

Tipos de imaginación motora y procesamiento predictivo

Types of motor imagination and predictive processing

Recibido: 28 de abril de 2017 - Aceptado: 13 de diciembre de 2017 - Publicado:

Forma de citar este artículo en APA:

Ezequiel Marengo, S. (enero-junio, 2018). Tipos de imaginación motora y procesamiento predictivo. *Poiésis*, (34), 58-71.

DOI: <https://doi.org/10.21501/16920945.2787>

Santiago Ezequiel Marengo*

Resumen

El entrenamiento con imaginación motora es una herramienta muy utilizada para mejorar la ejecución de técnicas deportivas. La teoría del procesamiento predictivo aplicada a la cognición ofrece una buena alternativa de explicación para este fenómeno, mostrando cómo fluye la información en el sistema motor mientras se ejecuta una acción y mientras se la imagina. Sin embargo, una errada taxonomía de los tipos de imaginación motora podría sentar las bases para construir un modelo de procesamiento predictivo que no explique ciertas peculiaridades que se dan en el entrenamiento de técnicas deportivas. En este sentido, propongo una corrección de la taxonomía estandarizada de modo que permita al modelo abarcar esas peculiaridades.

Palabras clave:

Entrenamiento; Imaginación motora; Procesamiento predictivo; Técnicas deportivas.

* Profesor de educación Física egresado del Instituto Provincial de Educación Física (Córdoba, Argentina). Integrante del grupo de investigación Epistemología y prácticas experimentales en las neurociencias cognitivas del Centro de Investigaciones "María Saleme de Burnichon" de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba. Correo electrónico: santima5@hotmail.com

Abstract

The training with motor imagery is a very used tool to improve the execution of sports techniques. The theory of predictive processing applied to cognition provides a good alternative explanation for this phenomenon, showing how information flows in the motor system while an action is executed and while it's imagined. However, a wrong taxonomy of types of motor imagery could lay the groundwork for constructing a predictive processing model that does not explain certain peculiarities that occur in the training of sports techniques. In this sense, I propose a correction of the standardized taxonomy on types of motor imagination, so as to allow the model to encompass these peculiarities.

Keywords:

Motor imagination; Predictive processing; Sports techniques; Training.

Introducción

El entrenamiento con imaginación motora es una técnica muy utilizada en el ámbito deportivo para mejorar el desempeño motor de los deportistas. Dado que la imaginación motora supone un trabajo *off-line* sobre ciertos esquemas de movimiento (i.e., sin ejecutar movimientos, ni recibir información *feedback* del entorno ni del propio cuerpo), ha de suponerse que si un entrenamiento de este tipo es eficaz existen procesos comunes entre la ejecución y la imaginación de los movimientos involucrados. Esos procesos pueden explicarse computacionalmente a la luz de los modelos de procesamiento predictivo de la cognición desarrollados en los últimos años. En este sentido, el libro *Surfing Uncertainty* (Clark, 2015) puede tomarse como una sistematización de muchos desarrollos en esta línea de trabajo, que aquí servirá base para explicitar un modelo del sistema motor al que puedan acoplarse algunos desarrollos particulares sobre imaginación motora.

De este modo, en Ridderinkhof y Brass (2015) se sostiene que durante la imaginación motora el sistema motor puede entrenarse en modo *off-line* gracias a la activación de algún mecanismo consciente que emula *inputs* sensoriales. Si bien la idea de emulación de *inputs* sensoriales es acertada, está basada en una imprecisa taxonomía de los tipos de imaginación que no permite al modelo de procesamiento predictivo explicar el fenómeno de la eficacia que tiene el entrenamiento con imaginación visuomotora externa combinada con imaginación kinestésica en el caso particular de habilidades motoras cerradas. Corregir la taxonomía resulta conveniente para que este fenómeno pueda explicarse en un modelo de procesamiento predictivo.

El trabajo constará de cuatro secciones. En la primera haré referencia al uso y éxito del entrenamiento con imaginación motora en ámbitos deportivos, y desarrollaré algunas consideraciones en favor de la idea de que la imaginación y la ejecución motora se constituyen en base a procesos comunes. En la segunda expondré de modo sintético un modelo de procesamiento predictivo que explica el funcionamiento del sistema motor, basado en las ideas de Clark (2015). En la tercera sección expondré algunas ideas de Ridderinkhof y Brass (2015) que explican por qué es posible la imaginación motora. En la cuarta criticaré la taxonomía sobre imaginación motora expuesta en este último trabajo y expondré una taxonomía adecuada que permite explicar esos fenómenos y es compatible con el modelo de sistema motor de Clark (2015).

