere decir que las estructuras subcorticales no participen. La participación en metacognición de circuitos neuronales que interconectan recíprocamente la corteza cerebral con estructuras subcorticales se ha revelado de manera indirecta con técnicas no invasivas, como fMRI y EEG, mediante experimentos realizados en el Hombre sano, y en pacientes con lesiones en estructuras subcorticales. Estos estudios han revelado que los ganglios basales, núcleo caudado, putamen, globus pallidus, tálamo, habénula, nucleos monoaminérgicos mesencefálicos y pónticos, cerebelo y colículo superior participan en la supervisión de la conducta, conducta adaptativa y aprendizaje, funciones todas ellas implicadas en metacognición (revisado en, Ulsperger et al. 2014).

Lo que ocurre en las neuronas del cerebro de animales de experimentación durante la metacognición –los llamados correlatos neuronales de la metacognición- se ha estudiado poco, y no solamente –como he dicho antes- por que no podamos comunicarnos con ellos directamente sobre sus estados mentales, ni porque se haya considerado que los animales no estuviesen dotados de esta capacidad, reservada a los seres humanos, sino también por que su abordaje experimental no es trivial.A pesar de estas dificultades, los estudios combinados de conducta y electrofisiológicos en animales han revelado los sustratos cerebrales de la metacognición, proporcionado evidencia de que están dotados de capacidad metacognitiva, equivalente a la capacidad que tenemos los seres humanos.

**En el primer experimento electrofisiológico realizado hasta la fecha en ratas se ha encontrado que la *corteza orbitofrontal* participa en metacognición durante una tarea de discriminación de olores** (Kepecs et al. 2008). Aunque de este trabajo no se pueda concluir definitivamente que las ratas tengan esta capacidad ni que esa sea la única zona del cerebro que participe, los resultados apuntan a que adecuando mejor el paradigma experimental que se haya de utilizar –algo que no es simple- se podría obtener evidencia más concluyente (Terrace and Son 2009).

**Como era previsible, una red de áreas de la corteza cerebral de primates subhumanos participa en procesos metacognitivos**. En uno de los pocos trabajos neurofisiológicos que han estudiado específicamente la conducta metacognitiva en primates subhumanos (*Macaca mulatta* o Rhesus) los animales toman una decisión y la comunican ejecutando un movimiento rápido de los ojos (*sacada ocular*), pero no reciben inmediatamente la valoración de si la decisión tomada ha sido correcta. En el tiempo que va desde que comunican el resultado de su decisión y la recepción de la valoración tienen que realizar un seguimiento de su decisión y apostar si ha sido correcta. La actividad neuronal en las cortezas cerebrales de los *campos oculares frontales* (FEF), *prefrontal dorsolateral* (PFC) y *campos oculares suplementarios* (SEF), se correlaciona con las decisiones y con las apuestas, pero la actividad putativa metacognitiva, aquella que enlaza las decisiones con las apuestas apropiadas, ocurre únicamente en el SEF (Middlebrooks and Sommer 2012).

**Otro de estos abordajes experimentales se ha realizado utilizando tareas de conducta de toma de decisiones sensoriales** -**táctiles** (Romo et al. 1997) **y visuales** (Vázquez et al. 2000)- **muy controladas al mismo tiempo que se obtenía la actividad de las neuronas de la *corteza premotora* del cerebro**. En nuestros estudios, los monos se entrenaron a discriminar la longitud de dos líneas, que se muestran en secuencia separadas por un retardo. Durante la presentación de la segunda línea, que corresponde al periodo de decisión, tienen que decidir si la segunda línea es más corta o más larga que la primera y comunicar inmediatamente su elección ejecutando un movimiento rápido de ojos. Si la decisión ha sido correcta inmediatamente reciben una recompensa y si ha sido errónea no la reciben (Pardo-Vázquez et al. 2008; 2009; 2011; 2017; 2018; Acuña et al. 2010; Acuña and Pardo-Vázquez 2011).

