



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

UNA INTEGRACIÓN TEÓRICA Y
ANATÓMICO-FUNCIONAL DE LOS MODELOS
INTERNOS DE CONTROL MOTOR MEDIANTE EL
ANÁLISIS DEL “EFECTO DE LA PERSPECTIVA” EN
EL APRENDIZAJE POR IMITACIÓN DE UNA
TAREA VISOMOTRIZ.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN PSICOLOGÍA

PRESENTA

RICARDO LAURENCIO HERNÁNDEZ ESPAÑA

DIRECTORA: LIC. OLGA ARACELI ROJAS RAMOS

REVISOR: DR. FELIPE CRUZ PÉREZ

SINODALES: MTRA. VERÓNICA MA. DEL C. ALCALÁ HERRERA

DR. OZCAR ZAMORA AREVALO

DR. JUAN MANUEL SÁNCHEZ



**Facultad
de Psicología**

MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para mamá , papá y Olga

Quiero agradecer a todas esas personas que de alguna u otra forma son parte de mi y del proceso que llevó a la conclusión de este trabajo.

A mis padres por su apoyo incondicional.

A mi hermano, por su paciencia.

A mis compañeros y amigos: Martha, Viris, Isaac, Toño, Griss, Danis, Tere, Esteban.

A Irene.

A Hortensia por sus enseñanzas y apoyo.

Y muy en especial a Olga, quien me condujo por este camino y me enseñó que la investigación es mucho más que abrir la puerta de un laboratorio y dejar que los participantes entren.

INDICE

Glosario y abreviaturas.....	I
------------------------------	---

Resumen	III
---------------	-----

Capítulo 1. Aprendizaje de acciones..... 1

1.1. Una definición de acción más allá de la conducta humana.....	1
1.1.1. Elementos de un concepto de acción.	1
1.1.2. Hacia una definición del concepto de acción.	3
1.2. El proceso de aprendizaje de acciones.....	4
1.2.1. Hacia una perspectiva del aprendizaje de las acciones.	4
1.2.2. Aprendizaje de acciones y de movimientos.	5
1.2.3. Aprendizaje y conductas innatas.....	6
1.2.4. Aprendizaje por ensayo y error.....	7
1.2.5. Aprendizaje social.....	8
1.2.6. Noción sensoriomotora del aprendizaje.....	8

Capítulo 2. Aprendizaje por imitación..... 10

2.1. La definición clásica de imitación y la imitación verdadera.....	10
2.2. Perspectivas para el estudio del aprendizaje por imitación.....	12
2.2.1. Teorías de imitación.....	12
2.2.1.1. Igualación Intermodal Activa, AIM.....	12
2.2.1.2. Aproximación Ideomotora, IM.....	13
2.2.1.3. Teoría de la Imitación dirigida a objetivos, GOADI.....	14
2.2.1.4. Aprendizaje asociativo serial, ASL.....	15
2.2.1.5. Sistema de Neuronas Espejo, MNS.....	15
2.2.1.5.1. MNS en primates no humanos y en humanos.....	17
2.2.1.5.2. Las neuronas espejo del área premotora ventral.....	17
2.2.1.5.3. Participación del lóbulo parietal inferior en la acción.....	20
2.2.2. Modelos internos de control motor, IMMC.....	21
2.2.2.1. Transformación cinemática y dinámica.....	21
2.2.2.2. Tipos de modelos internos (Directo e Inverso).....	21
2.2.2.3. Adquisición y adaptación de los modelos internos.....	22
2.2.2.4. Modelos internos y aprendizaje por imitación.....	23
2.2.3. Dimensiones de los modelos teóricos que abordan a la imitación.....	24
Modelo.....	26
2.3. Factores asociados al aprendizaje por imitación.....	26
2.3.1. Imitación dirigida ó imitación automática.....	26
2.3.2. Facilitación de los movimientos, biológicos, humanos y posibles.....	28
2.3.3. Objetivos de la acción.....	30
2.3.4. El efecto del efector.....	31
2.3.5. El efecto de la perspectiva.....	32

Capítulo 3. Propuesta de integración de un modelo de imitación a partir de las teorías de imitación y de modelos internos de control motor..... 35

3.1. Por qué no son suficientes los modelos de imitación.....	35
3.2. Por qué no son suficientes los modelos internos de control motor.....	36
3.3. Hacia la unificación de los modelos de control motor y las teorías de imitación.....	37
3.3.1. Premisas para proponer un modelo integrativo.....	37
3.4. Propuesta de modelo integrativo.....	38
3.4.1. Un modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación.....	38
3.4.2. Descripción de los elementos del modelo.....	38
3.4.3. Descripción del proceso.....	40
3.4.4. Utilidad del modelo integrativo. Un ejemplo.....	41
3.5. Primer objetivo.....	42

Capítulo 4. Metodología para el estudio de la imitación.....	44
4.1. Paradigmas de investigación en imitación.....	44
4.2. Tarea de trazado de la estrella a través del espejo.....	47
4.2.1. Propuesta de una nueva forma de evaluación de la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo.....	49
4.2.1.1. Interacción errores / tiempo.....	49
4.2.1.2. Ley de Fitts y negociación errores / tiempo.....	50
4.2.1.3. Hacia la construcción de un índice de ejecución.....	50
4.2.1.4. Descripción formal del índice de ejecución.....	53
Capítulo 5. Metodología.....	56
5.1. Participantes.....	56
5.2. Instrumentos y materiales.....	56
5.3. Procedimiento.....	56
Capítulo 6. Resultados.....	61
6.1. Medidas base para el análisis.....	61
6.2. Normalidad de los datos.....	61
6.2.1. Normalidad primer arreglo.....	63
6.2.2. Normalidad segundo arreglo.....	67
6.3. Efecto de la práctica sobre la ejecución de la tarea.....	68
6.4. Evaluación del efecto de la cinemática, del efector y del sexo sobre la ejecución de la tarea.....	70
6.4.1. Efecto de la cinemática (<i>grupo</i>).....	70
6.4.2. Efecto del efector (<i>mano</i>).....	71
6.4.3. Efecto del sexo.....	72
Capítulo 7. Discusión.....	74
7.1. Problema de la interacción velocidad / precisión, aportaciones e implicaciones del empleo del ponderador.....	74
7.2. Sobre la naturaleza activa y supramodal del proceso de imitación: efectos de práctica, cinemática, sexo y efector.....	76
7.3. Reconceptualizando la función espejo.....	84
7.4. Sobre la viabilidad del modelo y las interpretaciones finales del proceso de aprendizaje por imitación.....	86
Capítulo 8. Conclusiones.....	89
Referencias.....	92
Anexos.....	107
Anexo 1. Cuestionario para la inclusión de la muestra.....	107
Anexo 2. Instrucciones dadas a los participantes para su ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo.....	109
2.A. Estrella derecha para empleada para el trazado de la estrella a través del espejo.....	110
2.B. Estrella izquierda para empleada para el trazado de la estrella a través del espejo.....	111
Anexo 3. Figuras para el proceso de calentamiento.....	112
Anexo 4. Modulo para la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo.....	114

Glosario y abreviaturas

Acción: Evento dirigido a cumplir un objetivo, realizado por cualquier organismo que posea un sistema de control e integración de sus movimientos, y que además posea un sistema que le permita decidir (en distintos niveles de conciencia) si realiza o no el evento.

Agente: Aquel que ejecuta una acción.

AIM: Active Intermodal Matching o Mapeo Intermodal Activo.

Aprendizaje de acciones: Reestructuración de primitivas motoras generando un nuevo comando motor para realizar una acción no existente previamente en el repertorio del agente.

ASL: Associative Sequence Learning o Aprendizaje Asociativo Serial.

EBA: Extrastriate Body Area o Área Extraestriada.

Efector: Miembro corporal con el que se realiza una acción.

Evento: Llámese de un hecho que ocurre en el espacio y tiempo, por lo que posee principio y final.

F2: Caudal premotor dorsal cortex o Corteza premotora dorsal caudal.

F4: Caudal premotor ventral cortex o Corteza premotora ventral caudal.

F5: Rostral premotor ventral cortex o Corteza premotora ventral rostral.

F7: Rostral premotor dorsal cortex o Corteza premotora dorsal rostral.

fMRI: Resonancia magnética funcional.

Forward model: Representación del estado final de la acción.

GOADI: Goal Directed Theory of Imitation o Teoría de la Imitación Dirigida Hacia Objetivos.

IM: Ideomotor Approach o Aproximación Ideomotora.

IMMC: Internal Models of motor Control o Modelos Internos de Control Motor.

Imitación: Copia directa de la conducta a partir de observar a otro agente que modela la acción.

Imitación verdadera: Adquisición de una nueva acción a partir de observar a otro agente que modela la acción.

Intencionalidad para la acción: si el agente tiene la intención de ejecutar A, la acción es intencional, y si el agente realiza la acción A por una razón específica, entonces A es intencional.

Inverse model: Estructura el comando motor a partir de un estado final deseado.

IPL: Inferior Parietal Lobule o Lóbulo Parietal Inferior.

MNS: Mirror Neuron System o Sistema de Neuronas Espejo.

Objetivo: Meta específica a la que está dirigida la acción.

Perspectiva: Marco de referencia espacial en el cual el agente actúa o percibe sobre su propio cuerpo o sobre el cuerpo de otro.

PET: Tomografía por emisión de positrones.

PMv: Premotor ventral cortex o Corteza premotora ventral .

PMv-c: Caudal premotor ventral cortex o Corteza premotora ventral caudal.

PMv-r: Rostral premotor ventral cortex o Corteza premotora ventral rostral.

PMd: Premotor dorsal cortex o Corteza premotora dorsal.

PMd-c: Cudal premotor dorsal cortex o Corteza premotora dorsal caudal.

PMd-r: Rostral premotor dorsal cortex o Corteza premotora dorsal rostral.

Primitiva Motora: comandos motores rutinarios que repetidamente aparecen en la ejecución de diversas acciones, de modo que es posible desarrollar distintas conductas a partir de la combinación de estas primitivas.

RS: Response Supresión o Supresión de la respuesta.

TMS: Transcranial magnetic stimulation o Estimulación Magnética Transcraneal.

Resumen

El aprendizaje de acciones involucra transformaciones sensoriomotoras de la información que permitan generar un comando motor. Dicha información puede provenir de un agente que modele la propia acción, por lo que el aprendizaje de acciones puede estudiarse a partir del proceso de aprendizaje por imitación. Existen varios modelos teóricos especializados en el aprendizaje por imitación y, paralelamente, también ha crecido el desarrollo teórico sobre el aprendizaje y control motor, pero ambos grupos de modelos suelen analizarse por separado, lo cual genera problemas teóricos importantes relativos a cada grupo de propuestas. Sin embargo, una visión integradora de ambas perspectivas permitiría replantear estos problemas teóricos y, a partir de ello, proponer un enfoque metodológico que aporte algunos elementos de discusión que aproximen una solución a los mismos. En este contexto de análisis, el presente trabajo propone la construcción de un modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación como acercamiento para tal integración. La viabilidad de este modelo para proponer una solución a los problemas teóricos del aprendizaje de acciones mediante la imitación se sustenta en la evidencia de la capacidad de los sistemas neuronales involucrados para descomponer la acción en sus elementos estructurales más simples (cinemática, dinámica y primitivas motoras), que permitan generar un comando motor durante el aprendizaje por imitación más allá de un sistema que sólo genere una representación directa de la acción observada como se propone en el sistema de neuronas espejo (MNS por sus siglas en inglés). A fin de probar esto se evaluó el efecto de la práctica sobre la ejecución de 167 participantes en la tarea del trazado de la estrella a través del espejo, luego de la presentación o no del modelado de dicha tarea, así como de variaciones en la cinemática del modelado. Se obtuvieron cuatro indicadores de la ejecución; por una parte la velocidad y la precisión, además de dos ponderadores de la eficiencia general de la ejecución contruidos a partir de estos dos indicadores tomando como base la negociación velocidad / precisión. El análisis de los resultados indicó, por un lado, que la práctica fue el mejor predictor del aprendizaje de la tarea y, por el otro, que si bien la cinemática no alteró dicho aprendizaje, sí afectó la precisión y eficiencia general. Asimismo, los resultados indicaron que el comando motor no fue generado para un miembro corporal en específico. Así pues, el comando motor parece estar codificado en términos que le permita ser empleado por distintos efectores, siempre y cuando cumplan con las características físicas que permitan su uso, lo cual contradice la representación directa de la información para la imitación y da pie a la viabilidad de una descomposición de la acción observada durante este proceso, en la cual sería necesario la integración de más sistemas que los básicos propuestos para este proceso (MNS).

Capítulo 1. Aprendizaje de acciones.

1.1. Una definición de acción más allá de la conducta humana.

1.1.1. Elementos de un concepto de acción.

En general, aprender a través de la imitación involucra acceder a una nueva acción a partir de la observación de otro individuo que la ejecuta. Por lo tanto, cualquier concepto de aprendizaje por imitación implica un concepto de acción, el cual permita entender la dimensionalidad del estudio de este problema.

Partamos de tres ejemplos. Una mujer camina por la calle, de repente ve una moneda tirada y se agacha a recogerla, un hombre sale de su casa y algunos niños que juegan en la calle ruedan una pelota hacia él, entonces el hombre se agacha para recogerla y dárselas, un anciano sufre un dolor repentino en el pie mientras anda por su casa y se agacha para ver que ocasiona ese dolor. En lo global, estos tres eventos son similares entre sí, ya que los movimientos más gruesos son prácticamente los mismos: primero, los tres doblan las rodillas y encorvan el cuerpo hacia el frente, mirando hacia abajo (Fig. 1.1 A), aún avanzando en la ejecución se observan similitudes entre los elementos que las conforman (Fig. 1.1 B), pero si se avanza hasta el resultado final, entonces se logran establecer las diferencias entre las tres acciones a partir de este último momento (Fig. 1.1 C).

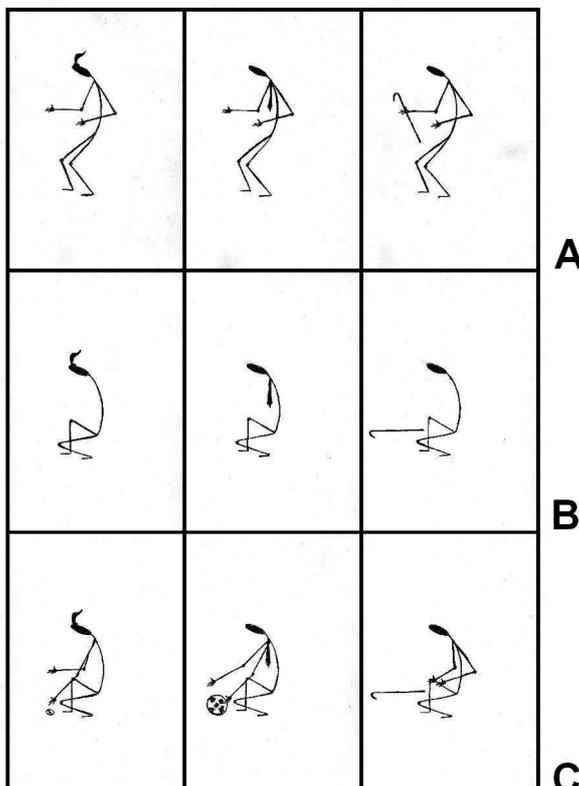


Fig. 1.1. Se muestran esquemáticamente las etapas de ejecución de tres acciones diferentes, cada una conformada con movimientos similares. **A.** Inicio de la acción, en esta etapa, los movimientos son parecidos en las tres acciones, aparentemente se realizan tres acciones idénticas. **B.** Etapa final general, se muestra la parte final de las tres acciones sin los elementos que las diferencian, en apariencia las tres acciones siguen compartiendo elementos en sus movimientos. **C.** Etapa final específica, se muestran los elementos específicos para cada acción, particularmente las metas que las hacen diferentes entre sí.

Ahora bien, en estas tres acciones existen algunas diferencias más que el resultado físico final (levantar la moneda, alzar la pelota o sobarse el pie). En las tres situaciones, evidentemente se trata de individuos diferentes quienes realizan cada acción, además cada acción tiene una dirección hacia una meta específica. Si se caracterizan este tipo de conductas en base a los individuos que participan, los objetivos intrínsecos de cada uno y los componentes móviles o físicos que las integran, se contará con un marco de referencia que permita definir de manera diferencial cada una de las situaciones en términos de la acción, pues en cualquier caso (incluyendo nuestros tres ejemplos) este tipo de conductas son realizadas voluntariamente por un individuo, se encuentran guiadas de modo conciente y presentan objetivos específicos, características propias de una definición del concepto de acción. El estudio y definición de la acción surge de una larga y vieja discusión teórica de este concepto que, si bien proporciona una caracterización amplia de este tipo de conductas, no ofrece una definición universal de acción, aunque proporciona una serie de elementos básicos que subyacen a cualquier noción de este término. Estos elementos han sido desarrollados desde la filosofía, que plantea a la acción como un evento realizado por un agente (Trypuz, 2008).

A esta definición le subyacen distintos elementos, dos explícitos o “físicamente observables”: evento y agente, y uno implícito o “inobservable”: estado mental del agente.