Imaginación motora y su utilización en el entrenamiento deportivo

El entrenamiento mental es una práctica muy utilizada en ámbitos deportivos y terapéuticos con el fin de mejorar el desempeño de ciertas habilidades motoras. La imaginación motora es un tipo de entrenamiento mental tanto como la relajación, la auto-charla o la fijación de metas. Los deportistas utilizan la imaginación para mejorar o aprender habilidades motoras Kizildag y Tiryaki (2012), lidiar con lesiones que no permiten la práctica de una destreza o mejorar la fuerza muscular y la

flexibilidad articular. Una gran cantidad de estudios han demostrado que el rendimiento deportivo mejora con la práctica de esta técnica, aunque cabe destacar que su efectividad no es tan alta como el entrenamiento con ejecución de movimientos Mizuguchi et al. (2012).

Ejemplos de esta práctica pueden encontrarse en planes de entrenamiento de diversos deportes. En general, tiene un uso muy extendido en el aprendizaje o perfeccionamiento de técnicas en deportes donde predomina el uso de habilidades motoras cerradas¹. Los practicantes de halterofilia suelen repasar mentalmente las técnicas de arranque o tirón evitando una fatiga segura al intentar consecutivas repeticiones máximas; los nadadores suelen imaginar mentalmente las técnicas de nado durante su aprendizaje (cómo debe ser la entrada de las manos en el agua y su movimiento dentro de la misma, cuál será la posición de la cabeza respecto de la cadera o los hombros, etc); los saltadores de altura, longitud o con garrocha suelen imaginar sus movimientos incluso antes de realizar los saltos durante la misma competencia; los gimnastas, dada la complejidad de algunas de las destrezas que ejecutan, complementan su entrenamiento con el análisis de la secuencia de movimiento imaginando cada una de las fases necesarias para desarrollar la prueba.

Procesos comunes entre imaginación motora y ejecución

Si asumimos que la sola imaginación de una secuencia de movimientos tiene influencia en una futura ejecución, podemos suponer que existen ciertos procesos comunes entre la imaginación y la ejecución. En este sentido, pueden mencionarse algunas conclusiones de estudios experimentales, neuroimágenes y ciertas neuropatologías que darían sustento empírico y teórico a la existencia de estos procesos.

Por el lado de los experimentos conductuales, en algunos estudios se observó que el tiempo de realización de una acción era muy similar al utilizado para imaginarla. El caso más paradigmático es el de Decety y Mitchel (1989), en el que se observó que el tiempo utilizado para escribir cierto texto era el mismo, o muy similar, al empleado para imaginarlo. Dada esta paridad temporal, si consideramos que un mecanismo se desarrolla en una cantidad de tiempo determinada, ambas tareas podrían emplear mecanismos similares (o iguales).

En el caso de las neuroimágenes, se han encontrado patrones de activación similares que darían sustento a una correlación funcional entre imaginación y ejecución Ridderinkhof y Brass, (2015; p. 55), Mizuguchi (2012, pp. 104, 105). Si bien se trata de un abordaje aún incipiente, algunos resultados recientes comienzan a consolidar una línea de trabajo para futuras exploraciones. Cabe destacar la particularidad de que las correlaciones en los patrones de activación no son exactamente similares, y que en el proceso de imaginación motora se activan más bien ciertas áreas relacionadas con la tarea de planificación, mientras que durante la ejecución se activan, además, otras áreas motoras Ridderinkhof y Brass, (2015, pp. 55).

¹ Las habilidades motoras son susceptibles de ser clasificadas en abiertas o cerradas, dependiendo del grado de estabilidad que presenta el ambiente en el que se desenvuelven. Si las condiciones son más bien estables, la tarea se considera cerrada, de lo contrario, se considera abierta. Esta clasificación puede entenderse como una cuestión de grados, donde las tareas son más o menos cerradas o abiertas pero no completamente cerradas o abiertas (Véase Cohello 2007). Un ejemplo de habilidad motora cerrada es el saque que se ejecuta en el tenis, donde ejecutante elige el momento y el modo en el que lo ejecutará mientras su rival no puede más que esperar el desarrollo de esa acción. Este ambiente tan estable permite desarrollar un componente técnico muy estructurado que difícilmente pueda ejecutarse en un ambiente que implique mayor presión. Un ejemplo de habilidad motora abierta es la defensa de un contragolpe durante un partido de handball, donde el ambiente es muy inestable y se generan adaptaciones constantes en base a las acciones de los rivales.