Esta tarea de discriminación aunque aparentemente simple, está diseñada de tal manera que únicamente puede ser ejecutada correctamente cuando se realizan un número de operaciones neuronales o etapas cognitivas. Brevemente, el sujeto se encuentra enfrente de una pantalla e inicia la prueba fijando su mirada en el centro de la pantalla durante 200 ms. Entonces aparece el primer estímulo (una línea, S1) durante un corto periodo de tiempo (500 ms): el mono tiene que percibir la longitud de esa línea y, cuando esta desaparece, tiene que mantener una traza de la longitud de esa línea (S1) en la memoria de trabajo durante el periodo de retardo (1000 ms) hasta que aparezca la segunda línea (S2) de diferente longitud; percibe la longitud de la segunda línea, compara la longitud de esta línea con la traza que ha dejado la primera (S1) en la memoria de trabajo, y decide si la segunda línea (S2) es más larga o más corta que la primera y, finalmente, comunica el resultado de su decisión realizando un movimiento de ojos a uno de dos blancos que están en la pantalla, a la derecha y a la izquierda, y si la decisión fue correcta, recibe la recompensa. Utilizando estas tareas de conducta los hallazgos obtenidos, como vamos a ver a continuación, han sido sorprendentes.

**En estos animales, después de comunicar el resultado de sus decisiones perceptivas y de recibir inmediatamente la valoración del resultado de la elección, las neuronas de la *corteza cerebral premotora ventral*** [[8]](#endnote-8)(PMv) **codifican las elecciones, los resultados de esas elecciones, y la información sensorial en la que se basaron esas elecciones** (Pardo-Vázquez and Carlos Acuña 2008; 2009). Es decir, después de ejecutar la decisión y de haber recibido la valoración, estas neuronas recrean toda información que el animal ha utilizado para alcanzar una decisión. El correlato con la conducta, con lo que el animal pudiese estar pensando, lo desconocemos. Sin embargo, cuando se les pregunta a los sujetos humanos de experimentación que han realizado la misma tarea de conducta si piensan en algo después de haber tomado la decisión y recibir la valoración dicen que, en algunas ocasiones, piensan en los acontecimientos que les han llevado a tomar esa decisión. Que esos pensamientos no siempre se manifiesten conscientemente no es sorprendente; gran parte de nuestra actividad mental -de nuestra actividad cerebral- ocurre por debajo del nivel consciente y, cómo había planteado Sigmund Freud, la mente inconsciente continua influyendo en nuestra conducta y experiencia aunque no seamos conscientes de sus influencias (Freud 1915). Naturalmente es especular que estos mismos procesos ocurran en los animales, pero es sugestivo de que así pudiera ser.

**La relación entre la toma de decisiones y actividad en la *corteza premotora* se ha estudiado también con una variante del paradigma experimental que he descrito antes, en la que la decisión se tomaba pero su ejecución se posponía un cierto tiempo** (Lemus et al. 2007). Se trata de una situación en la podemos encontrarnos en la vida diaria: p. ej. tomar la decisión de comprar algo pero retrasar su compra unas horas. Pues bien, durante el periodo de tiempo en el que se pospone la ejecución de la decisión, las neuronas de la *corteza premotora medial* codifican el resultado de la evaluación sensorial que corresponde a las posibles elecciones del mono y la información sensorial en la que se basaron esas elecciones. Estas respuestas covarían con la comunicación de la decisión del animal. Estos resultados indican que el mantenimiento en la memoria de trabajo de la información sensorial original en la que se basó la decisión puede servir para actualizar continuamente la comunicación de la decisión.

**Sin embargo, no siempre recibimos una valoración inmediata de lo apropiado de nuestras decisiones; en algunas situaciones, como en el ejemplo que planteé al principio, la elección se realiza y se comunica o ejecuta pero la valoración del resultado de la decisión se pospone**. ¿Qué se codifica en el cerebro durante ese periodo de tiempo post-decisión? Durante ese tiempo podemos pensar si la decisión que hemos tomada ha sido o no correcta y sopesar los pros y contras basados en la información que hemos utilizado para alcanzar esa decisión en particular.