Existe toda una serie de discusiones sobre la naturaleza y las características que constituyen a los eventos (Casati y Varzi, 2008). Una definición general plantea al evento como un hecho que ocurre en el espacio y tiempo, por lo que posee principio y final (Zackz y Tversky, 2001). Existen diversos eventos en el mundo pero no todos cumplen las características para ser considerados como acciones. Por su parte, el agente que lo ejecuta es requisito indispensable para que un evento se considere acción, generalmente como agente se hace referencia al ser humano (Trypuz, 2008). En tanto, el estado mental permite crear una relación entre el mundo físico y el mundo mental, esta relación puede estar dada en el plano de la intención, previo al intento o en el plano del intento donde la acción puede concretarse o no.

La intención juega un papel muy importante en una definición de acción, ya que se asume que para ser tal, una acción debe ser intencional, aunque resulta difícil probar esta característica (Wasserman, 2007). El papel que juega la intención para la acción es tal que incluso cuando se hace referencia a una acción de este tipo, se está asumiendo como sinónimo de acción. En la presente tesis se asumen dos formas de definir intencionalidad: a) si el agente tiene el propósito de ejecutar A, la acción es intencional, y b) si el agente realiza la acción A por una razón específica, entonces A

es intencional (Trypuz, 2008). La intención de realizar una acción está dirigida por el objetivo, pues ninguna acción es tal si carece de un objetivo o motivación específicos que la dirijan hacia una meta, en nuestros ejemplos recoger la moneda, levantar la pelota o sobarse el pie. Una acción que no cumple el objetivo, no implica una intención de fallar, antes bien se refiere a que el agente realizó un intento por cumplir el objetivo, de esto se deriva el plano del intento.

Por lo tanto, existe un problema para definir teóricamente una acción; explicar la diferencia entre lo que realiza un agente (lo movimientos observados que realiza el agente) y el efecto de otras variables que inciden sobre él pero que no provienen del mismo él (movimientos involuntarios del agente). Esto es, no todo desplazamiento observado en un agente es intencional (Frankfurt, 1978, citado en Ford, 2008), en virtud de esta definición debe aclararse que intencionalidad y conciencia ocupan un nivel diferente en la definición, toda vez que el elemento conciencia no implica necesariamente una intencionalidad de la acción, supóngase el ejemplo de un individuo que tropieza con una piedra, al caer el hecho mismo resultaría conciente para el individuo, pero no necesariamente se puede asumir que existe una intencionalidad para esta acción.

1.1.2. Hacia una definición del concepto de acción.

Una definición que asume como único agente al humano, limita el estudio experimental de la acción, toda vez que sería imposible estudiarla en animales no humanos. Se requiere entonces desarrollar una definición en la que los estados mentales del agente no se limiten al nivel de conciencia humana. De este modo se propone para fines del presente trabajo el definir a la acción tomando en cuenta los siguientes elementos, cabe señalar que la discusión subyacente a los siguientes conceptos es por demás amplia, por lo que se limitara a un abordaje que permita una definición de acción inclusiva a la conducta no humana y donde la acción se construya a partir del movimiento físico.

A) Agente, cognición animal y conciencia de la acción. Asumir al ser humano como el único organismo capaz de realizar acciones, dada su aparentemente “superior” capacidad de razonamiento, conduce al debate sobre las capacidades de razonamiento de los animales no humanos, con lo que se corre el riesgo de restar valor a la evidencia obtenida en estudios que emplean modelos animales. De igual forma, cuando se asume que el ser humano es “conciente de sus acciones”, se ignora que existen planos de la acción que son inconscientes, por ejemplo las unidades músculo esqueléticas y los comandos motores que participan en la acción. De ahí,

que una postura teórica integral de la acción deberá redefinir al agente como un organismo capaz de responder al ambiente de una forma no estereotipada e independiente del nivel de conciencia que presente.

b) Sistemas de control de los movimientos. Ahora bien, puesto que los agentes sólo son parcialmente conscientes de las acciones, entonces ¿qué regula y dirige la parte inconsciente de las mismas?, la perspectiva neuropsicológica ofrece una respuesta; las primitivas motoras son la base o unidad de la acción, pero estas se regulan a través de un sistema de control de movimientos que las integra en un comando motor.

c) El movimiento como la unidad funcional de las acciones. El movimiento es indispensable para la acción. Si no existe el desplazamiento de **a** con **x** fuerza en **y** dirección, entonces el objeto **b** no se moverá y por ende no existirá una acción. El movimiento de **a** está determinado por la naturaleza física de su cuerpo, conformado por su sistema musculoesquelético, por lo tanto las acciones están determinadas por la capacidad de los organismos para generar movimientos.

En este contexto, se requiere una definición funcional de la acción, aplicable a las conductas de diversos organismos y capaz de diferenciar entre lo que es una acción y lo que no lo es. Por lo que para el presente trabajo, se definirá la acción como todo *evento dirigido a cumplir un objetivo, realizado por cualquier organismo que posea un sistema de control e integración de sus movimientos y que, además posea un sistema que le permita decidir (en distintos niveles de conciencia) si realiza o no el evento.*

1.2. El proceso de aprendizaje de acciones.

1.2.1. Hacia una perspectiva del aprendizaje de las acciones.

Un aprendiz de carpintería aprende por observación como tornear la pata de una silla mientras su maestro lo hace. Tornear una pata de silla es en sí una acción que involucra diversos movimientos o subacciones, según sea el caso, los cuales se integran en un evento con un fin determinado, cuando se dice que el ayudante está aprendiendo como tornear la pata no involucra que partirá desde cero, esto es que vaya a aprender cómo sujetar un trozo de madera, como levantarlo, cómo sujetar una herramienta para darle la forma, cómo oprimir un interruptor para encender una máquina (torno) y demás movimientos necesarios. El ayudante aprenderá la integración total de los movimientos en la acción final de tornear una pata de silla, ya que los demás movimientos o subacciones estarán conformados por primitivas

motoras aprendidas o perfeccionadas previamente a través de diversos medios, mismos que pueden ir desde conductas innatas integradas en el sistema motor, aprendidas y perfeccionadas por ensayo o error y que, en resumen será la reintegración de primitivas en un nuevo esquema de acción o modelo interno de control motor.

1.2.2. Aprendizaje de acciones y de movimientos.

Es imposible encontrar una actividad cotidiana o no donde la interacción con el ambiente no requiera la realización de algún movimiento, inclusive conductas complejas como el habla se rigen por la física de los movimientos de la lengua, boca y cuerdas bucales (Wolpert, Ghahramani y Flanagan, 2001). Así pues, las acciones se convierten en la forma fundamental para interactuar y adquirir conocimiento sobre el ambiente. Hablar de aprendizaje de acciones podría ser un sinónimo de aprendizaje motor, ya que al asumir a los movimientos como la unidad de las acciones se asume que el movimiento dirigido a un objetivo es una acción. Sin embargo, es necesario aclarar que no todo movimiento es acción por sí mismo, por ejemplo, si se le pide a una persona que tome un lápiz de una mesa, para llevar a cabo la solicitud debe estirar su brazo y colocar la mano sobre el lápiz y después sujetarlo con los dedos. En general, este ejemplo implica por lo menos tres movimientos distintos que conforman una sola acción, en otro caso si se le pide explícitamente que solamente estire su brazo en dirección al lápiz entonces sólo se contará con el primero de estos tres movimientos, el cual en este caso por sí mismo es una acción, ya que el objetivo del individuo será estirar su miembro en dirección del objeto señalado y nada más. Ahora bien, si este individuo se encuentra sentado y de repente al moverse hace que su silla se tambalee puede que estiré su brazo en dirección al lápiz para equilibrarse y no caer, lo cual convertiría al movimiento en un reflejo y no en acción. No obstante, poder realizar una diferenciación precisa y congruente para cada evento observado, ya sea como acción, como movimiento o como reflejo, genera un problema fundamental para cualquier teoría de la acción, ya que el establecer a qué categoría pertenecen las conductas observadas requeriría conocer de forma precisa y clara el “estado mental” del agente, de modo que se pudiera determinar si existe intencionalidad y si ésta tiene una dirección o no, para los eventos en que se encuentre involucrado.

Si bien la línea de separación entre la acción y el reflejo es muy estrecha, es posible hacer una diferenciación en lo operativo. El reflejo es un movimiento estereotipado, cuya característica de bucle abierto implica la ausencia de un asa de retroalimentación para el sistema. El reflejo se genera en el funcionamiento de sistemas más básicos que los involucrados en el control de la acción. En su caso, para la acción los sistemas

de control de movimientos actualizan constantemente la información del sistema musculoesquelético, generando paralelamente una respuesta motora diferente, ésta sí basada en información de retroalimentación por lo que tiene la capacidad de adaptarse al entorno.

Para una comprensión más concreta retomemos el ejemplo de la persona que cae. En primera instancia, esta persona respondería con un movimiento reflejo, por ejemplo estirar los brazos, en tal caso el comando motor no actualiza al sistema. Sin embargo, paralelamente, los sistemas de control y retroalimentación motora que actualizan al sistema de control motor generarían un comando motor a partir del estado actual del sistema musculoesquelético, no de la respuesta en sí, lo que le permitiría levantarse del piso o quedarse tirado recuperándose de la caída. Así pues, el reflejo es una respuesta inmediata y estereotipada al entorno, que se genera en paralelo, sin tener una relación causal sobre las reestructuraciones de los sistemas de control motor.

Asimismo, es necesario aclarar que no todo aprendizaje de acción lleva a aprendizaje de movimientos, ya que en muchas ocasiones sólo se tratará de la estructuración y ordenamiento de movimientos preexistentes en el sistema de control motor, y es más bien en los primeros estadios de desarrollo cuando estas unidades o primitivas motoras se desarrollan o aprenden, como en el ejemplo de torrear la pata de la silla. Por lo tanto, es posible generar una definición de aprendizaje motor, dada una serie de características que posee, de tal suerte que aprendizaje motor es una serie de procesos asociados con la práctica o la experiencia que llevan a un cambio relativamente permanente en la capacidad de generar movimientos, involucrando diversos circuitos cerebrales (Ito, 2000; Schmidt y Lee, 2005). La diferencia principal con el aprendizaje de acciones es que, en este último, el fin no es generar nuevos movimientos, sino emplear los movimientos existentes o en dado caso integrar nuevos con el propósito de generar un evento con las características mencionadas anteriormente, que lo hacen constituirse como acción.

El estudio del aprendizaje ha permitido plantear una serie de formas básicas para poder alcanzar la ejecución de una nueva acción, cada una de ellas implicaría una discusión teórica de fondo. No obstante, puesto que el objetivo principal del presente trabajo de investigación no es sobre el aprendizaje mismo solamente se abordará una breve definición de cada una de dichas formas básicas de aprendizaje, sin ahondar en implicaciones teóricas específicas.

1.2.3. Aprendizaje y conductas innatas.

El aprendizaje presenta ventajas para los organismos, permitiéndoles ajustar su conducta a ambientes que se encuentran en constante cambio (Mery y Kawecki,

2004). Hipotéticamente, sólo en un ambiente donde no existiera cambio alguno el aprendizaje resultaría innecesario, ya que los comandos motores requeridos para la interacción se encontrarían predispuestos genéticamente en el organismo en pautas de acción fijas, las cuales son conductas no aprendidas desencadenadas por un estímulo específico, parte del repertorio de todos los individuos de una misma especie, estereotipadas, resistentes al cambio, por lo que una vez iniciadas continuarán hasta ser terminadas sin responder a retroalimentación ambiental (Catania, 1992; Klein, 1994; Mazur, 2006). Estas conductas habrían sido refinadas en la historia filogenética de la especie, de modo que no sería necesario para un individuo aprender relación alguna entre sus acciones y el medio. Sin embargo, nuestro entorno se encuentra en un cambio constante gobernado por la física de nuestro universo, por lo cual sería imposible que la selección natural generará una adaptación específica ante cada cambio dado por una circunstancia ambiental (Galef y Laland, 2005). Por lo tanto, la explicación de la conducta como adaptación no puede circunscribirse exclusivamente a pautas innatas, aunque existen pautas de acción que se hereden de generación en generación y que solucionan ciertos problemas, basta con observar la construcción de nidos en las aves, pero estas conductas generalmente se refinan a través del aprendizaje mediante la ejecución cotidiana por los individuos.

1.2.4. Aprendizaje por ensayo y error.

El aprendizaje por ensayo y error, a diferencia de los patrones de acción fija, se encuentra gobernado por las consecuencias de las acciones del individuo. La consecuencia deseada se asocia gradualmente a una conducta específica a través de la ejecución en diferentes ensayos, es decir, si bien la primer conducta que resultó en un consecuencia deseada pudo haberse generado accidentalmente, al asociarse al objetivo deseado aumenta su probabilidad de repetirse, hasta que paulatinamente la conducta es perfeccionada y la consecuencia es alcanzada en un menor tiempo (Catania, 1992; Leahey y Harris, 2001; Mazur, 2006). Sin embargo, puesto que el intervalo temporal que toma perfeccionar una acción mediante el ensayo y error implica algunas desventajas como el consumo de energía, tampoco es posible explicar toda acción como resultado del aprendizaje por ensayo y error. Otros costos del aprendizaje por ensayo y error, implican que puede ser empleado en otros beneficios evolutivos, el hecho de que durante el periodo de aprendizaje, el organismo puede considerarse como "joven" por lo que la reproducción se pospone; por otra parte, la comisión de errores puede llevar a una conducta incorrecta con costos irreparables para el individuo y la especie (Mayley, 1996). Por ejemplo si dos animales que intentan ingerir dos nuevos alimentos; uno de ellos recolecta nueces y el otro escorpiones para

alimentarse. El primer animal requiere aprender a abrir la cáscara de la nuez, pero si falla en los primeros ensayos podría aplastar por completo el alimento o simplemente no poder acceder a este. Por el contrario, el animal que intentara alimentarse con escorpiones podría ser picado y por la ponzoña de este, morir. Por lo tanto, el costo relativo de ambas acciones es diferente, siendo más alto para el segundo caso.

1.2.5. Aprendizaje social.

Otro tipo de aprendizaje que no implica el consumo relativamente elevado de tiempo del aprendizaje por ensayo y error y que minimiza algunos de sus costos, es el aprendizaje de tipo social. En este tipo de aprendizaje, los individuos adquieren un nuevo patrón conductual con base en la convivencia e interacción con otros individuos de la misma especie (Dukas, 2008). Este es un aprendizaje que puede darse únicamente en aquellas especies que se desarrollan en convivencia con otros individuos de la misma especie y que se relacionan cotidianamente entre sí o, al menos, en alguna etapa de su desarrollo (Lupfer et al., 2003, citado en Galef y Laland, 2005).

El aprendizaje social presenta una ventaja para el desarrollo de los individuos jóvenes, minimizando el costo temporal del aprendizaje por ensayo y error, y evitando que caigan en conductas “erróneas” con alto costo, dado que se aprenden habilidades específicas mediante la observación de sus parientes o miembros de la misma comunidad (Galef y Laland, 2005). Existen una gran variedad de aprendizajes de tipo social, pero no todas las conductas que ocurren en un contexto social son resultado del aprendizaje, pues existen patrones conductuales que son elicitados por un entorno de convivencia con organismos semejantes, como es la facilitación social o el realce local. Dentro de los aprendizajes de tipo social, podemos mencionar la transferencia del miedo, el condicionamiento observacional o el aprendizaje por imitación, este último ofrece una serie de ventajas adaptativas para el individuo, al generar información sobre el entorno u otros organismos y brindar al observador la ventaja de caer en un patrón conductual específico, sin la necesidad de pasar por una prolongada etapa de prueba (Zentall, 2006).

1.2.6. Noción sensoriomotora del aprendizaje.

El aprendizaje de las acciones puede analizarse a través de las transformaciones sensoriomotoras que lo rigen (Wolpert et al., 2001). Por ejemplo, aprender a completar una tarea como recoger una moneda del suelo, requiere que se realicen una serie de transformaciones, las cuales convertirán la información sensorial registrada del ambiente en un comando motor adecuado y acorde a la acción, el cual actuará sobre

el sistema músculo esquelético para que, finalmente, ocurra la acción sobre la moneda (Massone, 1998). La información sensorial puede provenir de diferentes modalidades sensoriales: visuales, auditivas, olfatorias, etc. No obstante la naturaleza y la eficiencia de los comandos motores generados por la transformación sensoriomotora se encuentran determinados en gran medida por las características intrínsecas del individuo con respecto a su capacidad para realizarlas o a su capacidad para adquirir o actualizar dichas transformaciones. De este modo, el aprendizaje sensoriomotor involucra el perfeccionamiento de la capacidad de dominar estas transformaciones (Klassen et al., 2002).

Capítulo 2. Aprendizaje por imitación.

2.1. La definición clásica de imitación y la imitación verdadera.

La imitación es una forma de aprendizaje tan cotidiana y evidente que, irónicamente resulta difícil una definición que no se encuentre sesgada, es decir, la existencia del aprendizaje por imitación es tan obvia que suele dejarse a lo implícito todo aquello que le subyace.