En cuanto a las neuropatologías, los casos de apraxia darían una pista de la existencia y necesidad de cierta representación mental para realizar movimientos que requieren cierto grado de habilidad. Los apráxicos tienen problemas para llevar adelante algunas tareas motoras aunque no muestran incapacidades motoras para su ejecución. Esta patología demostraría que las tareas motoras tienen una fase de planificación y otra de ejecución y que los apráxicos tendrían dificultades en la primera fase (cf. Jeannerod, 2006). Podría entenderse que la imaginación motora depende de los mismos procesos en los que se planifica la acción.

El sistema motor en el marco del procesamiento predictivo

La neurociencia teórica utiliza modelos computacionales para comprender cómo funciona el cerebro. En este sentido, en los últimos años ha ido creciendo una perspectiva de modelización que intenta dar cuenta de las capacidades del cerebro comparándolo con una máquina bayesiana. Dicha máquina tiene por función generar modelos-hipótesis² sobre las causas que dieron lugar a ciertos inputs sensoriales. Dado que las sensaciones son ambiguas y poco claras, el sistema tiene que lidiar con la incertidumbre de reconocer cuándo y bajo qué condiciones se producirán nuevamente Colombo y Seriès (2012; p. 698). Gracias al cálculo bayesiano, que permite inferir la probabilidad de una hipótesis dados ciertos efectos que esta predice, los modelos-hipótesis tendrán mayor o menor grado de probabilidad en el sistema según su capacidad predictiva sobre las nuevas sensaciones. De esta manera, a medida que ingresan más y más inputs, los modelos-hipótesis van mermando el grado de incertidumbre gracias a una reducción de las señales de error.

En Clark (2015), el cerebro humano es entendido como una máquina predictiva que asigna valores de probabilidad a ciertos modelos-hipótesis. Los datos sobre los cuales se generan tales modelos-hipótesis provienen de las sensaciones que se suscitan en el cerebro mismo, en base a las cuales realiza predicciones sobre las sensaciones que se suscitarán dadas ciertas circunstancias. Los modelos-hipótesis compiten, por así decirlo, con otros modelos-hipótesis para obtener un grado mayor probabilidad de activación por parte del sistema. A mejor capacidad predictiva, mayor probabilidad de activación. Este objetivo lleva a los modelos-hipótesis a reducir el error de sus predicciones, y para ello es necesario que estas sean contrastadas con la mayor cantidad de datos (inputs sensoriales) posibles. Por otro lado, los modelos-hipótesis tienen una relación de jerarquía entre sí a partir de la cual unos se activarán si otros los inducen a hacerlo. Los de mayor jerarquía obtienen datos de los de menor jerarquía (información *bottom-up*) permitiendo a los primeros generar predicciones a partir de esa información que generará procesos de activación hacia los segundos (información *top-down*) a fin de obtener datos (en una futura aferencia *bottom-up*) que permitan contrastar las predicciones.

² En la literatura que trata estos temas, el término modelo suele ser utilizado para referirse a las entidades que genera la máquina bayesiana para explicar y predecir la entrada de ciertos *inputs*. Un modelo, entonces, sería algo así como una hipótesis de cómo es la realidad o el mundo en función de los estímulos recibidos. En todo caso, esas entidades son modelos de la máquina bayesiana.

Llamaré a ese uso del término "modelo" "modelo-hipótesis" para diferenciarlo del uso dado en la primera oración de esta sección, que hace referencia a un modelo teórico-científico sobre cómo es la realidad o el mundo (en este caso, cómo funciona el cerebro). No es lo mismo decir que el cerebro genera modelos sobre cómo es la realidad, a decir que la máquina bayesiana es un modelo de cómo funciona el cerebro.

Si bien este tipo de modelos es reciente y se encuentra en una fase acelerada de crecimiento y elaboración, constituyen un abordaje muy promisorio en diferentes ramas de las neurociencias cognitivas, con líneas de investigación continuadas y estudios experimentales dirigidos a hipótesis puntuales que se desprenden de los modelos. El caso de los fenómenos motores no es extraño a esta tendencia.