Hemos encontrado que durante ese periodo de tiempo entre la comunicación de la decisión y la recepción de su valoración las neuronas de la corteza PMv codifican, aisladamente o en combinación, la elección y los resultados que se han predicho. Por lo tanto, una vez que la elección se ha comunicado, las neuronas se quedan, podríamos decir, *considerando* o *murmurando* cada información relevante que se ha utilizado hasta que se conoce el resultado de la decisión. Todo esto sugiere –una vez más- que la memoria de trabajo juega un papel clave en la supervisión de la conducta conforme se va desarrollando y que esta capacidad metacognitiva no está reservada a la especie humana (Pardo-Vázquez and Carlos Acuña 2019).

**Estos hallazgos experimentales sugieren que esa información puede ser utilizada para ajustar la conducta futura a través de aprendizaje, un efecto directamente relacionado con la capacidad metacognitiva** (Flavell 1976; 1979). Hemos estudiado esta predicción en monos ejecutando una tarea similar a la que he descrito, al mismo tiempo que registramos la actividad de las neuronas de la *corteza premotora ventral*. Las neuronas codifican las elecciones correctas y erróneas realizadas en la prueba inmediatamente anterior y, lo más importante, es que esa actividad neuronal se correlaciona con la conducta del animal. Los animales ejecutaban mejor la tarea después de haber cometido un error en la prueba anterior. Estos resultados apoyan nuestra sugerencia de que las neuronas de la corteza PMv evalúan el proceso de decisión y utilizan esa información para modificar la conducta, las decisiones futuras (Pardo-Vázquez and Carlos Acuña 2017; 2018).

Cuando John Locke dijo que *la consciencia es la percepción de lo que pasa por la mente del hombre* (Locke 1689/1824), desde luego que no se estaba refiriendo a los animales, pero la evidencia experimental sugiere que los animales están dotados de, al menos, cierta capacidad metacognitiva. Pero, ¿cuánta?. Probablemente esta capacidad sea diferente entre las ratas y los primates subhumanos y entre estos y el Hombre. El lenguaje del Hombre puede ser un buen ejemplo comparativo. El lenguaje de los seres humanos tiene una característica sobresaliente que es su capacidad recursiva ilimitada ya que incluye el lenguaje hablado, la numerosidad, el canto, la música y la escritura (Hauser et al. 2002). Esta capacidad no está presente en otros animales, pero tienen una capacidad recursiva limitada: unos cantan, pero no hablan, otros pueden utilizar unos pocos números. Probablemente esto también ocurra para la capacidad metacognitiva que, aunque estará más limitada en los animales que en los seres humanos, los animales tendrán alguna de estas capacidades.

La ontogénesis de la metacognición en la especie humana es ilustrativa. Hasta los 3-4 años de edad los niños están limitados en su conocimiento y cognición de fenómenos cognitivos, es decir, en su metacognición, y tienen relativamente poca capacidad de supervisar su propia memoria, comprensión y otras capacidades cognitivas con la exactitud que lo hacen los niños mayores (p. ej., James 1890/1902 [[9]](#endnote-9); Piaget 1966/1969; Piaget 1976 [[10]](#endnote-10)). El desarrollo cognitivo es más que la adquisición de nuevos conocimientos y habilidades; consiste también en el desarrollo de conocimientos y habilidades que ya existen en el repertorio de los niños pequeños pero de forma rudimentaria o inmadura. Esas competencias tienen un desarrollo considerable durante la infancia y adolescencia. Tenemos muy pocos datos de la ontogénesis de la metacognición en otros animales, pero muy probablemente su repertorio inicial sea mucho menor que el de la especie humana y no se desarrollarían mucho más con la edad. En cualquier caso, el estudio comparativo ontogenético puede arrojar luz a la evolución filogenética de la metacognición y a su significado.