Hablar de imitación generalmente hace referencia a la copia directa de la conducta de un organismo hacia otro, es decir uno ejecuta y el otro hace lo mismo que el primero, en este sentido, si se observa a un organismo realizar la misma conducta que otro que le antecedió, se podría hablar de imitación. Bajo esta lógica, en una estampida, todos los organismos que corren despavoridos estarían imitando al primer organismo que corrió o se estarían imitando seriamente entre sí. Sin embargo, estrictamente hablando esto no es necesariamente imitación, ya que existen diversas conductas de tipo social o elicítadas por ambientes sociales que pueden ser confundidas con este proceso sin serlo (Zentall 2001, 2006), por lo que se requiere un marco descriptivo y conceptual que permita diferenciar al aprendizaje por imitación de lo que no es. Así, conductas típicas de la especie pueden interpretarse superficialmente como intentos de un organismo por igualar la conducta de otro, pero en tal caso no es posible hablar de aprendizaje puesto que estas conductas son desencadenadas por determinados estímulos y se realizan de principio a fin, aunque el medio haya cambiado, por lo que son conductas en las que no existe una "intención de imitar", tal es caso del mimetismo, el contagio (Thorpe, 1963) o la facilitación de la respuesta, cuyo inicio y secuencia motora responde a un genotipo determinado para la especie. Existen varios factores que al incidir sobre el organismo pueden elicitar la presencia de este tipo de conductas, la presencia de estos factores permiten establecer una diferencia entre el aprendizaje por imitación y lo que no lo es, dentro de ellos están los factores sociales de tipo motivacional, como los que ocurren en la facilitación social y la transferencia de aversión, conductas en las que la presencia o ausencia de otros individuos afecta la probabilidad de la respuesta de los demás individuos. También existen factores de tipo perceptual, donde la observación de la conducta de un organismo lleva la atención hacia el lugar donde se realiza la acción o hacia los objetos con los que se interactúa. Con base en lo anterior, se puede decir que imitación es una conducta de tipo social dirigida a igualar la conducta de otro individuo, este tipo de conductas no se encuentra implícitamente dentro del bagaje filogenético del organismo, además de que la probabilidad de desarrollar la acción no depende únicamente de la presencia o

ausencia de otros individuos, pues requiere que exista la intención de realizar dicha acción.

Si bien en la definición clásica de imitación se postula a la conducta como la mera copia o igualación de la conducta (Rizzolatti et al., 2001), para los propósitos de esta tesis tal definición está incompleta, pues a la imitación le subyace un proceso de aprendizaje motor, estrictamente hablando, es un aprendizaje de acciones. Al hablar de imitación se da por hecho que las acciones simplemente son reejecutadas por el organismo que imita, pero es necesario replantear este hecho en muchos contextos, pues la reejecución de una acción solamente es posible cuando ésta se encuentra previamente en el repertorio del individuo, entonces ¿qué ocurre cuando la acción que se pretende ejecutar es totalmente nueva para el organismo?, ¿cómo se adquiere una acción nueva, cuando el organismo que la ejecutará es totalmente novato en ella? En concreto, para comprender este proceso es necesario remitirnos a los procesos que le subyacen.

Puesto que la imitación puede abordarse como un proceso de aprendizaje de acciones no basta conceptualizarla como el rehacer una acción, pues la importancia de que exista un aprendizaje que subyace a la imitación, le confiere a este proceso un papel importante como mecanismo para resolver problemas adaptativos en un medio ambiente cambiante.

Algunos autores han resaltado la importancia de un término que se refiera a la imitación como un proceso de aprendizaje (Tomasello, 1990; Whiten y Ham, 1992, citado en Byrne y Russon, 1998), por lo que han acuñado el término imitación verdadera. El concepto de imitación verdadera se diferencia del concepto clásico de imitación, porque en este último se requiere un observador que posea previamente dentro de su repertorio conductual, las acciones motoras que le permitan copiar lo ejecutado por el modelo que está observando, es decir, el aprendiz no adquiere repertorios motores de novo. En la "imitación verdadera", por el contrario, existe un aprendizaje motor nuevo, lo que implica que se agreguen nuevas acciones al repertorio ya existente (Buccino et al., 2004; Melo et al., 2007), por lo que el aprendizaje no ocurre solamente en el plano motor, el organismo aprende acciones, es decir, la imitación verdadera implica un proceso de aprendizaje de acciones, donde se puede incluir la adquisición de nuevos movimientos o la reestructuración o integración en una nueva forma de los comandos motores subyacentes y existentes previamente en el sistema de control motor de los organismos.

2.2. Perspectivas para el estudio del aprendizaje por imitación.

El aprendizaje por imitación involucra al aprendizaje de acciones y, puesto que este involucra cambios motores, puede estudiarse desde la perspectiva del aprendizaje motor, por lo que es necesario otro plano de análisis que conjunte a las teorías de imitación con las teorías del control motor. Ahora bien, en realidad no existe una línea que estudie explícitamente al aprendizaje por imitación desde la perspectiva de las acciones, pero sí existen diversos modelos que se aproximan desde las teorías de imitación y desde el aprendizaje motor, por separado. Actualmente, la discusión teórica sobre el aprendizaje por imitación tiene su base en diversas teorías de imitación para comprender los procesos que subyacen a la ejecución de este proceso, entre ellas sobresalen la teoría de igualación intermodal activa, la aproximación ideomotora, la teoría de la imitación dirigida a objetivos y la teoría de aprendizaje asociativo serial. Por su parte, la perspectiva actual del aprendizaje motor se basa principalmente en teorías computacionales y en modelos internos de control motor.

2.2.1. Teorías de imitación.

Cuando se habla de teorías de imitación se hace referencia a aquellos modelos teóricos que se centran o especializan en describir y explicar el proceso de la imitación, desde la imitación simple o copia de la conducta (Rizzolatti et al., 2001) hasta la imitación verdadera o aprendizaje por imitación (Buccino et al., 2004; Melo et al., 2007).

2.2.1.1. Igualación Intermodal Activa, AIM (Meltzoff y Moore, 1983, 1997).

Esta teoría se postuló inicialmente en el contexto explicativo de la imitación facial en recién nacidos, pero después se generalizó a otros ámbitos. La AIM plantea la existencia de una vía de retroalimentación propioceptiva, que permite a quien ejecuta la acción comparar su ejecución con el objetivo, lo cual posibilita la corrección de la acción. Tanto la acción observada como la ejecutada son codificadas dentro de un esquema común, que contiene información de tipo supramodal, que sirve como unión entre la información sensorial y motora, la que a su vez se emplea para detectar equivalencias entre las acciones propias y las observadas del modelo. Esta teoría asume que la imitación está mediada representacionalmente, dirigida a objetivos, es generativa y específica.

La mediación representacional de la imitación se refiere a que la información visual no se traduce directamente a un comando motor, sino que es necesario que sea representada de algún modo supramodal que se encuentra entre la percepción y la acción. Al estar dirigida a objetivos, la imitación implica que la acción observada es

interpretada en términos del punto final o meta que se desea alcanzar con la acción, de modo que la acción ejecutada por el observador será parecida, pero no igual a la del modelo, aunque la intención sea llegar al mismo objetivo. Adicionalmente, la imitación es generativa en el sentido de que no está condicionada a unas cuantas acciones específicas, sino que puede expandirse a otras acciones, lo cual permite que este modelo sea aplicable a un contexto explicativo amplio más allá de la copia directa de la conducta, llevándolo a dar cuenta de la imitación como un mecanismo de aprendizaje de acciones. Finalmente, la imitación es específica en el sentido de que permite diferenciar entre acciones y entre miembros corporales con los que se realiza la acción.

La AIM propone tres mecanismos de procesamiento de la información subyacentes al proceso de imitación: 1) identificación de órganos, 2) correspondencia de miembros y 3) relación de órganos.

Durante la identificación de órganos, el organismo que va a imitar la acción observa al modelo ejecutar una acción particular y, a su vez, genera una activación de la parte de su cuerpo correspondiente. Los sistemas que permiten la correspondencia de miembros son innatos y permiten al organismo identificar los miembros en base a su forma o características particulares del movimiento en el tiempo y espacio.

La activación de determinados grupos musculares y el estado final del sistema son aprendidos en la práctica, resultando en una “relación de órganos”, así pues esta relación es perfeccionada mediante aproximaciones hasta que es generado el estado deseado, promoviendo con ello una memoria de una determinada relación de órganos. Esta relación de órganos sirve como el mediador entre la información visual y motora, entonces el organismo puede percibir la relación de órganos de su cuerpo, del mismo modo que percibe la relación de órganos de quien modela la acción. De este modo, al identificar qué miembro corporal del modelo se encuentra en movimiento y la relación que existe entre los órganos de éste, el organismo que imita la acción es capaz de integrar esta relación a la de su propio cuerpo y emplearla para llegar al estado final del sistema.

2.2.1.2. Aproximación Ideomotora, IM (Greenwald,1970).

Esta teoría asume la existencia de representaciones en forma de “imágenes” de las acciones y de sus consecuencias sensoriales, las cuales son empleadas en el inicio y control de las acciones. Al momento de observar una acción realizada por un modelo, en el organismo que imita la acción se activa la representación motora correspondiente a las consecuencias sensorial observadas, esta representación motora activará los comandos motores necesarios para reproducir la acción.

La teoría IM asume la reproducción o adquisición de nuevas representaciones sensoriales se forman a partir de la observación de la conducta de otras personas y de la instrucción verbal, la reproducción de los movimientos observados por parte del organismo que imita, se forma a partir de la integración y reordenamiento de movimientos elementales en una respuesta adecuada. El papel del lenguaje en la teoría ideomotora es esencial, pues a cada acción se le asigna un palabra que representa la respuesta necesaria para generar la acción, de modo que la gran capacidad de generar combinaciones de palabras con el lenguaje promueve la formación de nuevas representaciones de las acciones.

2.2.1.3. Teoría de la Imitación dirigida a objetivos, GOADI (Wohlschläger et al., 2003).

Para esta teoría, lo esencial es “qué hacer” y no cómo hacerlo; se trata de una extensión de la teoría ideomotora que asume que al instante de observar una acción, esta es descompuesta en diversos componentes u objetivos, los cuales se acomodan jerárquicamente, siendo los objetivos finales los de mayor importancia al momento de ser computados. Para la teoría GOADI existen seis postulados fundamentales:

- 1) El organismo que imita la acción la codifica en sus componentes separados, no de forma unificada.
- 2) Los elementos resultantes de la descomposición son representados por el organismo en forma de objetivos, en lugar de patrones o grupos de movimientos.
- 3) El organismo que imita la acción selecciona únicamente una parte de los objetivos observados.
- 4) Los objetivos seleccionados son organizados jerárquicamente y esta jerarquía se organiza funcionalmente, en donde el fin es más importante que los medios.
- 5) La imitación sigue el principio ideomotor, de modo que las acciones observadas eliciten la activación del programa motor que se encuentra más fuertemente asociado a la imagen de la acción modelada.

Por lo tanto, la ejecución no generará una acción idéntica, puesto que el resultado será una versión simplificada que contendrá los objetivos más importantes, el fin funcional de la acción es el objetivo más importante de esta versión simplificada.

2.2.1.4. Aprendizaje asociativo serial, ASL (Brass y Heyes, 2005; Heyes y Bird, 2007).

Este modelo se basa en asociaciones directas entre las representaciones sensoriales y las representaciones motoras a través de conexiones verticales. Esto quiere decir que la representación sensorial de un movimiento activa directamente la representación motora del mismo movimiento. También asume la existencia de asociaciones indirectas a través de una tercera representación sensorial de otro tipo. Por ejemplo, cuando se observa a una persona aplaudiendo, primero se activa la representación visual, la cual forma una unión con la representación del sonido de las palmas que, a su vez se asociará con la representación del movimiento de las manos. Estas asociaciones verticales provienen de dos fuentes: innatas y resultado de la experiencia del individuo. Es a través de la experiencia que se genera activación concurrente entre la representación sensorial y la representación motora del mismo movimiento.

De acuerdo con este modelo, el aprendizaje de nuevas acciones ocurre mediante asociaciones horizontales entre las primitivas que conforman la acción, cuyo ordenamiento está determinado por la información sensorial proveniente del modelo y, este ordenamiento se asociará verticalmente con la representación motora de las primitivas, las cuales a su vez se unirán horizontalmente para generar el nuevo patrón de acción. Sin embargo, este modelo no hace referencia al modo en que se da el reordenamiento de las uniones horizontales, al considerarlas no propias de la imitación.

2.2.1.5. Sistema de Neuronas Espejo, MNS.

Si bien no todos los modelos teóricos descritos anteriormente mencionan explícitamente a un sustrato neuronal en específico, se asume al sistema de neuronas espejo, como la base anatómica de estos (Cattaneo, y Rizzolatti, 2009). Originalmente, el MNS se descubrió al estudiar la percepción motora en macacos, específicamente en el área F5 (Gallese et al., 1996; Di Pellegrino et al., 1992, Rizzolatti et al., 1996; en Rizzolatti y Craighero, 2004) y en la parte rostral del lóbulo parietal inferior en el área 7b o PF de monos (Fogassi et al., 1998, Gallese et al., 2002, en Rizzolatti y Craighero, 2004). Se le dio el nombre de espejo, porque estas neuronas se activaban cuando el macaco observaba a otro individuo realizar una acción transitiva, pero también se observó actividad cuando el macaco realizaba la misma acción que había observado, es decir este sistema neuronal presentaba una correspondencia viso motora (Rizzolatti y Craighero, 2004).

La investigación indica que este sistema neuronal está relacionado con procesos cognoscitivos tales como la comprensión de las acciones del otro (Gallese et al., 1996) y el aprendizaje por imitación (Buccino et al., 2004). Esta confluencia entre las propiedades motoras y sensoriales en el mismo grupo de neuronas sugiere que la corteza motora no sólo participa en la ejecución de acciones, sino también en la construcción de sus representaciones (Fadiga et al., 2000 en Saunier et al., 2008; Buccino et al., 2005). Diversos estudios han mostrado la existencia de un sistema de neuronas espejo equivalente en el humano, a través de estudios neuropsicológicos (Fadiga et al., 1995; Hari et al., 1998) y de imagenología (Buccino et al., 2004; Grèzes et al., 2003; Iacoboni et al., 1999). Al igual que en los monos, el sistema de neuronas espejo humano está conformado por dos regiones; la parte caudal del giro frontal inferior más la corteza premotora adyacente (premotora ventral PMv) y la parte rostral del lóbulo parietal inferior (IPL) (Rizzolatti et al., 2001; en Buccino et al., 2004) (ver Fig. 2.1).

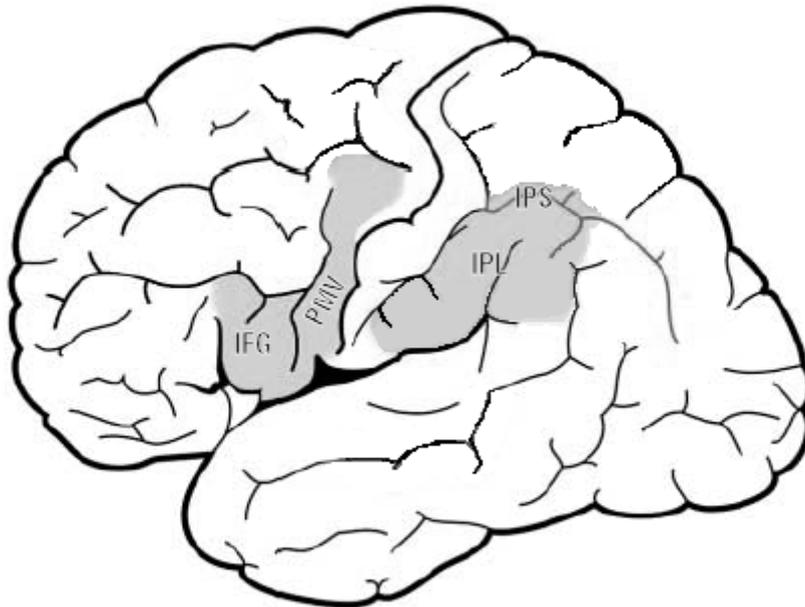


Fig. 2.1. El área sombreada corresponde a las zonas corticales donde se presume se localiza el sistema de neuronas espejo en humanos. Imagen modificada de Cattaneo y Rizzolatti, 2009.

Este sistema se ha postulado como la base del aprendizaje por imitación dada su correspondencia entre información sensorial y motora, ofreciendo una base para las teorías de asociación directa. Sin embargo, la mera actividad de estas neuronas durante el aprendizaje por imitación, no implica que sean la única estructura encargada de esta función, ya que su actividad puede ser el subproceso de la

actividad de otros sistemas implicados. Así mismo, aun quedan diversos problemas teóricos que no se resuelven eficientemente con la función del MNS. Si bien la asociación directa implica una relación vertical entre la información visual y la motora, se requiere la existencia de una fuerte congruencia entre esta correspondencia visomotora, es decir que la actividad de las neuronas se promueva específicamente por un estímulo, sin embargo se ha observado que en los macacos solamente una tercera parte de estas presentan una correspondencia estricta y las otras dos terceras partes una correspondencia “tolerable” (Gallese et al., 1996). Otro problema que viene con los modelos de asociación directa, es la alta dimensionalidad; tomando en cuenta los 600 músculos del cuerpo humano, en el caso más simple de contraerse o extenderse, entonces existen 2^{600} posibles combinaciones de comandos motores, y se calculan existen 10^{11} neuronas en el sistema nervioso central, por lo que resulta poco viable una relación directa entre una acción observada y la representación de esta en un determinado grupo o neurona (Wolpert et al., 2001).