El sistema motor

Un aspecto común al grueso de los modelos de procesamiento predictivo es que los modelos-hipótesis (o sus predicciones) necesitan ser constantemente testeados para definir sus grados de probabilidad respecto de otros modelos-hipótesis. En este sentido, existen dos modos de llevar a cabo esta tarea: por inferencia perceptiva o por inferencia activa Clark (2015). En el caso perceptivo se predice la información exteroceptiva que es receptada por el tacto, la vista, el oído, el gusto y el olfato, brindando información sobre el “exterior” del sistema. Si bien los modelos-hipótesis están “a la espera” de ser testeados, esto solo podrá producirse cuando ingresen los inputs correspondientes. En el caso de la inferencia activa los modelos-hipótesis predicen información propioceptiva que es receptada por el aparato vestibular y el conjunto de receptores articulares y musculares (huso muscular, órgano tendinoso de Golgi, receptores articulares) que brindan información sobre la posición, el equilibrio y el tono muscular del propio aparato locomotor. Esta información, a diferencia de la exteroceptiva, proviene del medio interno del sistema, y en consecuencia no resulta necesario esperar que ingresen azarosamente los inputs que testearán los modelos-hipótesis. El movimiento, que es la acción que produce esos inputs, puede generarse por el propio sistema. Entonces, de alguna manera, que no intento profundizar en este trabajo, los modelos-hipótesis propioceptivos del sistema motor inician una cadena de activaciones *top-down* que acaban reclutando los comandos motores necesarios para ejecutar los movimientos que generen los datos (sensaciones propioceptivas) que sirvan para testear sus predicciones.

Quiero destacar que los modelos-hipótesis que se activan durante la inferencia perceptiva hacen predicciones sobre datos exteroceptivos exclusivamente, mientras que los que se activan durante la inferencia activa hacen lo propio sobre los datos propioceptivos. Se podría decir, entonces, que existen modelos-hipótesis exteroceptivos y modelos-hipótesis propioceptivos. A pesar de esta diferenciación entre tipos de modelos-hipótesis, al asumir que todo el sistema está organizado jerárquicamente, la información que se procesa en cada uno de ellos podría ser integrada por alguna especie de modelo-hipótesis sensoriomotor de mayor jerarquía a los anteriores. En Clark (2015; pp. 120-124) ve esto como un modo de disolver los problemas que surgen en las teorías que intentan explicar la acción y la percepción entendiéndolos como módulos sin relación.

¿Qué procesos computacionales se dan durante el entrenamiento con imaginación motora de técnicas deportivas?

Podríamos decir que el entrenamiento mental con imaginación motora es una práctica que se lleva a cabo para que la ejecución de una habilidad mejore mediante sesiones de entrenamiento que solo implican su imaginación. Un caso especial de este tipo de entrenamiento es el que se realiza para aprender o perfeccionar una técnica deportiva. La particularidad en el aprendizaje de técnicas radica en que los movimientos a ejecutar se deben ajustar a una forma o esquema ideal de acciones a fin de cumplir con algún objetivo en la práctica deportiva con la mayor eficacia posible. Si bien existen técnicas propias de deportes de contextos muy inestables como el fútbol (por ejemplo la técnica de pase con cara interna del pie), las más sofisticadas suelen aplicarse a deportes de contextos más estables donde el entorno ofrece muy poca incertidumbre. En esta sección intento desarrollar algunas cuestiones teóricas sobre la posibilidad de construir modelos de procesamiento predictivo que den cuenta del fenómeno del aprendizaje por imaginación motora de este último tipo de técnicas. En este sentido, a modo de ejemplificar todo lo anteriormente expuesto en este párrafo, tomemos por caso la técnica de brazada de mariposa (el estilo de nado), que es propia de un deporte altamente estable donde los movimientos a realizar durante la competencia están prácticamente predeterminados por completo. Una rápida reflexión nos puede persuadir de que es posible imaginar la secuencia de movimientos necesarios para ejecutar la maniobra que exige la técnica en cuestión. Esto es: el tiempo, la velocidad, la fuerza a emplear, la posición de los brazos en cada momento de la secuencia, la posición de los hombros respecto de las manos, de la cabeza o de la cadera, etc. Si el entrenamiento con imaginación motora es eficaz, el nadador mejorará su técnica de braceo de mariposa, lo que implica que a partir de la práctica mental ha dispuesto su motricidad a ejecutar correctamente la técnica de nado.

¿Cómo es posible imaginar movimientos sin actuar?

En Ridderinkhof y Brass (2015) se expresan algunos desarrollos teóricos que pueden echar luz sobre este tema y que, entiendo, son compatibles con las ideas de Clark (2015) expuestas anteriormente. Allí se sostiene que durante la imaginación motora, por algún mecanismo consciente, se generan sensaciones virtuales en modo *off-line* que son procesadas por el sistema motor de tal modo que le permite entrenar habilidades motoras sin necesidad de ejecutarlas. Tales activaciones se darían por la acción de alguna especie de programa que emula las sensaciones en cuestión.