Estamos seguros que en un futuro veremos nuevos descubrimientos sobre este aspecto cognitivo tan importante para la adaptación, planificación, proyección y aprendizaje de los seres vivos que es la metacognición.

He dicho.

**Referencias**

Acuña et al (2010) *Decision-Making, Behavioral Supervision and Learning: An Executive Role for the Ventral Premotor Cortex?* Neurotoxicity Research DOI 10.1007/s12640-010-9194-y.

Acuña and Pardo-Vázquez (2011) *Ventral premotor cortex neuronal activity matches perceptual decisions*. European Journal of Neuroscience doi: 10.1111/j.1460-9568.2011.07708.x.

Augustine of Hippo (1631/ 1912) *St. Augustine’s* *Confessions* VII.9.13, 1631/1912 The Loeb Classical Library. Edited by Page and Rouse. English translation by William Watts. London: William Heinemann. <https://ryanfb.github.io/loebolus-data/L026.pdf>.

Descartes (1637/2002) *Discours de la Méthode.* <http://classiques.uqac.ca/classiques/Descartes/discours_methode/Discours_methode.pdf>.

Fernández-Duque (2000) *Executive attention and metacognitive regulation*. Consciousness and Cognition <https://doi.org/10.1006/ccog.2000.0447>.

Fleming et al (2010) *Relating Introspective Accuracy to Individual Differences in Brain Structure.* Science doi: 10.1126/science.1191883.

Fleming et al (2018) *Neural mediators of changes of mind about perceptual decisions*. Nature Neuroscience <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0104-6>.

Flavell (1976) *Metacognitive aspects of problem solving*. In L. B. Resnick (Ed), The nature of intelligence (pp. 231-236) Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Flavell (1979) *Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-Developmental Inquiry.* American Psychologist. [http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906](http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003-066X.34.10.906).

Flavell (1981) *Cognitive Monitoring* in, Dickson, W. P. (ed.) Children’s Oral Communication Skills, New York, London: Academic Press.

Fodor (1983) *The Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology* (MIT Press, Cambridge, MA)

Foote and Crystal (2007) *Metacognition in the rat*. Current Biology DOI 10.1016/j.cub.2007.01.061.

Freud (1915) *The Unconscious*. The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud, Volume XIV (1914-1916): On the History of the Psycho-Analytic Movement, Papers on Metapsychology and Other Works, 159-215.

Gallo (2006) *Prefrontal activity and diagnostic monitoring of memory retrieval: fMRI of the criterial recollection task*. Journal Cognitive Neuroscience <https://doi.org/10.1162/089892906775250049>.

Hampton (2001) *Rhesus monkeys know when they remember*. PNAS [www.pnas.orgycgiydoiy10.1073ypnas.071600998](http://www.pnas.orgycgiydoiy10.1073ypnas.071600998).

Hauser et al (2002) *The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve?* Science DOI: 10.1126/science.298.5598.1569.

Hernández et al (2010) *Decoding a perceptual decision process across cortex*. Neuron. DOI 10.1016/j.neuron.2010.03.031.

Jackson J Hughlings (1881) *Remarks on dissolution of the nervous system as exemplified by certain post-epileptic conditions*. Medical Press and Circular vol. I, p. 329. En, James Taylor “*Selected Writings Of John Hughlings Jackson (2)*. <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.63978>

Jackson J Hughlings (1882) *On some implications of dissolution of the nervous system*. Medical Press and Circular vol. 2: 411–414. En, <https://archive.org/stream/in.ernet.dli.2015.63978/2015.63978.Selected-Writings-Of-John-Hughlings-Jackson2_djvu.txt>

James (1890/1902) *The principles of psychology*. Henry Holt and Co. New York

Janowsky (1989) *Memory and metamemory: comparisons between patients with frontal lobe lesions and amnesic patients*. Psychobiology <https://doi.org/10.3758/BF03337811>.