2.2.1.5.1. MNS en primates no humanos y en humanos.

El sistema de neuronas espejo fue descrito hace ya más de diez años en macacos (*macaca nemestria*) como un sistema fronto-parietal para el procesamiento visomotor de las acciones. Estos estudios se realizaron a través del registro eléctrico directo de la actividad de grupos neuronales localizados en las áreas antes mencionadas, en humanos este tipo de registro no se ha realizado por obvias razones, por lo que la localización de las áreas corticales correspondientes al MNS se ha concretado principalmente a través de estudios de imaginación y estimulación magnética transcraneana (Buccino et al., 2004; Grèzes et al., 2003; Iacoboni et al., 1999). Sin embargo, contrario a la expectativa generalizada, no existe un acuerdo sobre la correspondencia anatómica y funcional exacta entre el sistema de neuronas espejo descrito en monos y su equivalente en humanos.

2.2.1.5.2. Las neuronas espejo del área premotora ventral.

Si bien la existencia de neuronas espejo en los monos ha sido probada a través del registro directo de la actividad eléctrica de neuronas individuales, no ha sido posible realizar este tipo de registro en humanos, dadas las implicaciones éticas y técnicas, por lo que no existe un registro fehaciente de este tipo actividad neuronal en el ser humano, ya que los estudios de imagenología representan patrones de actividad de grupos neuronales, pero no son capaces de representar la actividad de una neurona específica,

La corteza premotora en monos ha sido dividida anatómica y funcionalmente en ventral (PMv) y dorsal (PMd), mismas que a su vez se han clasificado en PMv-rostral (F5), PMv-caudal (F4) y en PMd-rostral (F7), PMd-caudal (F2), respectivamente. Es en F5 donde específicamente se ha registrado actividad espejo, así como de neuronas canónicas. Con base en esta diferenciación, se han llevado a cabo diversos estudios con la finalidad de localizar un área correspondiente en el ser humano localizando neuronas con actividad asociada a la ejecución y observación de una acción (Buccino et al., 2004; Grèzes et al., 2003; Iacoboni et al., 1999). La diferenciación dentro de PMv no ha resultado tan clara en el ser humano, pero se han postulado al área de Broca (área de Brodman 44), así como al Giro Infero-Frontal (IFG, por sus siglas en inglés) como las áreas correspondientes a F5. Sin embargo, no existe una clara diferenciación con el área PMv-c, resultando difícil localizar un área homóloga a F4 en nuestra especie (Rizzolatti et al., 2002). De este modo, al revisar la literatura sobre las funciones y localización del MNS en humanos, es posible percatarse que se emplea a PMv-c como sinónimo de PMv, lo cual no es del todo erróneo, ya que PMv evidentemente contiene a PMv-c. Ahora bien, tal indiferenciación puede implicar problemas al momento de analizar la información, pues es posible que al registrar un área tan grande como homóloga en el ser humano se enmascaren las funciones del área correspondiente a F4.

Cuando se realiza una discriminación anatomofuncional dentro de PMv en humanos con el objetivo de localizar MSN, generalmente se analizan las áreas 44 de Brodmann e IFG, pero no toda la evidencia teórica respalda que éstas sean áreas homólogas a F5 (Makuuchi, 2005). Debido a lo anterior, los hallazgos sobre la función y localización del MSN en el área premotora humana deben considerarse con cautela. Con la finalidad de presentar un panorama más detallado de los estudios sobre las funciones asociadas a PMV, tanto en monos como en humanos, la siguiente tabla resume los hallazgos de la una parte de la literatura, especificando cuando los resultados se refieren al área global o a la diferenciación entre PMv rostral y caudal.

	Premotora ventral rostral	Premotora ventral caudal	
Estudios en Humanos	<p>Área de Brodman 44 ó Área de Broca</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor actividad en la imitación de acciones con un objetivo específico (Koski et al., 2003). • Activación durante la Manipulación de objetos complejos con y sin significado (Binkofski et al., 1999;1999-2; Koski et al., 2003). • Observación de acciones con la boca, con la mano (Buccino et al., 2001). • Codificación de la sintaxis motora, reordenamiento de la acción observada (Clerget et al., 2009). • No juega un papel vital en la imitación (Makuuchi, 2005). • No presenta actividad cuando es sólo observación (Koski et al., 2003). <p>Área de Brodman 45 ó Giro Frontal Inferior (IFG)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neuronas sensibles a un paradigma de “supresión por repetición” (RS) cuando se observa una acción y después se ejecuta y cuando se ejecuta y después se observa (Kilner et al., 2009). • Codifican objetivos de la acción, visto a partir de un paradigma de RS (Hamilton y Grafton, 2008). • Observación de acciones con la boca (Buccino et al., 2001). • No sensibles a la cinemática de la acción (Hamilton y Grafton, 2008). 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de acciones con la boca y con la mano (Buccino et al., 2001). 	Premotora Ventral
	<ul style="list-style-type: none"> • Control de la cinemática durante la interacción objeto-mano (Majdandzic´ et al., 2009) • Procesamiento de características visoespaciales de los objetos (Majdandzic´ et al., 2009). • PMv izquierda adaptación en paradigma RS al observar y luego ejecutar, no adaptación en el caso contrario (Lingnau et al., 2009). • Codificación de los componentes del movimiento (Davare et al., 2006) • Participación en la configuración del comando motor, realizando transformaciones sensoriomotoras, para configurar adecuadamente las posiciones de los movimientos durante el agarre(Davare et al., 2006). • Transformación visomotora para evaluar la postura de la mano más apropiada para agarrar un objeto (Davare et al., 2006) • Predicción de las acciones de otros con base en claves de la conducta propia(Ramnani y Miall, 2004) 		
Estudios en Mono (Macaca nemestrina, Macaca fuscata, Macaca fascicularis)	<ul style="list-style-type: none"> • Responde a características visoespaciales (Hoshi y Tanji, 2006). • Integra información sensoriomotora (Hoshi y Tanji, 2006). • Evidencia en contra de su participación en la transformación dinámica. (Boudreau et al., 2001) • Codificación de la distancia y dirección de una parte corporal con respecto a un objeto, así como participación en la guía del movimiento (Graziano et al., 1997) • Aprendizaje ante alteraciones en la cinemática de la acción (Kurata y Hoshi, 1999) 		
	<p>F5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neuronas espejo que responden al uso de herramientas (Ferrari et al., 2005) • Grupos diferenciados de neuronas dentro de esta área descargan cuando se observan y ejecutan acciones ingestivas con la boca y otras con acciones comunicativas (Ferrari et al., 2003) • Diferenciación de actividad dentro de F5, parte caudal responde al cuerpo entero, parte rostral responde a la acción ejecutada por la mano (Nelissen et al., 2005) • Responden a la observación y manipulación de objetos, representación motora de los objetos (Nelissen et al., 2005; Murata et al., 1997) • Representación en términos visuales del siguiente miembro a mover y en qué dirección (Ochiai et al., 2005) • Facilita la actividad de la corteza motora primaria, (Shimazu et al., 2004) • Formación de la representación de la acción (Rizzolatti et al., 1996) • Participación en la representación de la acción (Umiltà et al., 2001) 	<p>F4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Codificación del espacio a partir de claves corporales (Fogassi et al., 1996). 	

Tabla 2.1. Se resume parte de la investigación concerniente a PMv.

Si bien sólo el registro eléctrico puede dar cuenta de forma directa de la función espejo a nivel neuronal, los diversos estudios tanto en primates no humanos como en humanos nos brindan un panorama de las funciones que son realizadas por estas áreas asociadas con la imitación, más allá de su participación en este proceso. En resumen, la actividad de la corteza premotora ventral se ha asociado a la representación y selección de movimientos durante la acción, así como a la integración de la información cinemática para la transformación sensoriomotora durante la acción (Clerget et al., 2009; Majdandzic' et al., 2009; Davare et al., 2006; Hoshi y Tanji, 2006; Boudreau et al., 2001; Graziano et al., 1997; Kurata y Hoshi, 1999; Ochiai et al., 2005; Rizzolatti et al., 1996; Umilta et al., 2001).

2.2.1.5.3. Participación del lóbulo parietal inferior en la acción.

Se ha descrito la presencia de neuronas espejo en el lóbulo parietal inferior de monos (Fogassi et al., 2005) a través de estudios de registro directo, pero la evidencia a favor de un sistema de neuronas espejo en humanos proviene en su mayoría de estudios de imagenología (Chong et al., 2008; Culham, 2004), en los cuales se detectan actividad relacionada a la observación y ejecución de una misma acción en esta área. Sin embargo, en este tipo de análisis no se puede observar directamente la actividad de una neurona en específico, sino más bien la actividad global de grupos de estas (Calder et al., 2007). Este problema se ha abordado mediante el uso de análisis multivariado de patrones, que ha permitido observar que el patrón de actividad del surco intraparietal, es distinto cuando se observa la acción que cuando se ejecuta (Dinstein et al., 2008), lo que implica que son distintas subpoblaciones de neuronas las que codifican la acción, pero para asegurar la función espejo deberían ser los mismos grupos neuronales los que la codificaran acorde a la acción específica. Por otra parte, en esta área no se ha observado un efecto de supresión de la respuesta (RS por sus siglas en inglés) cuando la acción es ejecutada primero y luego observada, lo cual se contrapone a una hipótesis de igualación directa (Lingnau et al., 2009).

Con respecto al papel del lóbulo parietal inferior, además de su participación como sistema de neuronas espejo, también se ha descrito actividad asociada con la representación de objetivos de la acción (Hamilton y Grafton, 2006), con el control y corrección de movimientos durante el agarre (Rice et al., 2006), así como con la realización de las transformaciones sensoriomotoras necesarias para tomar un objeto (Jeannerod et al., 1995; Jänckle et al., 2001; Janssen et al., 2008; Baumann et al., 2009; Murata et al., 2000), además de su participación en la sensación de agencia (Chaminade y Decety, 2002; Uddin et al., 2006).

2.2.2. Modelos internos de control motor, IMMC.

Los modelos internos de control motor son representaciones que construye el organismo que realiza la acción sobre el comportamiento de su aparato motor, (Kawato, 1999; Wolpert, et al., 1995), dicho de otro modo, los modelos internos de control motor representan un conjunto de transformaciones de la información sensorial de entrada en comandos motores, dicha representación ocurre durante la planeación, el control y el aprendizaje de las acciones. Dentro de estos modelos se contempla también la representación de las características del ambiente y de los objetos con los que se interactúa (Imamizu, et al., 2004; Flanagan, et al., 1999). Conviene aclarar que el término modelo interno implica al sistema nervioso central que modela al sistema sensoriomotor, pero no se trata de un modelo del sistema nervioso central (Wolpert y Ghahramani, 2000).

2.2.2.1. Transformación cinemática y dinámica

Los modelos internos de control motor representan a las transformaciones sensoriomotoras que, su vez, pueden dividirse en dos tipos: cinemáticas y dinámicas, cada una de las cuales maneja un tipo distinto de información. Las transformaciones cinemáticas emplean información sobre sistemas de coordenadas, procesando la evolución en el tiempo de los ángulos de las articulaciones y la posición de las manos, pies, etc. (Padoa-Schioppa, et al., 2002; Wolpert, et al., 2001), por ejemplo, este tipo de transformaciones se emplean en tareas de rotación visual de la posición de la mano en una superficie (Wang y Sainburg, 2005; Tong et al., 2002; Krakauer et al., 1999; Flanagan et al., 1999). Por su parte, las transformaciones dinámicas integran dentro de los comandos motores, las fuerzas ejercidas por los músculos para ejecutar los movimiento (Padoa-Schioppa et al., 2002), tal es el caso de los estudios en los que se emplean brazos o aparatos robóticos con los que se regula la fuerza necesaria por un miembro para lograr desplazarse de un punto a otro (Padoa-Schioppa et al., 2002; Tong et al., 2002; Krakauer et al., 1999; Flanagan et al., 1999).

2.2.2.2. Tipos de modelos internos (Directo e Inverso).

Estas transformaciones cinemática y dinámica son generadas por dos tipos de modelos internos, el modelo directo (*forward*) y el inverso (*inverse*). Cada uno de estos modelos representa una dirección de la transformación. De este modo, el modelo directo representa a una dirección causal, cuya función es estimar el estado final del sistema, la retroalimentación sensorial en función al estado inicial del mismo y los comandos motores generados en ese instante, por lo que también se les conoce como modelos predictores (Wolpert, y Ghahramani, 2000; Wolpert, et al., 2001; Jordan y

Wolpert, 1999). Puesto que en la ejecución de un movimiento rápido existe un decaimiento y retraso en las señales de retroalimentación, generando una inestabilidad en sistemas que emplean retroalimentación sensorial, el modelo directo puede emplearse para estabilizar al sistema de retroalimentación, proporcionando una estimación del resultado de la acción, antes de que la señal de retroalimentación esté disponible. El modelo directo también se emplea para anticipar y cancelar los efectos sensoriales de las acciones, ayudando a diferenciar entre la retroalimentación sensorial causada por uno mismo o por el contacto con otros agentes. De acuerdo con la capacidad predictiva, el modelo puede emplearse para transformar los errores entre la acción deseada y la ejecutada en errores en el comando motor, a modo de generar las señales apropiadas para el aprendizaje motor. Adicionalmente, al poder predecir las consecuencias de las acciones sin necesidad de ejecutarlas físicamente, el modelo directo posibilita la práctica mental. A su vez, el modelo inverso ocurre en una dirección opuesta al directo, desde lo sensorial hacia lo motor, este modelo permite generar el comando motor al transformar una consecuencia sensorial deseada en los comandos motores apropiados para lograr ese estado (Jordan y Wolpert, 1999, Wolpert et al., 1995).

En condiciones ideales, los productos de ambos modelos, la predicción hecha por el modelo directo y la salida motora resultante del objetivo deseado (modelo inverso) deberían coincidir perfectamente (Karniel, 2002). Pero esto no es lo común, ya que regularmente existe ruido y decaimiento en las señales enviadas y recibidas hacia y desde el sistema, de tal modo que el estado final difiere de la predicción realizada. Puesto que durante el desarrollo del individuo cambia la dinámica de su cuerpo y dado que cada herramienta con la que se interactúa con el medio tiene una dinámica intrínseca, el individuo se ve en la necesidad tanto de construir nuevos modelos, como de modificar y adaptar de forma paralela los modelos inverso y directo, actualizando al sistema existente que realiza las transformaciones (Wolpert y Flanagan, 2001).

2.2.2.3. Adquisición y adaptación de los modelos internos.

Existen diversas aproximaciones y modelos teóricos sobre cómo se adquieren y actualizan los modelos internos. Los modelos inversos se adquieren mediante el modelado inverso directo, el aprendizaje por error en la retroalimentación y el aprendizaje supervisado a distancia (Wolpert et al., 2001; Jordan y Wolpert, 1999; Jordan y Rumelhart, 199; Kawato, 1990; Miller, 1987, Kuperstein, 1988, Jordan y Rumelhart, 1992, en Wolpert y Kawato, 1998). En el modelado inverso directo el objeto controlado es movido con una fuerza determinada la cual lo desplaza en una trayectoria, este recorrido retroalimenta al modelo inverso, el cual debe igualar la

trayectoria deseada con la obtenida actuando repetidamente sobre el objeto hasta que las trayectorias sean igualadas. En el aprendizaje supervisado a distancia se emplea un modelo directo del sistema para convertir los errores en los cambios requeridos en el comando motor. Mientras que en el aprendizaje por error en la retroalimentación, se emplea un controlador de retroalimentación para llegar al mismo resultado. Por su parte, la explicación sobre cómo se adquieren los modelos directos se basa en el aprendizaje supervisado. En este caso el ambiente provee para cada información sensorial de entrada un comando motor deseado u objetivo, siendo la función del sistema aprender como generar esta relación entre la información de entrada y el comando motor deseado, de modo que el aprendizaje puede ser medido a través de la discrepancia o errores entre el objetivo deseado y el resultado obtenido (Wolpert y Kawato, 1998).

2.2.2.4. Modelos internos y aprendizaje por imitación.

Desde una perspectiva computacional, el aprendizaje por imitación involucra la descomposición de la acción observada en sus elementos más simples, con lo que se extraen las características más importantes de la acción (Jansen y Belpaeme, 2006). La observación de un modelo mientras realiza una acción, lleva al problema teórico de identificar qué se imita y el cómo se imita, lo que ha llevado a posturas teóricas encontradas dentro de las teorías principales de aprendizaje por imitación. Por un lado, desde la perspectiva de qué se imita, los elementos más simples son ignorados y el modelo se centra en el objetivo final de la acción. Por otra parte, el cómo se imita involucra la descomposición de la acción en sus elementos más simples y la posterior reproducción de éstos. Las teorías computacionales de imitación asumen que el qué y el cómo se desarrollan paralelamente, dando lugar a los comandos motores de la acción. De este modo tanto el modelo inverso como el directo emplean representaciones correspondientes al qué y al cómo imitar, siendo el modelo directo el que parte de una representación de qué imitar, que en este caso se interpreta como un objetivo final, a partir del cual se generará un comando motor apropiado para alcanzar el estado final deseado, mientras que el modelo inverso genera una predicción del estado final de la acción, a partir de características específicas del cómo se desarrolla ésta, la cual posteriormente será imitada.