El modelo computacional del fenómeno al que hacen referencia los autores se inscribe en un marco de procesamiento predictivo. En este sentido, bajo la asunción de que el cerebro es una máquina predictiva, sostienen que la información emulada permite al sistema motor testear los modelos-hipótesis en modo *off-line*, generando así un escenario de entrenamiento en el que el objetivo es reducir el error de las predicciones de los modelos-hipótesis sobre las sensaciones que se darían si se siguieran ciertas acciones (sin ejecutarlas, solo imaginándolas). Los modelos

que presentan menor error en sus predicciones sobre las sensaciones que surgirían de estos movimientos imaginados “ganarán peso” (tendrán mayor probabilidad de activación) en la consideración del sistema para ser activados cuando se requiera ejecutar la acción.

¿Qué tipo de información se emula durante la imaginación motora?

En gran parte de la literatura sobre la imaginación motora, se suele clasificar este tipo de imaginación según el tipo de información (sensaciones) que procesa el sistema durante el fenómeno. En Ridderinkhof y Brass (2015) se puede encontrar una taxonomía muy utilizada de imaginación motora (véase Decety et al. 1988; Epstein 1980; Jeannerod 1994; Mellet et al. 1998; Sirigu and Duhamel 2001). Se distinguen dos tipos: visuomotora, donde “el individuo imagina la acción motora desde la posición de un espectador virtual viendo sus propios movimientos” Ridderinkhof y Brass (2015, p. 54), o kinestésica, que supone que “el individuo se imagina realizando la acción no solo como si estuviera viendo a través de sus ojos, sino también sintiendo sus propios movimientos” Ridderinkhof y Brass (2015, p. 54).

Dada esta clasificación, los autores sostienen que en un entrenamiento eficaz la información más relevante para ser imaginada es la propioceptiva, y por lo tanto el tipo de imaginación a practicar es la kinestésica. La siguiente cita intenta profundizar esta idea:

Thus, during the deadlift, sensory inputs arise from proprioceptive sensations, associated with movements of the limbs and body parts, and not from exteroceptive sensations from the environment. This renders the form of the deadlift essentially identical for every repetition, and allows the athlete to rehearse proprioceptive sensations from the limbs and other body parts. Hence, the athlete benefits from using the embodied KMI rather than VMI. (Ridderinkhof y Brass, 2015, p. 54).

A pesar de destacar que es la imaginación sobre las sensaciones propioceptivas es la que permite llevar a cabo un entrenamiento adecuado, al definir imaginación kinestésica, los autores sostienen que en ella no solo se generan sensaciones propioceptivas, sino también un subtipo de sensaciones exteroceptivas:

The notion that KMI elicits anticipated sensory effects of imaged action, including kinesthetic, vestibular, visceral, *tactile* [las cursivas son mías] sensations, thus entails an embodied perspective, a notion that will be found key in unveiling such mechanisms. (Ridderinkhof y Brass, 2015, p. 54)

Por lo tanto, la información que debería ser emulada es la que generará la imaginación kinestésica, es decir, la información propioceptiva en combinación con algún subtipo de información exteroceptiva como la proveniente del tacto.

Esta combinación suena confusa porque tanto Ridderinkhof y Brass (2015), como otros trabajos en los que estos se apoyan (Cf. Stinear 2005), llaman imaginación kinestésica a un tipo de imaginación que pareciera no ser exclusivamente kinestésica. El problema radica en no diferenciar

adecuadamente el tipo de información que supone la kinestesia. En este sentido, Stillman (2002) desarrolla una clarificación del concepto de kinestesia que permite identificarla con la propiocepción, con lo cual la información proveniente del medio externo no se considera kinestésica. Con esto, si se acepta que la información táctil se produce por la interacción con el medio externo (básicamente el roce de la piel con el aire, el agua, diferentes objetos, etc.), no puede clasificarse como kinestésica, y en consecuencia la emulación de una sensación de este tipo no generaría imaginación kinestésica. Por otro lado, existen investigaciones que han arrojado conclusiones sobre la posibilidad de imaginar sensaciones propioceptivas sin que sean combinadas con sensaciones exteroceptivas. Estos trabajos serán desarrollados en la siguiente sección, donde además introduciré una taxonomía adecuada sobre los tipos de imaginación motora que muestre mayor claridad sobre el tipo de información que corresponde a cada tipo de imaginación motora.

Algunos problemas que surgen del modelo de Ridderinkhof y Brass

Para comprender mejor el problema de la taxonomía de los tipos de imaginación motora es necesario introducir una nueva terminología que es de amplio uso en la literatura que trata estos temas. Me refiero a la noción de *perspectiva*, que supone que la imaginación puede darse o bien desde una perspectiva de primera persona o bien desde una de tercera persona. En la de primera persona lo imaginado es lo que uno sentiría llevando adelante una acción, mientras que en la de tercera persona es lo que observaría otro al vernos realizar una acción (para ampliar sobre la noción de perspectiva cf. Vogeley y Fink (2003, p. 38).