Kanwisher (2010) *Functional specificity in the human brain: A window into the functional architecture of the mind*. Proc Natl Acad Sci USA  <https://doi.org/10.1073/pnas.1005062107>

Kepecs et al (2008) *Neural correlates, computation and behavioral impact of decision confidence*. Nature doi:10.1038/nature07200.

Kiani and Shadlen (2009) *Representation of confidence associated with a decision by neurons in the parietal cortex*. Science doi:10.1126/science.1169405.

Kornell (2009) *Metacognition in humans and animals*. Current Directions in Psychological Science. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01597.x>.

Lemus et al (2007) *Neural correlates of a postponed decision report*. PNAS [www.pnas.org\_cgi\_doi\_10.1073\_pnas.0707961104](http://www.pnas.org_cgi_doi_10.1073_pnas.0707961104).

Lashley (1963) *Brain mechanisms and intelligence: a quantitative study of injuries to the brain* (Dover, New York)

Locke (1689/1824) esta cita: *Consciousness is the perception of what passes in a man’s own mind* en, Vol. 1. Book 2, Chapt I *Of ideas in general, and their original*, p.[89] § 19, lines 13-14). An Essay concerning Human Understanding Part 1, vol. 1. Edition used: “The Works of John Locke in Nine Volumes” (London: Rivington, 1824 12th ed.). <http://oll.libertyfund.org/titles/761#Locke_0128-01_670> ePub.

Matelli et al (1985) *Patterns of cytochrome oxidase activity in the frontal agranular cortex of macaque monkey*. Behavioural Brain Research [https://doi.org/10.1016/0166-4328(85)90068-3](https://doi.org/10.1016/0166-4328(85)90068-3" \o "Persistent link using digital object identifier" \t "_blank).

Matelli et al (1991) *Architecture of superior and mesial area 6 and of the adjacent cingulate cortex*. Journal of Comparative Neurology. DOI: [10.1002/cne.903110402](https://doi.org/10.1002/cne.903110402).

Middlebrooks and Sommer (2012) *Neuronal correlates of metacognition in primate frontal cortex*. Neuron doi:  [10.1016/j.neuron.2012.05.028](https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.neuron.2012.05.028).

Pardo-Vázquez, J.L., Leborán, V., Acuña, C. (2008) *Neural correlates of decisions and their outcomes in the ventral Premotor cortex*. The Journal of Neuroscience. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3396-08.2008.

Pardo-Vázquez, J.L., Leborán, V., Acuña, C. (2009) *A role of the ventral premotor cortex beyond performance monitoring.* PNAS. doi: 10.1073/pnas.0910524106.

Pardo-Vazquez et al (2011) *Decision-making in the ventral premotor cortex harbinger of action*. Frontiers in Integrative Neuroscience. doi: 10.3389/fnint.2011.00054.

Pardo-Vázquez and Carlos Acuña (2017) *Using experience to improve: How errors shape behavior and brain activity in monkeys*. bioRxiv <http://dx.doi.org/10.1101/203737>.

Pardo-Vazquez JL, Acuña C (2018) *Using experience to improve: how errors shape behavior and brain activity in monkeys*. PeerJ 6:e5395 <https://doi.org/10.7717/peerj.5395>

Pardo-Vázquez and Acuña (2019) *Neural correlates of self-monitoring in the ventral premotor cortex*. Submitted.

Pevzner et al (2016) *Making waves in the brain: what are oscillations, and why modulating them makes sense for brain injury.* Frontiers in System Neuroscience.  doi:  [10.3389/fnsys.2016.00030](https://dx.doi.org/10.3389%2Ffnsys.2016.00030).

Piaget and Inhelder (1966/1969) *The psychology of the child*. Basic Books, Inc. New York. SBN 465-09500-3.