El imitar una acción a partir del cómo, involucra al *problema de la correspondencia*, que equivale al *problema de la cinemática inversa* (Jansen y Belpaeme, 2006) en el marco computacional. Este problema consiste básicamente en cómo lograr un determinado estado del sistema dadas las configuraciones del cuerpo y la coacción del modelo y el ambiente. En el aprendizaje por imitación, la salida deseada se aprende

mediante la observación de un modelador externo (Wolpert, Ghahramani y Flanagan, 2001). Wolpert, Doya y Kawato (2003) plantean que desde una perspectiva computacional, el aprendizaje por imitación implica tres estados; primero, la información visual proveniente del modelo debe transducirse en un formato apropiado a una entrada sensorial, esto implica que el sistema de procesamiento visual del aprendiz codifica algunos aspectos del estado del sistema del modelo (por ejemplo, los ángulos de las articulaciones). En el segundo estado, entran en juego comandos que permiten hacer una predicción del estado siguiente, por lo que el observador evalúa los comandos que pueden o no producirse con base en su estado actual. Estos comandos no actúan directamente sobre los músculos, deben transformarse en entradas de información útiles para la predicción, las cuales a su vez deben compararse con la ejecución del modelo y, así, determinar qué comandos son adecuados para generar el movimiento observado y, finalmente, codificarlos en una representación simbólica. Por último, en el tercer estado, esta representación se emplea para generar la conducta observada.

Cuando la secuencia de actos se desconoce por no encontrarse en el repertorio del imitador, el resultado de la segunda fase indicará que no hay concordancia de ninguno de los comandos motores con la conducta observada, por lo que es necesario agregar una nueva conducta al repertorio. Entonces, se extraen las nuevas posturas y movimientos representativos de la acción que se está aprendiendo, con lo que se construye una nueva representación de la conducta, misma que se almacena (Oztop, Kawato y Arbib, 2006). Esta representación se ubica entonces como la salida deseada y el modelo directo funge como un maestro o guía distal (Karniel, 2002) para el modelo inverso. A su vez, este modelo inverso formará el comando motor correspondiente para la conducta recientemente aprendida.

2.2.3. Dimensiones de los modelos teóricos que abordan a la imitación.

Como bien se ha mostrado, la imitación puede abordarse desde diferentes enfoques y aproximaciones teóricas, dichas perspectivas son variadas pero coinciden en una serie de elementos para el análisis del proceso imitativo y en algunas de las predicciones relativas a este. Estos elementos o dimensiones de análisis, pueden ser empleadas como criterios para identificar y clasificar los diversos enfoques teóricos a partir de la forma en la que centran en cada dimensión.

Bras y Heyes (2005), Heyes y Bird (2007) han propuesto tres dimensiones de análisis de las diferentes aproximaciones teóricas:

- 1) Naturaleza evolutiva de la imitación, nativista o empirista. La naturaleza nativista plantea que el proceso imitativo está mediado por información contenida en el genoma

de los organismos, de modo que existe una tendencia innata para la imitación. Por su parte, las teorías empiristas sobre la naturaleza evolutiva de la imitación asumen que la información que media el proceso se conforma a lo largo del periodo de desarrollo de los organismos, principalmente con la interacción social.

2) Condición de las estructuras neuronales encargadas de la imitación. Por una parte, las teorías especificistas asumen que la circuitería neuronal que media el proceso ha sido desarrollada *ex profeso* para la imitación, mientras que las teorías generalistas asumen que la imitación se desarrolla sobre circuitos encargados del control de otros procesos generales, siendo inespecíficos para la imitación.

3) Forma en que el organismo procesa la información que recibe del ambiente. Una parte de los modelos teóricos asumen que la información de entrada es codificada de forma supramodal, es decir en una modalidad no sensorial ni motora, sino de un tercer modo de representación que media la entrada sensorial y la salida motora. Otra parte, asumen a la imitación como un proceso donde la información sensorial es trasladada de forma directa desde la entrada sensorial a los comandos motores sin pasar por una tercer modalidad.

Otras dimensiones tomadas para la clasificación de las teorías de imitación, no analizadas por Bras y Heyes (2005), Heyes y Bird (2007) pero útiles para efectos de la presente investigación, son el peso de la práctica en la conformación del comando motor y el aprendizaje. En el caso del peso de la práctica existen teorías pasivas, en las que la ejecución de la acción imitada no es básica para la conformación del comando motor, o bien teorías activas, donde la estructuración del comando motor necesita de la retroalimentación a través de la práctica motora. Para la dimensión de aprendizaje, se conocen dos grupos de teorías, aquellas que contemplan a la imitación como un proceso de adquisición de nuevas acciones (teorías de reestructuración), mientras que las otras se centran en la imitación como un proceso de igualación de la conducta, (teorías de igualación).

El abordaje de cada dimensión permite una clasificación general de los diferentes modelos teóricos, así como un contexto de análisis y discusión de los datos empíricos desde cada una de estas aproximaciones teóricas. (Ver figura 2.2.).

Modelo	Dimensión				
	Naturaleza evolutiva	Condición de las estructuras neuronales	Modo de procesar la información	Peso de la práctica	Aprendizaje
AIM	Nativista	Especifista	Supramodal	Activa	Reestructuración
IM	Empirista	Generalista	Supramodal	Pasiva	Reestructuración
GOADI	Empirista	Generalista	Supramodal	Pasiva	Igualación*
ASL	Empirista	Generalista	Directa	Pasiva	Igualación
IMMC	Empirista	Generalista	Supramodal	Activa	Reestructuración

Fig. 2.2. Postura general los modelos teóricos analizados con respecto a los niveles de análisis. *Para el modelo GOADI, la igualación no implica una relación directa con la conducta observada, sino con los objetivos de la acción.

2.3. Factores asociados al aprendizaje por imitación.

El aprendizaje por imitación no es un proceso lineal o aislado cuyo funcionamiento y modo en el que se procesa la información sea extremadamente sólido y no pueda ser afectado. Por el contrario existen diversas variables o factores asociados a este proceso que, de acuerdo a la forma en la que se presenten o no se presenten, afectan el funcionamiento de este proceso. Estos factores o variables inciden directamente sobre los modelos teóricos, los cuales generan predicciones sobre la interacción de estos factores durante el aprendizaje por imitación, predicciones que deben ser cotejadas para conocer la eficiencia de los modelos (Brass y Heyes, 2005).

2.3.1. Imitación dirigida ó imitación automática.

En diversos experimentos se ha reportado que la mera observación de una acción genera una actividad en sistemas encargados del control y ejecución de la misma, esto se ha interpretado como el principio para una imitación directa, donde la observación automáticamente genera los patrones de acción correspondientes a la acción observada, sin la intervención de sistemas de control de alto nivel (Press et al., 2007). La evidencia a favor de una imitación automática proviene de experimentos, donde se observa una facilitación para ejecutar una acción a partir de observar previamente una acción congruente con ésta (Heyes, et al., 2005; Press et al., 2008; Longo et al., 2008), lo cual implica que el sistema de control motor se activa de acuerdo con la información sensorial previa y que es esta activación automática la que genera una facilitación en la ejecución posterior de la acción. En otras palabras, el razonamiento indica que el simple hecho de observar la acción activa en el sistema de control motor del observador patrones de acción concordantes con lo observado y que, al momento de que requiere que éste ejecute una acción similar, la acción se facilitará en comparación con otras acciones, dada la existencia de la activación previa y automática de patrones de acción formados a partir de la acción observada.

Bajo el supuesto de una imitación automática, esta tendría diversos costos y beneficios adaptativos para el organismo; por un lado facilitaría el aprendizaje y la interacción con otros organismos de la misma especie, debido al carácter social de la imitación, pero a su vez presentaría el problema de ser un sistema altamente costoso, ya que demandaría recursos energéticos para el procesamiento constante de las acciones que cotidianamente se observan realizar a los demás miembros de la misma especie dentro de un entorno social, lo que a su vez requeriría de un sistema de inhibición que constantemente regulara cuáles de todas las acciones observadas podrían ejecutarse o no. De no ser así, existe el riesgo de caer en conductas con consecuencias inapropiadas, en el caso de que la conducta realizada por el modelo no logrará completar satisfactoriamente el objetivo deseado.

Por otro lado, existe un planteamiento en el cual se postula que la imitación se encuentra controlada y dirigida por la intencionalidad del imitador, por lo que el proceso comienza con una intención del sujeto para imitar y no como un proceso automático (Bien et al., 2010). Se ha observado que la presencia de una indicación verbal para copiar las acciones de otro, genera niveles más altos de actividad en el sistema de neuronas espejo, así como actividad diferenciada si la instrucción hace referencia al análisis de las conductas más que a la imitación propiamente dicha (Zentgraf et al., 2005). Por otra parte, la actividad relacionada a la observación de acciones en áreas cerebrales frontales inferiores se encuentra condicionada a la atención selectiva que se presta a dichas acciones, mostrando que el proceso de imitación se encuentra afectado por la atención prestada al modelo, lo que permite que se filtren aquellos estímulos irrelevantes al observador (Chong et al., 2008). En lo referente a los mecanismos encargados de evitar una imitación constante de todas las acciones observadas, se ha propuesto que estaría condicionado a mecanismos de inhibición en la corteza cerebral media frontal (Bien et al., 2009). Además, existe otra postura que plantea que la razón por la que no se imita toda conducta está más relacionada a sistemas que distinguen entre las acciones realizadas por uno mismo y las realizadas por otro individuo, más que a dichos sistemas de inhibición per se (Brass et al., 2005; Brass et al., 2001).

El carácter voluntario de la imitación evitaría que el organismo cayera en conductas que podrían ser poco adaptativas, como en el caso de la ecopraxia. Este control voluntario tendría su gatillo de activación en el proceso atencional. Así, entre mayor atención se preste a características de las acciones observadas, mayor será la probabilidad de generar representaciones motoras de esta información visual, la cual a su vez sería mayor si existe un propósito explícito al imitar. Por ejemplo, en la mayoría de experimentos de imitación, incluyendo a los de imitación automática e intencional,

se encuentra a un observador postrado cómodamente en alguna silla donde el estímulo más relevante en la mayoría de los casos es un monitor posicionado al frente de él, el cual demanda toda la atención por parte del observador a las acciones o miembros corporales que se muestran en dicho monitor, activándose así los sistemas de análisis de esta información, que a su vez se encuentran involucrados en el aprendizaje por imitación (Press et al., 2005; Press et al., 2007; Longo et al., 2008).

2.3.2. Facilitación de los movimientos, biológicos, humanos y posibles.

Teóricamente un movimiento es un cambio en la posición en el espacio de un objeto, así pues existen infinidad de formas en las que se pueden presentar movimientos dentro de nuestro universo, de ellos, los que son de interés para las ciencias del comportamiento humano son los biológicos, sobre todo aquellos que pueden realizar los seres humanos, ya que por ejemplo, una persona no podría aletear, dada la carencia de alas, pero tampoco se podría tocar el antebrazo con el dedo meñique de la mano correspondiente a dicho antebrazo, de modo que existen limitantes intrínsecas a los miembros humanos. Para comprender la imitación ha resultado de interés estudiar los efectos que tienen los movimientos humanos posibles, ya que esto genera indicios de la naturaleza y desarrollo adaptativo de la imitación. Si bien la actividad del sistema espejo a nivel neuronal es un fuerte indicio de que la mera observación de acciones elicitaba actividad de tipo motor, esta actividad parece no ser elicitada con la misma fuerza por movimientos realizados por agentes no humanos, como en el caso de movimientos de otras especies o de máquinas, esta actividad tampoco se observa en circunstancias donde el movimiento no corresponde a características del propio movimiento humano (Tai et al., 2004; Buccino et al., 2004-2). La biomecánica intrínseca al cuerpo humano le permite realizar una serie determinada de movimientos, lo que a su vez significa que existirá toda otra gama de movimientos que no será capaz de realizar. Este tipo de movimientos evidentemente se encuentran escasamente presentes en el mundo natural, exceptuando algunos cuantos faquires que logran estirar sus músculos y dislocar sus articulaciones de maneras que resultan irreales a la vista cotidiana. Sin embargo, los métodos actuales, como las videograbaciones y las representaciones tridimensionales por computadora, son de gran ayuda metodológica para la generación de movimientos imposibles de modo muy específico y así poder estudiar sus efectos en los sistemas relacionados a la percepción de las acciones. La observación de este tipo de movimientos generan en el observador una actividad cortical diferente a la que producen aquellos que son humanamente posibles (Constantini et al., 2005; Stevens et al., 2000). Asimismo, en paradigmas conductuales los movimientos imposibles no provocan efectos de

interferencia, como lo presentan los movimientos posibles (Longo et al., 2008). Existen dos posibilidades del por qué se dan efectos diferentes acorde al tipo de movimiento, una es que el sistema de control motor está configurado para que en automático discrimine y sólo responda a movimientos posibles y la otra es que ambos movimientos son codificados y analizados por dicho sistema que realiza dicha selección, la que una vez realizada puede emplearse para acciones futuras, como en el caso del aprendizaje por imitación.

Aparentemente, el diseño del sistema para procesamiento del movimiento humano no sólo procesa movimientos posibles, sino diferencia cuando éstos son realizados por un humano o un agente no humano, como un robot. En un estudio Tai et al. (2004), observaron una mayor actividad en el MNS en relación a la acción realizada por un humano y en comparación con la observación de unas pinzas mecánicas que realizaban la misma acción. Del mismo modo, la observación de una acción realizada por un robot no interfiere con la ejecución de una acción distinta, caso opuesto se presenta cuando se observa a otro humano realizar otra acción (Kilner et al., 2003). También existe una actividad diferencial del lóbulo parietal derecho, relacionada con el observar acciones en ambientes virtuales (TV o construcción tridimensional por computadora) en comparación con observarlas cuando son realizadas en vivo por una persona (Perani et al., 2000).

Esto indica que se cuenta con un sistema que permite al organismo diferenciar entre acciones hechas por agentes biológicos o máquinas y que a su vez diferencia entre la información de movimientos posibles o imposibles de realizar por el sistema.

Ahora bien, parece claro que un ventilador no va a elicitar en un niño la conducta de girar sus brazos como remolino de forma espontánea, pero esto lleva a hipotetizar las causas de esta forma de procesamiento. Por un lado, supongamos que una persona se encuentra frente a un organismo biológicamente desconocido, uno totalmente nuevo para él, ¿qué pasaría si le atribuyera a este organismo características de movimiento de su propio repertorio motor?, el resultado sería totalmente desadaptativo pues el observador reaccionaría acorde a sus capacidades y podría caer en una conducta inapropiada, por ejemplo, una cobra escupidora es capaz de lanzar veneno a una gran distancia de manera precisa, cosa que el ser humano no puede hacer, por lo que el ser humano sería incapaz de anticipar esta acción dado que no cuenta con el repertorio motor, lo que resultaría en una tragedia si el observador no reacciona de alguna forma y se detiene a aprender como se mueve el nuevo organismo. Entonces, cabe aquí la pregunta evolutiva de cuál es la importancia adaptativa de que la observación de un individuo de otra especie elicitase la actividad del repertorio motor del observar. Para empezar, se tendría que responder por qué razón se anticipa o predice

la conducta de otro individuo; pensemos que al encontrarse dos organismos de la misma especie, es biológicamente más probable que se puedan anticipar intenciones de agresión, pero cuando se trata de un organismo nuevo, la ventaja estaría en aprender algunos aspectos sobre el mismo, a fin de generar indicios sobre su naturaleza, tales como si es presa o cazador, pero reaccionando acorde a determinadas claves del movimiento biológico, sea éste humano o no.

En el caso de las máquinas el observador no debería atribuir nada, ya que éstas no se conciben como agentes, lo que indica que probablemente existan mecanismos que permiten discernir entre agentes y objetos (Grèzes et al., 2001; Molina et al., 2004; Rakinson y Poulin-Dubois, 2001). Regresando a un balance entre costos evolutivos, tendría un costo muy alto asignarle a todo objeto una capacidad para generar acciones, de modo que sólo determinados organismos son considerados agentes, de acuerdo con determinadas características arraigadas en la filogenia de los organismos. Por otra parte de acuerdo a los modelos internos de control motor, existen representaciones internas de las acciones, basadas en primitivas motoras, que son comandos motores que recurrentemente forman parte de diversas acciones (Paine y Tani, 2004), así como en leyes del movimiento humano (Wolpert y Kawato, 1998). En este contexto teórico, el incremento en la actividad cortical asociado a la observación de un movimiento coherente con las primitivas motoras del repertorio humano, debería seguir leyes o constantes del movimiento humano, las cuales no son compartidas con organismos de otras especies, por lo cual la no coincidencia evita la representación, ya que no existen elementos internos para generarlas. De este modo, es posible que la mayor actividad neuronal coherente en condiciones de observación de movimiento humanos y posibles, se deba a que se generan representaciones con base en modelos directos, con lo cuales se predice el movimiento observado y, en el caso del movimiento mecánico, no se genera predicción ya que no existen elementos para generarla. En ese sentido los resultados de diversos experimentos de imitación automática pueden estar mostrando la formación de modelos directos en vez de una imitación automática, ya que hay indicios de que la observación de acciones transitivas (acciones en las que se interactúa con objetos) es más predictiva que proactiva (Flanagan y Johansson, 2003).