En Ridderinkhof y Brass (2015) se sostiene que desde la perspectiva de tercera persona imaginamos nuestros propios movimientos como si nos estuviéramos viendo a nosotros mismos desde una tribuna. En la de primera persona imaginamos nuestros propios movimientos como si estuviéramos viendo lo que captan nuestros propios sentidos sobre nosotros mismos (sería algo así como tener una cámara de video reproduciendo lo que se estaría grabado desde dentro de nuestras cabezas). En la perspectiva de tercera persona se da el fenómeno de imaginación visuomotora, mientras que en la de primera persona se da el de la imaginación kinestésica.

Los problemas que se siguen de esta taxonomía y relación con los tipos de perspectivas fueron advertidos por Hardy (1997) que insiste en una falta de criterio al identificar imaginación kinestésica con la imaginación motora interna:

[classical] description of internal imagery confounds visual imagery from an internal perspective with kinesthetic imagery. Furthermore, this confounding has been replicated in all the empirical studies that have shown higher levels of EMG³ activity for internal imagery in comparison with external imagery [...] It is not surprising that kinesthetic imagery produces higher levels of EMG activity than no kinesthetic imagery. Related to this confounding issue is the fact that many researchers appear to assume that kinesthetic imagery cannot be performed with an external visual image, or that it is at least

³ Electromiograma.

easier to perform with an internal visual image. However, there is no logical reason why performers should not be able to combine external visual images with kinesthetic images [...] (Hardy, 1997, p. 288)

Una manera de evitar estas confusiones es crear una taxonomía en la que pueda incluirse una nueva categoría de imaginación que suponga el procesamiento de información exteroceptiva de primera persona pero sin implicar información propioceptiva. De este modo se podrían identificar tres tipos de imaginación motora: kinestésica (sobre el tono muscular, el equilibrio, etc.), visuo-motora de primera persona o interna (como si reprodujéramos lo que una cámara grabó desde dentro de nuestras cabezas) y visuomotora de tercera persona o externa (como si estuviéramos viéndonos desde las gradas). En la siguiente cita se muestra una clasificación coherente con estas observaciones:

Motor imagery can be divided into visual (or termed visuomotor) imagery (VI) and kinesthetic imagery (KI). VI involves the visualization of a movement from the first- (internal VI, IVI) or third-person (external VI, EVI) perspective. IVI requires an individual to mentally generate movements by oneself, which is analogous to visualization taking place while a camera is mounted in one's own head and scans one's own body. EVI requires an individual to visualize the movements generated by others in their surroundings, whilst the observer is a spectator. KI, on the other hand, emphasizes the feelings and sensations associated with the movements being visualized. (Yu et al., 2016, p. 211)

Con todo, una clasificación pertinente de los tipos de imaginación y de las perspectivas e información que implican, permite desarrollar una mejor comprensión del tipo de información que se emularía durante la imaginación motora. Esto, a su vez, abre paso a dar cuenta de la diferencia en la eficacia que tienen esos tipos de imaginación motora en particular caso de entrenamiento de técnicas deportivas. (Hardy 1997, Hardy y Callow 1999) muestran cómo con aquella confusión se soslaya que el entrenamiento por imaginación motora externa en el entrenamiento de técnicas es mucho más efectivo que cualquier otro: “[...] external visual imagery is superior to internal visual imagery for the acquisition and performance of criterion task that are heavily dependent on form for their successful performance” (Hardy y Callow, 1999, p. 108).

Es importante destacar que el hecho de que la imaginación motora externa sea más efectiva que la interna en este caso particular, no implica que la imaginación kinestésica no sea importante. De hecho, uno de los resultados más sorprendentes de Hardy y Callow (1999) es que la imaginación motora externa puede entrenarse en conjunto con la kinestésica, donde la segunda puede resultar una especie de última fase del aprendizaje al imaginar cómo se sentiría implementar los movimientos ya imaginados con imaginación motora externa. Más allá de todos estos detalles, lo importante del panorama global que he presentado es que la imaginación motora de primera persona pareciera no ser de gran utilidad en este tipo de entrenamiento, aunque la kinestésica sí (Cf. Hardy y Callow 1999, pp. 105-109).

¿Qué información se emularía bajo esta nueva taxonomía?