Piaget (1974) *La prise de conscience*. Presses Universitaires de France (PUF) ISBN-13: 978-2130329404

Rizzolatti et al (1998) *The organization of the cortical motor system: new concepts*. Electroencephalography and clinical Neurophysiology. DOI: <https://doi.org/10.1016/S0013-4694(98)00022-4>.

Rizzolatti and Sinigaglia (2010) *The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations*. Nature Reviews Neuroscience doi: 10.1038/nrn2805.

Rizzolatti and Sinigaglia (2016) *The mirror mechanism: a basic principle of brain function*. Nature Reviews Neuroscience doi: 10.1038/nrn.2016.135.

Romo et al (1997) *Categorical perception of somesthetic stimuli: psychophysical measurements correlated with neuronal events in primate medial premotor cortex*. Cerebral Cortex. <https://doi.org/10.1093/cercor/7.4.317>.

Safavi et al (2018) *Nonmonotonic spatial structure of interneuronal correlations in prefrontal microcircuits*. PNAS [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1802356115](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1802356115).

Shimamura et al (1986) *Memory and metamemory: A study of the feeling-of-knowing phenomenon in amnesic patients*. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition[http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.12.3.452](http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0278-7393.12.3.452).

Smith et al (2014) Animal metacognition: a tale of two comparative psychologies. Journal Comparative Psychology doi:10.1037/a0033105.

Spencer (1867) *First principles* London Williams and Norgate, 2nd ed p. 285.

Terrace and Son (2009) *Comparative metacognition*. Current Opinion in Neurobiology DOI 10.1016/j.conb.2009.06.004.

Ullsperger et al (2014) *Neurophysiology of performance monitoring and adaptive behavior*. Physiological Reviews. doi: 10.1152/physrev.00041.2012.

Vázquez, Cano and Carlos Acuña (2000) *Discrimination of Line Orientation in Humans and Monkeys*. Journal Neurophysiology DOI: 10.1152/jn.2000.83.5.2639

Wokke et al (2012) *Sure I’m sure: prefrontal oscillations support metacognitive monitoring of decision making*. The Journal of Neuroscience. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1612-16.

Zhang et al (2018) *Theta and alpha oscillations are travelling waves in the Human neocortex.* Neuron <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.05.019>