2.3.3. Objetivos de la acción.

Puesto que el concepto de acción incluye el objetivo al que está dirigida, para cada acción necesariamente existe un objetivo. Así, en el aprendizaje por imitación quien imita adopta el objetivo del modelo por lo que su acción está encaminada a ese mismo objetivo, pero el objetivo de quien imita la acción depende de su capacidad de integrar

y transformar la información de entrada que proporciona el modelo, por lo que el fin último de la imitación de la acción es adquirir un nuevo esquema de acción a la vez que cumple el objetivo intrínseco a la realización de la acción.

Modelos como GOADI postulan que la imitación se encuentra guiada y determinada por los objetivos de la acción mostrada (Wohlschläger et al., 2003), es decir que este proceso tendrá como único fin igualar el resultado final de la acción, restándole importancia al cómo fue realizado por el modelo. Sin embargo, existe toda una serie de evidencia que plantea que diversas características de la forma en la que es realizada la acción son analizadas, por lo que las características del cómo llegar al objetivo de la acción pasan por los sistemas de control que se encargan de generarla (Bird et al., 2007; Leighton et al., 2010). Por ejemplo, si la imitación estuviera guiada enteramente por los objetivos, no existirían diferencias ni en el proceso de imitación ni en el resultado final de la misma, dichos efectos se observan cuando se cambia el efector (brazo por pierna o mano derecha por mano izquierda) o por la perspectiva del modelo (primera o tercera persona). En diversos experimentos donde se cambia el efector por uno u otro o se modifica la perspectiva del modelo que ejecuta la acción, se observan ejecuciones y activación cortical diferencial acorde por efecto de los cambios (Bird y Heyes, 2005; Osman et al., 2005; Jackson et al., 2006; Ruby y Decety, 2001), lo cual hace evidente que características estructurales de la acción observada afectan el modo en que es ejecutada posteriormente por el observador.

2.3.4. El efecto del efector.

Por efector se entiende el miembro corporal con la que se realiza una acción, es decir si se realiza con manos o con los pies, si es la mano derecha o izquierda o si intervienen el dedo pulgar o el dedo índice, etc. De este modo es posible que una persona pueda encender un televisor (una acción), con el pie o con la mano (diferentes efectores), obteniendo los mismos resultados. Pero durante el aprendizaje observacional, estos cambios generan diferentes resultados, pues no es lo mismo aprender una acción cuando el modelo lo realiza con el pie, que si lo hiciera con la mano, independientemente de la naturaleza de la acción. Esto se ha comprobado mediante diversos experimentos, donde se muestra como los tiempos de reacción para ejecutar secuencias recién aprendidas son menores si se observa al modelo realiza la secuencia con los mismos miembros con los que los realizará el aprendiz, en comparación con el modelado realizado con miembros diferentes (Bird y Heyes, 2005; Osman et al., 2005). Ahora bien, este efecto sólo se mantiene si se observa al efector dentro de la acción y no cuando sólo se presenta la localización de las respuestas (Osman et al., 2005). Tal efecto se ha atribuido a un mapeo directo, donde los

sistemas que procesan la información visual forman parte de aquellos que generan los comandos motores, como ocurre en el MNS, de modo que al no ser procesadas de manera supramodal, la información se transforma directamente en comandos motores por existir una correspondencia entre lo visual y lo motor (Bird y Heyes, 2005). También se ha observado que cuando los estímulos no son precisamente acciones, pero sí oraciones haciendo referencia a acciones, se mantiene este efecto, facilitando responder con el pie cuando las acciones hacen referencia a este miembro, lo que indica que el lenguaje ejerce un efecto sobre lo motor (Scorolli y Borghi, 2007). Además, de existir esta correspondencia, la una organización somatotópica dentro de los sistemas de control y procesamiento de la información motora, determina que determinados grupos neuronales procesen la información referente a una parte específica del cuerpo. Esta organización somatotópica se ha descrito en diversas áreas corticales; corteza motora primaria, corteza somatosensorial primaria, corteza somatosensorial secundaria, corteza premotora, corteza motora suplementaria, lóbulo parietal (Buccino et al., 2001; Young et al., 2004; Ruben et al., 2001; Luppino, y Rizzolatti, 2000; Mitz y Wise, 1987; Ehrsson et al., 2003; Alkadhi et al., 2002; Michelon et al., 2006) y cerebelo (Michelon et al., 2006).

A pesar de que esta organización somatotópica parece corresponder estrictamente a un área específica del cuerpo, recientes investigaciones han mostrado que existen traslapes entre áreas que se encargan del control de segmentos corporales que se relacionan al momento de realizar una acción (Schieber, 2001; Rathelot y Strick, 2006; Hanakawa et al., 2005). En resumen, existe una organización neuronal que facilita la correspondencia entre lo visual y lo motor dada la organización somatotópica de los sistemas de control motor, esta correspondencia, ha sido empleada como evidencia a favor de un sistema de mapeo directo en el proceso de imitación, ya que implica que la acción observada paralelamente activa la representación motora correspondiente. Sin embargo cuando se trata de una tarea nueva, como en el caso del aprendizaje por imitación, un mapeo directo no explica adecuadamente cómo se genera un nuevo repertorio motor en quien imita la acción, es decir la adquisición de la nueva forma de estructurar las primitivas motoras (Thoroughman y Shadmehr, 2000; Mussa-Ivaldi y Bici, 2000), lo cual se convierte en el problema principal de estas teorías.

2.3.5. El efecto de la perspectiva.

En el aprendizaje por imitación, es frecuente que el modelo se presente frente al observador realizando la acción que desea enseñar, por ejemplo, en el salón de clases el profesor suele colocarse frente al aprendiz; en los libros que ilustran cómo realizar una tarea, el modelo está de frente; lo mismo ocurre en algunos programas educativos

en los que se muestra a los niños cómo construir alguna manualidad. Sin embargo, puede que el modelo que realiza muestre su trabajo desde un plano derecho o izquierdo o, incluso, es posible que se observe realizando la acción desde atrás. Así pues, el observador posee perspectivas diferentes de la acción que ejecuta otro agente. La perspectiva se refiere al marco de referencia espacial en el cual el agente actúa o percibe sobre su propio cuerpo o sobre el cuerpo de otro (Vogeley y Fink, 2003), así el aprendizaje por imitación entraña un “efecto de la perspectiva”, problema importante a resolver dentro de las teorías del aprendizaje por imitación.

Para comprender a profundidad el “efecto de la perspectiva”, es necesario entender que este efecto está relacionado con diversos fenómenos dentro de diversos campos de estudio de la neuropsicología. Por un lado, la perspectiva está relacionada con la identificación de uno mismo dentro de una acción, lo que se conoce también como sentido de agencia. Así mismo la perspectiva involucra mecanismos para la diferenciación de uno mismo con respecto de otro agente.

Ambos fenómenos (cómo reconocernos dentro de una acción y cómo diferenciarnos de otros agentes), así como la generación de una noción de que dicha acción realmente fue realizada por uno mismo, presenta un enorme problema teórico y metodológico. A fin de abordar este problema, es necesario analizar cuáles son los mecanismos involucrados y circuitos cerebrales participantes en la formación de la conciencia del propio cuerpo y de las posibilidades que tiene de realizar la acción.

El problema de la diferenciación de acciones ha sido abordado mediante diversas metodologías experimentales, dentro de las cuales se hallan experimentos donde la perspectiva ha sido alterada. Cuando se observa a alguien de frente o de espaldas o simplemente se ven las manos como si fueran las nuestras, como en el caso de algunos videojuegos, entonces se crean las dos perspectivas principales; la de primera persona o referente a la acción realizada por el agente que observa y la de tercera persona, que hace referencia a las acciones del agente que es observado (Saxe et al., 2006; Jackson et al., 2006). En estas circunstancias la perspectiva es un elemento que nos ayuda a diferenciar claramente cuando las acciones son realizadas por uno mismo o por otro, ya que es casi imposible que los propios miembros del observador puedan ser observados por este de la misma forma como cuando observa los de otra persona. La capacidad de generar una representación de nuestro cuerpo en una perspectiva de primera persona, es una característica necesaria, pero no suficiente de la conciencia de uno mismo (Vogeley y Fink, 2003). A su vez, el poseer una noción de nosotros mismos nos permite diferenciar cuando una acción es realizada por otro o por uno mismo en lo definido ya como sensación de agencia (Jeannerod, 2003), que es la capacidad de referirse a uno mismo como el autor de una acción (Vignemont y

Fourneret, 2004), aunque esta última noción no es del todo lineal, ya que discutir o aseverar qué fue primero la conciencia de uno mismo o la sensación de agencia, sería igual a discutir sobre el huevo y la gallina, de modo que este problema se puede interpretar desde el punto de vista evolutivo como una co-adaptación, donde tanto la sensación de agencia, como la autopercepción, se desarrollaron paralelamente.

Bajo esta misma lógica, la forma en la que se genera la representación de nuestro cuerpo en el espacio puede alterar la percepción de la agencia, es decir que la forma en la que se percibe el cuerpo en el espacio influye directamente sobre la noción de realizar o no una acción, lo que sin duda está directamente ligado a la perspectiva. Por lo tanto, la visualización desde distintas perspectivas incide tanto en la parte mecánica del procesamiento de la información (ángulos, posiciones, etc.) como en la noción de la acción misma por parte del agente.

Si bien es cierto que tanto el problema de la agencia como el de la perspectiva trascienden al aprendizaje por imitación (van den Bos y Jeannerod, 2002; Saxe et al., 2006), en el contexto de este trabajo de investigación ambos problemas se abordan dentro del aprendizaje por imitación. Así, en este contexto, los sistemas de agencia y de diferenciación de acciones influyen sobre la ejecución o no de las acciones observadas. Así pues, la ausencia de una imitación automática implica adicionalmente a la inhibición per se a estos dos mecanismos (Brass y Heyes, 2005).

Por otra parte, la perspectiva parece afectar la velocidad y la dificultad de para realizar la acción. Así, la perspectiva desde la primera persona reduce la latencia para la imitación (Jackson et al., 2006), además de que facilita su ejecución (Maeda et al., 2002; Vogt et al., 2003). Se ha propuesto que el área extraextriada (EBA por sus siglas en inglés), ubicada en el lóbulo occipital, es una de las áreas corticales asociadas a la diferenciación de nuestra propia acción con respecto de la de otros agentes, ya que presenta actividad cuando se realizan movimientos sin ninguna clave visual, lo que lleva a suponer que esta estructura no sólo está relacionada con la percepción del cuerpo en el espacio, sino que también se encuentra asociada a sistemas de control motor y al procesamiento de la sensación de agencia (Astafiev et al., 2004; David et al., 2007). Asimismo se ha observado una mayor activación de esta zona cuando la información visual presentada al observador hace referencia a una perspectiva de tercera persona y cuando la información no concuerda con lo ejecutado por el observador (Jackson et al., 2006; Saxe et al., 2006). La actividad de esta área cortical parece estar relacionada con la actividad del MNS, especialmente con la corteza premotora ventral, la cual podría estar enviándole información no codificada con respecto a la identidad del agente que la ejecute (Urgesi et al., 2007) e incluso se ha propuesto que aquí se presenta actividad de sistema espejo (Astafiev et al., 2004).

Capítulo 3. Propuesta de integración de un modelo de imitación a partir de las teorías de imitación y de modelos internos de control motor.

Para este momento del desarrollo del presente trabajo, es posible afirmar que existe una interrelación entre el aprendizaje por imitación y los modelos internos de control motor al menos en dos planos: procesamiento de la información (plano cognoscitivo), y circuitos cerebrales encargados de dicho procesamiento (plano neuronal). Sin embargo, existe poco trabajo de investigación que establezca dicha relación. Si bien hay intentos por relacionar ambos planos explícitamente en un modelo teórico, estos no integran nuevos conceptos ni relaciones más allá de los propuestos en los mismos modelos. No obstante, puesto que existe una variedad de procesos que inciden sobre el aprendizaje por imitación, cualquier propuesta de integración debería contemplar en los nuevos conceptos teóricos y su interacción. Por lo tanto, es necesario generar un modelo con estas características que, si bien puede no ser exhaustivo en su inicio, de la pauta para desarrollar aún más esta integración teórica y metodológica.

3.1. Por qué no son suficientes los modelos de imitación.

La propuesta general de las teorías de imitación que hacen referencia al procesamiento de información que ocurre durante este proceso, asumen la existencia de sistemas neuronales que establecen una correspondencia entre los sistemas para la percepción de la acción y los sistemas de generación de la misma, pero que no son exclusivos del aprendizaje por imitación. Estas propuestas se centran en el papel del sistema de neuronas espejo (MNS) como el responsable de mediar la imitación (Brass y Heyes, 2005; Wohlschläger et al., 2003; Buccino et al., 2004), por lo que intentan explicar la mayor cantidad de fenómenos relacionados a la imitación basándose en la actividad de estas neuronas. Sin embargo, varios autores han propuesto que la actividad propia del sistema espejo no representa toda la actividad del sistema nervioso relacionada al control y aprendizaje de acciones. De hecho, se plantea que la actividad espejo podría ser solamente un reflejo que resulta de la actividad de otras estructuras diversas que integran un circuito más amplio de control motor.

En un contexto donde la acción a imitar varíe en sus características cinemáticas y dinámicas, pero estuvieran fijos los efectores y los movimientos con los que se realiza la acción, de acuerdo a una visión vertical de la acción (como la propuesta por los modelos como el ASL), la observación de esta desencadenaría la representación motora de forma directa, sin pasar por un análisis o desglose de los componentes dinámicos o cinemáticos de la misma (Brass y Heyes, 2005; Heyes y Bird, 2007). Esto implica al menos dos posibilidades:

- 1) La imitación de quien ejecuta la acción no varía de acuerdo con los cambios en la cinemática de la acción observada, puesto que la relación entre la entrada perceptual y la ejecución motora es directa y no es necesario un análisis de las variantes asociadas a los cambios cinemáticos y dinámicos del modelado. Por lo tanto, en este caso no se requiere la participación de un sistema neuronal que analice la entrada sensorial y el movimiento estaría guiado por los componentes corporales de la acción observada. Esto llevaría a que, independientemente de los cambios en la cinemática y en la dinámica, se activaría el mismo patrón motor.
- 2) Si las variaciones en la cinemática y la dinámica generarán resultados diferentes en la ejecución de la acción, se requeriría de sistemas neuronales que activaran información motora específica para cada información sensorial, lo cual nos lleva inexorablemente al problema de alta dimensionalidad que se refiere a que no existen suficientes neuronas para generar una relación uno a uno entre los posibles comandos motores y una unidad de memoria que almacene cada una de todas las posibles combinaciones, dada la cantidad de músculos existentes y de combinaciones entre ellos para llevar a cabo una acción específica.

Por su parte, la imitación basada únicamente en objetivos, lleva también al problema de asumir que esta no se encontraría afectada por cambios en la cinemática o dinámica de la acción, ni tampoco por el efector usado al momento de realizar la acción, lo cual no encaja con la evidencia empírica, la que muestra una actividad diferencial por efector y por alteraciones en la cinemática de la acción observada (Bird y Heyes, 2005; Osman et al., 2005; Jackson et al., 2006; Ruby y Decety, 2001).

3.2. Por qué no son suficientes los modelos internos de control motor.

Dado lo anterior, es posible plantear que los modelos de control motor se encuentran limitados en su capacidad para dar una explicación global del aprendizaje por imitación, ya que se encuentran centrados en el procesamiento de la información y la transformación sensoriomotora de la acción cuando se ejecuta, no así cuando se observa, lo cual impide que analicen o integren en su nivel explicativo diversos elementos teóricos y anatómico funcionales asociados al aprendizaje por imitación. Viéndolo desde otro punto de vista la teoría de modelos internos de control motor, dan cuenta de una parte muy importante de este proceso, que es la transformación sensoriomotora y la formación de los comandos motores, sin embargo no cuenta con

los elementos teóricos para relacionar el aprendizaje por imitación con todas las variables y factores que influyen en este proceso.

Así como las teorías de imitación se centran en el SNE como el sustrato de dicho proceso, las teorías de modelos internos se centran en el circuito cerebelo-parietal, que si bien permite explicar el procesamiento de la transformación sensoriomotora, ignora la participación del MNS en este proceso, con lo que ambas propuestas son insuficientes para dar explicación más completa de la arquitectura del sustrato anatómico y funcional del aprendizaje por imitación. Esto nos lleva a una necesidad de plantear la unificación de los modelos de control motor con las teorías de imitación.