Si aceptamos la clasificación de Yu et al. (2016, p. 211), la hipótesis de la emulación de Ridderinkhof y Brass (2015), los resultados de (Hardy 1997; Hardy y Callow 1999) y el modelo de procesamiento predictivo del sistema motor de Clark (2015), la imaginación motora debería entenderse como un proceso en el que se emulan datos propioceptivos, exteroceptivos, o bien la combinación de ambos, a fin de que el sistema entrene sus modelos predictivos en modo *off-line*. En este sentido, el emulador puede reproducir los datos necesarios para un entrenamiento diferenciado de imaginación visuomotora externa, de imaginación visuomotora interna, imaginación kinestésica, o combinaciones entre estas. Tales datos se procesan en modelos-hipótesis exteroceptivos, propioceptivos, o sensoriomotores (esto es, los modelos que integran información propio y exteroceptiva). La nueva taxonomía permite diferenciar claramente los tipos de información que procesarán los diferentes modelos-hipótesis, lo que a su vez permite diferenciar entre modelos-hipótesis propioceptivos y exteroceptivos.

En el caso particular del entrenamiento de técnicas con imaginación motora, los datos que la emulación debe proporcionar al sistema motor deben ser más bien aquellos que puedan generar imaginación visuomotora externa. Es decir, información exclusivamente exteroceptiva y de tercera persona. Pero, dado que la imaginación kinestésica resulta un buen complemento en las últimas fases del entrenamiento, también podrían emularse datos exclusivamente propioceptivos, generando una combinación de imaginación visuomotora de tercera persona con imaginación kinestésica. De este modo, para un entrenamiento eficaz, los modelos-hipótesis a entrenar son, o bien exclusivamente exteroceptivos de tercera persona, o bien la combinación de estos con los propioceptivos.

Conclusiones

El entrenamiento de habilidades motoras puede realizarse, entre otras formas, a través de la imaginación motora. Entre las habilidades más entrenadas con este método se encuentran las técnicas deportivas, que tienen la particularidad de ser esquemas predeterminados de movimiento que pretenden ejecutarse en circunstancias donde el entorno de desarrollo es más bien estable. En este sentido, su aprendizaje y perfeccionamiento requieren ajustar la motricidad a un esquema ideal de movimientos, y la imaginación motora ha demostrado ser efectiva para estos propósitos.

Al intentar dar cuenta de este fenómeno en el marco de un modelo de procesamiento predictivo, la propuesta de Clark (2015) resulta una buena base explicativa sobre cómo fluye la información en el sistema motor, a la cual pueden incorporarse algunas nociones desarrolladas en Ridderinkhof y Brass (2015) que resultan compatibles y echan luz sobre los procesos a partir de los cuales emergería la imaginación motora.

En el modelo de procesamiento predictivo de Clark (2015) la cognición funciona como una máquina bayesiana que genera modelos que hipotetizan sobre las causas de los *inputs* sensoriales que ingresan al sistema. Su función es predecir futuras sensaciones a fin de manejar la incertidumbre implicada en un contexto de constante cambio. En el particular caso del sistema motor, los datos procesados provienen o bien del entorno (información exteroceptiva) o bien de los propioceptores de los músculos y articulaciones (información propioceptiva). Durante la imaginación motora este tipo de información no está disponible, y en este sentido, en Ridderinkhof y Brass (2015) se sostiene que este fenómeno se desarrolla gracias a algún tipo de actividad consciente que activa un proceso de emulación de efectos *bottom-up* que permiten al sistema motor entrenar en modo *off-line*. Al tener estos *inputs* virtuales a disposición, los modelos pueden mejorar su capacidad predictiva a pesar de no recibir información desde los receptores sobre los cuales operan en modo *on-line*.

A pesar de la pertinencia de la idea de emulación de *inputs* en Ridderinkhof y Brass, (2015), la taxonomía de los tipos de imaginación motora no es adecuada y no permite dar cuenta de algunos fenómenos que se dan durante el aprendizaje de técnicas deportivas con entrenamiento por imaginación motora. Los autores sostienen que la información emulada puede servir para generar solamente dos tipos de imaginación: kinestésica (que en este caso es la imaginación desde una perspectiva de primera persona, que implica las sensaciones propioceptivas y las exteroceptivas de primera persona) y visuomotora (que se da desde una perspectiva de tercera persona e implica información exteroceptiva de tercera persona). Esta clasificación genera inconvenientes con cierta evidencia que muestra que un tipo particular de imaginación visuomotora es muy eficiente respecto de otros tipos de imaginación motora en el peculiar caso del aprendizaje de técnicas deportivas, donde además la imaginación de sensaciones exclusivamente propioceptivas puede ser una herramienta muy útil en las últimas fases del entrenamiento.