**Notas**

1. John H. Flavell ha sido quien acuñó el término de metacognición: “*Metacognition refers to one's knowledge concerning one's own cognitive processes and products or anything related to them [...] And refers, among other things, to the active monitoring and consequent regulation and orchestration of these processes [...]”* (en Flavell 1976, p. 232) [↑](#endnote-ref-1)
2. John Locke (1689/1824), uno de los filósofos en contra de la teoría Cartesiana de que el alma explica la identidad personal, propone el término *consciousness* con la finalidad de refinar y definir mejor el termino consciencia: “*Consciousness is the perception of what passes in a man’s own mind”* (Locke, op. cit. p. [89] § 19, lines 13-14). El término *consciousness* designa a una verdadera actividad mental, una reflexión sobre uno mismo, una introspección de los mecanismos de nuestras interioridades, mientras que *consciente* (*awareness*) se refiere a la moralidad, y refleja únicamente la referencia a uno mismo. [↑](#endnote-ref-2)
3. John H. Flavell propuso en 1979 que el conocimiento metacognitivo consiste en tres componentes: conocimiento de si mismo (e.g., conocer que aprendemos mejor cuando se estudia en un ambiente tranquilo que enfrente de la televisión); conocimiento de la tarea (e.g., conocer que es más fácil preparar una prueba de elección múltiple que una prueba de ensayo); y conocer las estrategias (e.g., cuando y cómo usarlas). Flavell (1981) distingue entre conocimiento metacognitivo y experiencia metacognitiva. La metacognición se refiere tanto a la consciencia (*awareness*) cómo al control de sus procesos cognitivos, emociones y motivaciones. [↑](#endnote-ref-3)
4. En la concepción filosófica de Descartes (1637/2002), el *cogito* «*je pense*» es considerado como lo que más tarde se llamaría *consciencia*. En la célebre cita «*je pense donc je suis*» (*Discours de la méthode* 4e part), el sujeto que piensa, es el sujeto que existe, dotado de atención, de voluntad, de la capacidad de imaginar y de sentir. La *consciencia* viene a ser la única cosa que resiste a la duda y a la ilusión, reflejando la experiencia del sujeto pensante, de si mismo. [↑](#endnote-ref-4)
5. La identificación del alma como una partícula fragmentada de la luz sirve para hacer divina al alma, oscureciendo la distinción crucial entre creador y criatura, sembrando también dudas de hasta donde el alma del hombre puede responsabilizarse de las malas acciones morales, responsabilidad que pasa a atribuirse al cuerpo en el cual el alma (en si misma casi material) está atrapada [VII.9.13 en, *St, Augustine’s Confessions* (1631/1912) The Loeb Classical Library London: William Heinemann] [↑](#endnote-ref-5)
6. *Estados cognitivo*s o *funcionales* se refiere al estado de la mente y al procesamiento de la información. Los estados cognitivos pueden variar rápidamente. Por ejemplo, las redes neuronales de la corteza cerebral pueden tener diferentes configuraciones, o *estados*, que afectan a la mente y al procesamiento de la información. También, el *estado* mental de *ser consciente* (*aware*) de uno mismo y de su situación afecta a la cognición, y por lo tanto al procesamiento de la información y a la manera de actuar, es decir: a la conducta. [↑](#endnote-ref-6)
7. “*The higher the centre the more numerous, different, and more complex, and more special movements it represents, and the wider region it represents-evolution. […]. In consequence, the higher the centre the more numerous, complex and special movements of a wider region are lost from a negative lesion of equal volume-dissolution”* (en, John Hughlings Jackson, op. cit. 1882). “*The negative symptoms are directly caused […]. The positive symptoms are indirectly caused, or, it is better to say, are “permitted”: they answer to increased activity of lower nervous arrangements, uncontrolled by lower nervous arrangements, uncontrolled by their now exhausted higher*” (en, John Hughlings Jackson, op. cit. 1881 section XV, p 21). El término desintegración (*dissolution*) proviene de Herbert Spencer: *Evolution under its simplest and most general aspect is the integration of matter and concomitant dissipation of motion; while Dissolution is the absorption of motion and concominant disintegration of matter* (Herber Spencer, op. cit p. 285). [↑](#endnote-ref-7)
8. La *corteza premotora ventral* (cPMv o áreas F4/F5 Matelli et al 1985, 1991; Rizzolatti et al 1998) es una de esas áreas cerebrales asociadas a funciones cognitivas. Se ha descrito que está involucrada en la observación de acciones realizadas por otros animales o por el experimentador; esta actividad neuronal se ha llamado *actividad o neuronas espejo* (revisado en Rizzolatti and Sinigaglia 2010, 2016). Aunque estos hallazgos se han replicado con estudios de fMRI en el Hombre, su significado exacto no está libre de controversia. [↑](#endnote-ref-8)
9. En la concepción de William James, metacognición y autorregulación son actividades esenciales del Yo. *[A mind …] It not only knows the things that appear before it; it knows that it knows them*. (James, op. cit. 1890/1902, vol. 1, p. 272-273). [↑](#endnote-ref-9)
10. El niño se enfrenta a etapas similares de desarrollo cognitivo mental a diferentes edades, y alcanza la siguiente etapa únicamente cuando domina la anterior. En cada etapa, el niño desarrolla aprendizaje a través de sus propias experiencias y motivaciones. Conforme pasa a través de las etapas aprende a autorregular su conocimiento; autorregulación es una función básica de metacognición (Piaget, op. cit. 1966, 1974). [↑](#endnote-ref-10)