3.3. Hacia la unificación de los modelos de control motor y las teorías de imitación.

Las teorías de imitación, ASL, GOADI, AIM, IM, dan cuenta del proceso de imitación como tal, pero no alcanzan a explicar cómo se generan los comandos motores a partir de la información sensorial de entrada, lo cual es campo de las teorías de control motor que, paralelamente han formulado modelos específicos de la manera en que ocurre esta transformación, pero abordan superficialmente el aprendizaje por imitación. Surge entonces la pregunta de si existe un desarrollo teórico que brinde una explicación de la formación y el desarrollo de los comandos motores integralmente. Resumiendo, si se reconoce que, por un lado, existen modelos que proporcionan un buen nivel explicativo para el aprendizaje por imitación, otros para el aprendizaje y control motor, pero que no dan cuenta de forma directa del aprendizaje por imitación, aunque este sea en primera instancia un aprendizaje motor, y por otro lado, estos modelos de control motor que muestran que este no se explica en su totalidad por el sistema de neuronas espejo, parece que a partir de estos planteamientos teóricos es imposible generar una explicación global del proceso, por lo tanto resulta necesario generar un desarrollo teórico que aporte una explicación global y más extensa del problema, que los dos modelos teóricos por separado.

3.3.1. Premisas para proponer un modelo integrativo.

- La imitación es una forma de aprendizaje de acciones, que involucra la formación de nuevos comandos motores, así como la reintegración y la reestructuración de los comandos motores ya existentes, en un nuevo esquema de acción.
- La imitación es un proceso que se encuentra desencadenado por el nivel de atención dirigida a una acción específica.

- La imitación es un aprendizaje sensoriomotor, por lo que depende de las transformaciones sensoriomotoras generadas por el sistema nervioso central.
- Las acciones observadas por quien imita la acción, son descompuestas y analizadas en sus elementos menores, para después reintegrarse a partir de este análisis en el nuevo esquema de acción.
- La forma en la que se realicen estas transformaciones y reintegraciones se encuentra determinada por la experiencia previa del individuo.

Por lo tanto deben existir sistemas neuronales de la imitación que, si bien, no son específicos a este proceso, sí permiten que los procesos de percepción, control, predicción y regulación se integren en el movimiento y la acción ejecutados.

3.4. Propuesta de modelo integrativo.

3.4.1. Un modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación.

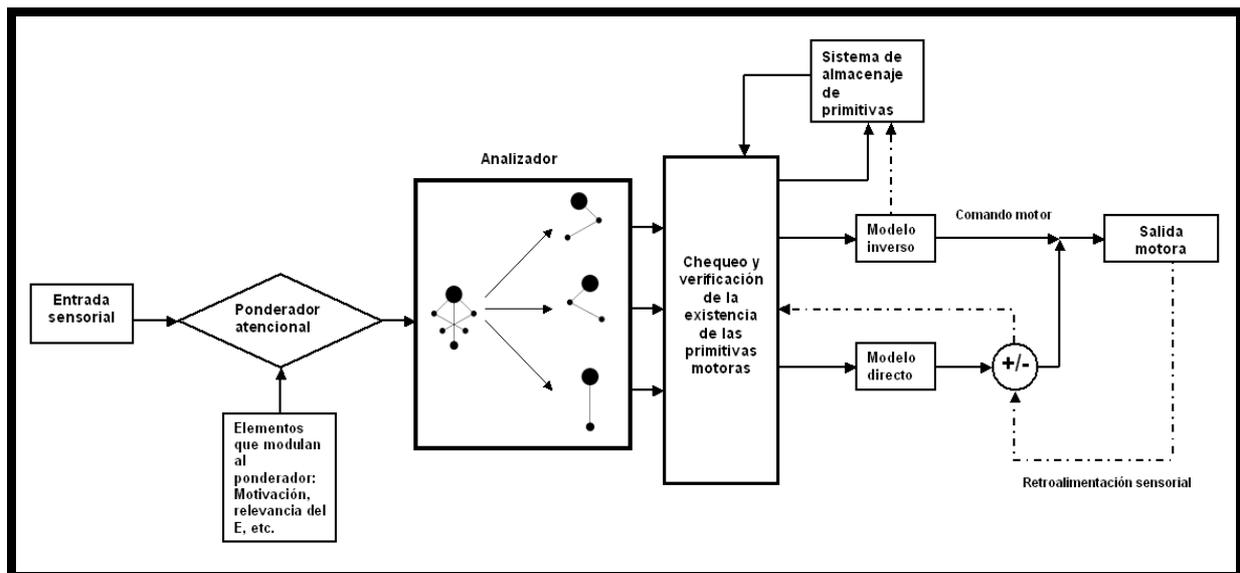


Fig. 3.1 Modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación. La línea punteada hace referencia a la información que retroalimenta al sistema.

3.4.2. Descripción de los elementos del modelo.

a) *Entrada sensorial.*

El componente de entrada sensorial del modelo implica la información proveniente del individuo que ejecuta una acción (modelo), la cual es extraída para su análisis por otro individuo que potencialmente podría imitar la acción (imitador), en este nivel la información es analizada de una forma global.

b) Ponderador atencional.

En este componente, la información global proveniente de la sensorial es filtrada en un primer nivel y se le atribuye un valor de acuerdo a la experiencia previa, el cual a su vez se encuentra determinado por factores tanto intrínsecos como extrínsecos al organismo (motivacionales, instrucciones verbales, saliencia del estímulo). Este valor no es atribuido necesariamente al estímulo globalmente, pudiendo asignárseles un mayor valor a partes específicas del estímulo, filtrando la información irrelevante. El ponderador cumple la función de asignarle un valor a la acción proveniente de la entrada sensorial a fin de establecer si es relevante o no y, a la vez establecer si existen elementos específicos dentro de la acción observada a los que se les deba otorgar un mayor nivel atencional para su análisis posterior.

c) Analizador.

La función del analizador es descomponer la acción en sus elementos estructurales más pequeños, extrayendo elementos tales como las primitivas motoras, las relaciones de ángulos entre las posiciones de los miembros corporales y de los objetos involucrados en la acción, así como las velocidades y fuerzas con las que se realiza la tarea, etc.

d) Comparador de primitivas.

La actividad del comparador ocurre una vez que son extraídos los movimientos más sencillos y básicos que subyacen y componen a la acción global, entonces este comparador se encarga de “llamar” a un sistema de almacenamiento de estas primitivas motoras, a fin de identificar si estas existen ya en el repertorio conductual del organismo. Así, aquellas primitivas existentes son extraídas desde este sistema de almacenamiento para ser empleadas en la formación de un comando motor para la acción observada previamente.

e) Modelo inverso.

Este componente se encarga de generar un comando motor a partir de los objetivos finales de la acción mostrada al inicio. Entonces se genera un comando motor apropiado para el objetivo, a la vez que emplea a las primitivas motoras extraídas desde el sistema de almacenamiento por el comparador, con las cuales se construye un comando motor nuevo. En caso de faltar alguna primitiva, es en este punto donde se generarían nuevos movimientos simples, los cuales de igual forma se integrarían al comando motor y, de ser funcionales en esta ocasión, se almacenarían en el sistema correspondiente para futuras ejecuciones.

f) Modelo directo.

A partir de la información proveniente del comparador sobre de las primitivas y con la información descompuesta por el analizador, este componente genera una representación de carácter predictivo sobre el estado final del sistema motor, una vez ejecutada la acción. En condiciones ideales, esta representación será idéntica al comando motor generado por el modelo inverso.

g) Salida motora.

El componente de salida motora implica a los procesos para la ejecución de la acción resultante del comando motor generado por el modelo inverso.

h) Comparador de predicciones y resultados.

El comparador de predicciones y resultados permite generar una comparación entre este estado final logrado y la predicción hecha por el modelo directo, lo cual es posible debido a un circuito de retroalimentación en el que el estado final del sistema se emplea para determinar la precisión con la que se realizó la acción.

3.4.3. Descripción del proceso.

La entrada sensorial procesa información sobre la ejecución de una acción por parte de un individuo (modelo) y el sistema del individuo que observa esta ejecución (aprendiz) la representa. Esta información de carácter sensorial es interpretada de forma global, facilitando su análisis subsecuente por el ponderador atencional, el cual, en base a diversos factores externos e internos al organismo, dirige la atención a la acción o a elementos específicos de la ejecución observada. Así mismo, en condiciones donde existen más de un individuo, seleccionar entre acciones y no dentro de la acción, entonces filtra aquella información que resulte irrelevante. Así pues, la información seleccionada pasa a un analizador, que la descompone en sus elementos más pequeños (primitivas motoras, características cinemáticas, características dinámicas de la acción etc.). Una vez analizada y descompuesta la acción, estos componentes principales pasan al sistema comparador que verifica estas primitivas y activa una memoria de estas para verificar su existencia en el sistema de control motor del individuo que imita la acción. Tanto las primitivas como la información cinemática y dinámica son empleadas conjuntamente para formar los modelos directo e inverso que, por una parte generarán el comando motor correspondiente, con base a los objetivos de la ejecución analizados y, por otro lado, formarán una predicción del estado final del sistema. Una vez generado el comando motor, en ambos modelos se

propicia la ejecución de la acción observada. En caso de no existir algunos de los movimientos básicos de la acción, entonces se emplea el modelo directo para generar nuevos movimientos tomando como base la información sensorial proveniente de quien modela la acción, estos movimientos nuevos son almacenados en el sistema de control motor y, así, continúa el proceso de generación del comando motor. En cualquier caso, el sistema de retroalimentación sensorial, permite comparar la ejecución con lo predicho, lo cual promueve el aprendizaje motor. En caso de que el sistema de retroalimentación sensorial genere una diferencia entre lo predicho y lo ejecutado (ejecución deficiente), se regresaría a las primitivas motoras y nuevamente se activaría al sistema de almacenaje de estas. De no existir la primitiva motora, se generaría o se ajustaría una preexistente, que serviría entonces para generar el nuevo comando motor hasta que a ejecución se perfeccione.

Este proceso se repite continuamente cada vez que se requiere realizar la acción. Así, los comandos motores no se almacenan como una sólo unidad sino como un código de reestructuración de primitivas motoras en base a diferentes elementos cinemáticos y dinámicos, por lo que cada ejecución es particularmente diferente una de otra. El perfeccionamiento de la acción se evidencia como una facilitación para la estructuración de los comandos. Entonces, el aprendizaje motor por imitación facilitaría la integración de los comandos que generan el movimiento. Esto permite responder a la redundancia motora, ya que implica que cada acción es diferente porque no se activa un comando motor específico, sino que hay n posibilidades de reestructurar los elementos que formarán al comando motor para una acción determinada.

3.4.4. Utilidad del modelo integrativo. Un ejemplo.

Supóngase un individuo A hambriento que se encuentra en busca de alimento, pero que jamás ha visto ni sabe qué es una nuez. Entonces, el individuo A que se encuentra con la nuez, probablemente no sabrá que hacer con ella, pero observa a otro individuo B, que está abriendo varias nueces empleando una técnica muy peculiar: primero coloca la nuez en una piedra con una ligera hendidura, para que esta no ruede; después toma una rama bastante gruesa, no muy larga, por la parte de en medio manteniéndola en una posición vertical sobre la nuez; entonces la golpea fuertemente, pero, aplica solamente la fuerza necesaria para romper la cáscara sin aplastar su contenido. Una vez rota la cáscara, el individuo B toma los pedazos y retira la pulpa con lo que se alimenta. Luego, el individuo B repite la acción con otra nuez, cada una de estas etapas es observada por el individuo A que, dado su estado motivacional (hambre) pondera como relevante la acción observada y dirige

selectivamente su atención a cada una de las etapas del procedimiento, filtrando los movimientos más importantes. Dado que esta es una acción compleja, el individuo A, se encuentra en proceso de aprendizaje de esta nueva acción, por lo que observará detenidamente las diversas ejecuciones del individuo B, abstrayendo en cada observación una información más detallada sobre los diferentes movimientos que conforman a la nueva acción, así como de las relaciones cinemáticas y dinámicas contenidas durante todo el proceso.

Esta información abstraída por el individuo A es analizada por sus sistemas de control motor, los cuales desmenuzan constantemente y de manera inconsciente la acción (a menos de que exista una noción explícita del organismo por realizar esta función). El resultado de este análisis activa la representación de primitivas motoras o movimientos simples que conforman el total de la acción, los cuales son reintegrados por un modelo interno directo en un comando motor nuevo para generar el resultado final. Así, el individuo A integra las transformaciones cinemáticas de la acción, como la posición vertical de la rama con respecto a la nuez y la posición de la mano a lo largo de esta, además también integra las transformaciones dinámicas, como la velocidad y fuerza con la que el individuo B aplicó el golpe sobre la nuez, con lo que se contribuye a la adecuación apropiada de un nuevo comando motor. Al mismo tiempo, un modelo directo emplea estas mismas transformaciones y primitivas motoras, extraídas de la acción observada para generar una predicción del estado final del sistema que, en este caso, consisten en romper la cáscara de la nuez sin aplastar su contenido.

Una vez formados ambos modelos, el comando motor incide sobre los sistema de control de los miembros corporales involucrados, generando la acción, la cual arrojará un resultado que será reinterpretado a través de la información de retroalimentación que proporciona el sistema y que genera un indicador de la eficiencia de los comandos motores empleados; si la ejecución de la acción no es eficiente (como sería en el caso de aplastar la nuez), entonces los sistemas de control y aprendizaje motor del nuestro individuo A en el siguiente intento tendrían que reestructurar los comandos motores a fin de generar resultados que se aproximen más al estado final esperado en el sistema.

3.5. Primer objetivo.

Resulta casi evidente que las aproximaciones teóricas de Imitación no son suficientes para dar cuenta de forma precisa del proceso de aprendizaje de acciones por imitación, y todo el procesamiento de información que conlleva, del mismo modo las teorías computacionales presentan a su vez el inconveniente de tener un corto alcance explicativo como teoría de imitación y su papel se centra en el eje explicativo de la

transformación sensoriomotora. No obstante estos modelos teóricos analizados por separado aportan diversos elementos de abordaje para un mismo problema, los cuales al ser integrados en un modelo teórico, proporcionan un nuevo nivel explicativo para el problema de la imitación, entendida como una forma de aprendizaje de acciones más que como una copia de la conducta. Lo anterior nos lleva a plantear como primer objetivo del presente trabajo mostrar evidencia sobre la viabilidad del modelo sensoriomotor de aprendizaje de acciones por imitación propuesto, tomando como bases el contexto de la transformación sensoriomotora de la cinemática de la acción. Es así como se espera que por lo menos en lo referente a la cinemática de la acción, se encuentre evidencia que respalde la transformación e integración de estos elementos de manera diferencial entre los grupos descritos por la presencia de modelado y por la cinemática del mismo, lo cual se reflejará en las diferencias estadísticas en las ejecuciones de los grupos y, por ende, en la interacción con el efecto de la práctica a través de los ensayos, lo que interactuará con el aprendizaje de la acción.

Un elemento de análisis adicional al objetivo ya mencionado, es determinar si existen diferencias en el aprendizaje por imitación y en general en la ejecución de la tarea, dados por el sexo de los participantes, donde se hipotetiza que los hombres pueden presentar una mejor ejecución que las mujeres.

Capítulo 4. Metodología para el estudio de la imitación.

4.1. Paradigmas de investigación en imitación.

El estudio del proceso y de las variables que inciden directamente en el proceso de imitación ha cobrado un auge desde el descubrimiento, en la década de los noventa, del sistema de neuronas espejo (Gallese et al., 1996), lo que a la vez ha generado un desarrollo en los paradigmas o protocolos de investigación dentro de esta área de estudio (Morín y Grèzes, 2008).

Independientemente de la diversidad de paradigmas en el estudio de imitación, una característica en común a la mayoría ellos es que las acciones ejecutadas (incluyendo palabras) por un modelo pueden presentarse al observador (imitador) en vivo, mediante videos o a través de fotografías y la tarea puede consistir en ejecutar la acción observada o simplemente observarla (Ver Fig. 4.1). La meta de estos paradigmas no es evaluar solamente el efecto de la observación de la acción, antes bien, cada secuencia en el paradigma toma importancia en el propio contexto experimental de acuerdo a las variables que pueden influir sobre la imitación.