Todo esto implica que lo que se entiende en Ridderinkhof y Brass (2015) por imaginación kinestésica debería ser revisado para distinguir en ella dos tipos de imaginación: una que opere sobre información propioceptiva (de primera persona) y la otra sobre cierto subtipo de información exteroceptiva (de primera persona). De este modo, si se quiere construir un modelo explicativo del sistema motor que dé cuenta del éxito del entrenamiento mental de técnicas deportivas, es necesario que contemple tres tipos de imaginación: kinestésica, visuomotora de primera persona y visuomotora de tercera persona. Con todo, un modelo de procesamiento predictivo aplicado a este fenómeno debe suponer que los centros de procesamiento propio y exteroceptivos se desarrollan gracias a la emulación de información propio y exteroceptiva, y que estas pueden o no integrarse en un modelo de mayor jerarquía. Estas correcciones permiten al modelo de procesamiento predictivo tener más flexibilidad a la hora de explicar los fenómenos motores.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflictos de interés relacionados con este artículo.

Referencias

- Clark, A. (2015). *Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind*. Oxford University Press. Capítulo 4: Prediction-Action Machines.
- Coelho, R. W., De Campos, W., Silva, S. G. D., Okazaki, F. H. A., & Keller, B. (2007). Imagery intervention in open and closed tennis motor skill performance. *Perceptual and Motor Skills*, *105*(2), 458-468.
- Colombo, M., & Seriès, P. (2012). Bayes in the brain—on Bayesian modelling in neuroscience. *The British journal for the philosophy of science*, *63*(3), 697-723.
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitt's law hold in motor imagery? *Behavioural brain research*, *72*(1), 127-134.
- Decety, J., & Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain and cognition*, *11*(1), 87-97.
- Decety, J., Philippon, B., & Ingvar, D. H. (1988). rCBF landscapes during motor performance and motor ideation of a graphic gesture. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *238*(1), 33-38.
- Epstein, M. L. (1980). The relationship of mental imagery and mental rehearsal to performance of a motor task. *Journal of Sport Psychology*, *2*(3), 211-220.
- Féry, Y. A. (2003). Differentiating visual and kinesthetic imagery in mental practice. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *57*(1),
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and brain sciences*, *27*(03), 377-396.
- Hardy, L. (1997). The Coleman Roberts Griffith address: Three myths about applied consultancy work. *Journal of Applied Sport Psychology*, *9*(2), 277-294. YVES-ANDRÉ FÉRY
- Hardy, L., & Callow, N. (1999). Efficacy of external and internal visual imagery perspectives for the enhancement of performance on tasks in which form is important. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *21*(2), 95-112.

- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self*. Oxford University Press.(42), 12-16.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain sciences*, 17(02), 187-202.
- Jones, M., & Love, B. C. (2011). Bayesian fundamentalism or enlightenment? On the explanatory status and theoretical contributions of Bayesian models of cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 34(04), 169-188.
- Ridderinkhof, K. R. & Brass, M. (2015). How Kinesthetic Motor Imagery works: a predictive-processing theory of visualization in sports and motor expertise. *Journal of Physiology-Paris*, 109(1), 53-63.
- Kizildag, E., & Tiryaki, M. Ş. (2012). Imagery use of athletes in individual and team sports that require open and closed skill. *Perceptual and motor skills*, 114(3), 748-756.
- Mahoney, M. J., & Avenier, M. (1977). Psychology of the elite athlete: An exploratory study. *Cognitive Therapy and Research*. 1. 135-141.
- Mellet, E., Petit, L., Mazoyer, B., Denis, M., & Tzourio, N. (1998). Reopening the mental imagery debate: lessons from functional anatomy. *Neuroimage*, 8(2), 129-139.
- Mizuguchi, N., Nakata, H., Uchida, Y., & Kanosue, K. (2012). Motor imagery and sport performance. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 1(1), 103-111.
- Sirigu, A., Duhamel, J. R., Cohen, L., & Pillon, B. (1996). The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*, 273(5281), 1564.
- Stillman, B. C. (2002). Making sense of proprioception: the meaning of proprioception, kinaesthesia and related terms. *Physiotherapy*, 88(11), 667-676.
- Stinear, C. M., Byblow, W. D., Steyvers, M., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2006). Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Experimental Brain Research*, 168(1-2), 157-164.
- Yu, Q. H., Fu, A. S., Kho, A., Li, J., Sun, X. H., & Chan, C. C. (2015). Imagery perspective among young athletes: Differentiation between external and internal visual imagery. *Journal of Sport and Health Science*.