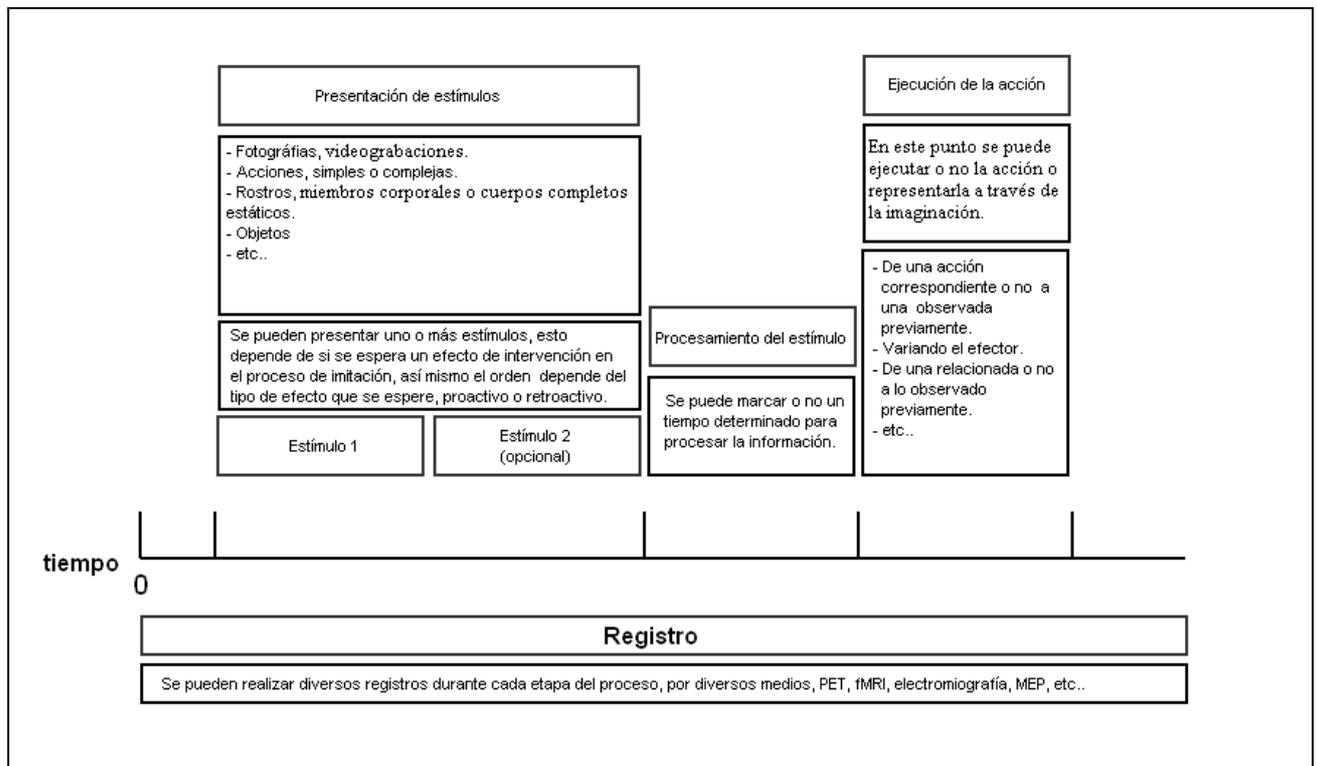


Fig. 4.1. Se presenta un esquema general sobre la estructura básica de los experimentos de imitación. Debe tenerse presente que se trata de una secuencia general que puede variar de acuerdo a los objetivos de las investigaciones.

Uno de los principales intereses de investigación sobre el proceso de imitación es determinar las áreas corticales que participan en el proceso, por lo que una gran parte de las investigaciones se ha centrado en esta área con varios objetivos:

- Dilucidar qué áreas se encuentran asociadas a determinados procesos durante la imitación, es decir áreas asociadas a la simple observación de acciones (Kilner et al., 2003; Heyes et al., 2005; Buccino et al., 2001; Flanagan y Johansson, 2003; Edwards et al., 2003; Maeda et al., 2002; Urgesi et al., 2006; Rumiati y Tessari, 2003), ejecución de las acciones observadas (Craighero et al., 1999; Kilner et al., 2003; Edwards et al., 2003; Rumiati y Tessari, 2003; Tessari et al., 2006; Michelon et al., 2006; Ehrsson et al., 2003; Makuuchi, 2005), imaginación de acciones (Wolbers et al., 2003; Dechent et al., 2004; Michelon et al., 2006; Ehrsson et al., 2003; Stevens, 2005; Hanakawa et al., 2003) y combinaciones posibles de estas variables.
- Determinar el tipo de estímulos que promueven distintos niveles de activación en dichas áreas, lo que posibilita las comparaciones intra y entre áreas (Hoshi y Tanji, 2006; Ferrari et al., 2003; Rizzolatti et al., 2002).

Las técnicas de registro también varían y van desde la imagenología (fMRI, PET y TMS) (Kilner et al., 2003; Buccino et al., 2001; Maeda et al., 2002; Urgesi et al., 2006; Dechent et al., 2004; Decety et al., 2002; Ramnani y Miall, 2004; Avikainen et al., 2002; Cheng et al., 2006; Jackson et al., 2006; Buccino et al., 2004; Michelon et al., 2006; Buccino et al., 2005; Urgesi et al., 2006; Ehrsson et al., 2003; Makuuchi, 2005; Hanakawa et al., 2003) hasta el registro eléctrico directo, principalmente en primates no humanos (Ferrari et al., 2003; Raos et al., 2007; Umiltà et al., 2001; Kohler et al., 2002).

Además del interés de las áreas que procesan la información durante la imitación, también existe un interés en los efectos que los diversos factores mencionados anteriormente, además de algunos otros, tienen sobre este proceso. Así pues, estas metodologías se caracterizan por modificar selectivamente algunos elementos de una determinada variable de interés, midiendo diversas variables conductuales, entre las que destacan el registro de los tiempos de reacción, los errores en la ejecución, la ejecución propiamente y algunas características específicas de la acción, tales como dirección, secuencia, etc. (Edwards et al., 2003; Rumiati y Tessari, 2003; Tessari et al., 2006; Jackson et al., 2006; Mataric y Pomplun, 1998)

En lo referente al tipo de estímulos presentados, estos varían de acuerdo a la variable de estudio (efector, agente, fotografías, videos, etc.). No obstante, la mayoría emplean acciones conformadas por unos cuantos o un sólo movimiento, y generalmente las imágenes se encuentran focalizadas en efectores como la mano, los dedos de la mano

o los pies.(Makuuchi, 2005; Avikainen et al., 2002; Jackson et al., 2006; Mataric' y Pomplun, 1998; Koski et al., 2003; Dechent et al., 2004; Ehrsson et al., 2003; Bertenthal et al., 2006; Mataric' y Pomplun, 1998; Hanakawa et al., 2003; Craighero et al., 2002). En general, las acciones con mayor grado de dificultad son las secuencias de movimientos realizados con los dedos de la mano, pero existen pocas investigaciones donde los estímulos sean acciones más complejas, tales como imitar acordes de guitarra, movimientos de baile o capoeira (Buccino et al., 2004; Calvo-Merino et al., 2005) Dentro de los modelos experimentales, una relativa minoría abordan el aprendizaje por imitación (Tessari y Rumiati, 2006; Heyes et al., 2005; Calvo-Merino et al., 2005; Osman et al., 2005) y los menos evalúan dicho aprendizaje a partir de una acción más compleja que las secuencias de movimientos (Buccino et al., 2004; Tessari et al., 2006). En tanto que la variable dependiente más empleada es la medición de los tiempos de reacción. (Bertenthal et al., 2006; Bird y Heyes, 2005; Heyes et al., 2005; Pascual-Leone, 2002; Buccino et al., 2005; Craighero et al., 2002; Craighero et al., 1999).

Resumiendo, la mayoría de las investigaciones en el campo de la imitación utilizan acciones que involucran pocos movimientos a fin de facilitar la recolección y análisis de datos. En el caso de los experimentos donde se emplean estímulos más complejos, se evalúa la actividad a nivel cortical y no la conductual y, puesto que analizan acciones más complejas presenta diversos problemas, desde la selección de la acción hasta el análisis de los diversos elementos que la conforman. Ahora bien, dados estos problemas metodológicos cuál es la importancia de emplear acciones complejas, en lugar de acciones de pocos movimientos.

Si bien el estudio de la imitación se ha centrado en la mera copia de acciones y ha abordado en menor medida al aprendizaje por imitación, el objetivo de la presente investigación es enfatizar la relevancia de estudiar a la imitación como una forma de aprendizaje motor. Así, una metodología adecuada para el estudio del aprendizaje por imitación necesariamente requiere de la presentación de una acción que no exista previamente en el repertorio del observador, lo cual se dificulta si se emplean paradigmas con movimientos simples, ya que estos se asemejan más a los componentes básicos de las acciones que se pueden aprender, por lo que es imposible garantizar que no existan en repertorio previo del observador adulto, puesto que en esta etapa del desarrollo el aprendizaje de una acción no necesariamente involucra aprender toda una serie de movimientos o primitivas motoras de novo, sino que requiere de una serie de reacomodos o reestructuración de las ya existentes para lograr la nueva acción.

El uso de acciones menos complejas como estímulos, también presenta el problema de proporcionar pocos indicios sobre el modo en que se generó la acción, ya que implican elementos muy específicos de los movimientos y dificultan el obtener información sobre la eficiencia en la ejecución de dichas acciones. No sólo en la medición hecha a nivel experimental las acciones de pocos movimientos presentan pocos elementos para su análisis, sino también en la información que retroalimenta al ejecutor, lo que puede dificultar en sí mismo el efecto de aprendizaje. De este modo, el empleo de acciones relacionadas a tareas que presentan una alta demanda de diversos recursos cognitivos permiten garantizar en mayor medida que los participantes sean novatos en dicha tarea, generando un mayor índice de dificultad lo que permite evaluaciones globales sobre el resultado de la ejecución y proporciona un margen mayor a la retroalimentación que sirve de guía durante el proceso de aprendizaje.

4.2. Tarea de trazado de la estrella a través del espejo.

Esta es una de las tareas clásicas en la neuropsicología de la memoria (Milner et al., 1968) y, dentro del aprendizaje motor, se ha empleado principalmente para evaluar la capacidad de los individuos para la adquisición de habilidades motoras (Suzanne, 2002; Gabrieli et al., 1997; Milner et al., 1968) o efectos relacionados al aprendizaje motor (Balslev et al., 2004). Existen distintas versiones de esta tarea pero la más difundida consiste en una estrella de seis puntas, con dos perímetros, uno interno y uno externo (Ver Fig. 4.2.A). El objetivo de la tarea es realizar un trazado de una tercera estrella pero dentro de los dos perímetros, procurando no tocar ni salirse de las orillas (Ver Fig. 4.2.B). La dificultad de esta tarea consiste en que se realiza guiándose por la imagen de un espejo colocado enfrente de la persona que la ejecuta, de modo que no se observa directamente el trazado de la estrella ni el movimiento de la mano, sino que la retroalimentación visual está dada por la imagen invertida relegada en el espejo (Ver Fig. 4.2.C), por lo que cuando el participante genera un movimiento hacia arriba, en el espejo se observan hacia abajo y viceversa. La forma tradicional en la que esta tarea es evaluada es a través del conteo del número de errores realizados en cada ejecución comparándolo con las demás ejecuciones, donde los errores pueden ser el número de veces que se tocan los contornos o que la línea sale de la estrella, así como las veces que se separa el lápiz del papel. Otro elemento que se evalúa en dicha tarea es el tiempo que toma terminar cada ensayo, siendo estas dos variables generalmente evaluadas por separado (Balslev et al., 2004; Gabrieli et al., 1997; Bhushan et al., 2000; Roig y Placakis, 1992).

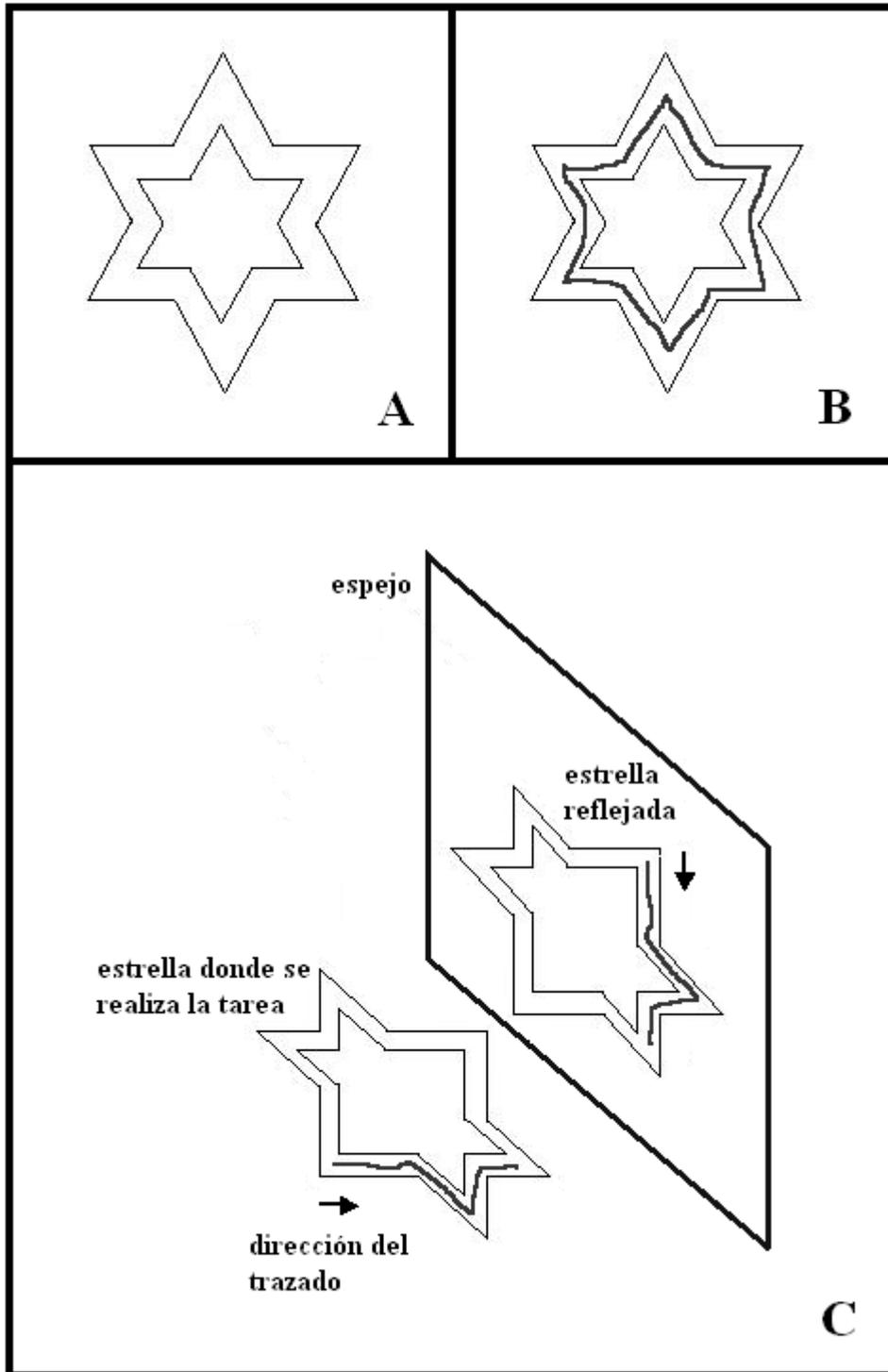


Fig. 4.2. Tarea del trazado de la estrella a través del espejo. A, la estrella de seis puntas con doble contorno, en la cual se debe trazar una tercer estrella entre los márgenes procurando no tocar ni salirse de las orillas, como se muestra en B. C, la tarea se realiza guiándose por la imagen de un espejo, donde la estrella y el trazo son reflejados alterando la retroalimentación del trazado sobre la estrella.

Así pues la correcta ejecución de esta tarea requiere que el individuo aprenda la naturaleza de la nueva relación entre la información visual y la propioceptiva generando una compensación de la rotación que genera el espejo. En los primeros ensayos de esta tarea es cuando se genera el mayor número de los errores, pero conforme se avanza en los ensayos (en el caso de esta investigación hasta llegar a tres) los errores o el tiempo de ejecución normalmente disminuyen, siendo así como se observa el efecto de aprendizaje en esta tarea. Desde una perspectiva de modelos computacionales, en esta tarea se encuentra alterada la transformación cinemática ya que es las referencias de ángulos y posiciones en el espacio son los elementos que retroalimentan al sistema donde y donde radica la dificultad de la prueba, así esta nueva transformación sensoriomotora debe ser aprendida, a la vez que el sistema se encuentra monitoreando que se cumplan los objetivos de la tarea, como el no tocar los bordes.

Dada la complejidad de la tarea, es posible que la observación de otro individuo modelando la ejecución de la tarea, pueda aportar elementos que faciliten el aprendizaje de la misma a través de los mecanismos de imitación involucrados en el procesamiento de quien realiza la tarea posteriormente.

4.2.1. Propuesta de una nueva forma de evaluación de la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo.

Como se mencionó anteriormente las variables que se evalúan en una ejecución de trazado a través del espejo, son los errores cometidos y el tiempo que le toma al participante realizarla, con lo que se generan dos dimensiones de la ejecución, tiempo de ejecución y errores cometidos, las cuales son analizadas tradicionalmente por separado, es decir se evalúa por un lado el tiempo y por otro los errores. Si bien ha sido posible observar efectos de aprendizaje evaluando ambas variables de este modo, esto genera que se desaproveche la interacción de las dos variables, impidiendo una integración de las variables, que permitan un panorama más completo de lo que ocurre dentro de cada ejecución.

4.2.1.1. Interacción errores / tiempo.

Supóngase que una universitaria de 20 años ejecuta la tarea de trazado de la estrella cometiendo únicamente 16 errores, a la par una anciana la realiza pero comete 10 errores, ¿qué ejecución fue mejor? La respuesta es por demás evidente bajo este criterio, la anciana. Ahora bien, la anciana comete sólo diez errores pero tarda 240 segundos en completar la tarea, en cambio a la joven le toma solamente 150 segundos. Si se analiza únicamente esta nueva información, ¿qué ejecución fue

mejor? En este caso, la respuesta varía: la joven. A través de este ejemplo se hace evidente la existencia de una interacción intrínseca que no es contemplada al momento de evaluar ambas medidas de la ejecución por separado, ya que no es lo mismo terminar la tarea en 50 segundos cometiendo 30 errores, que tardar el mismo tiempo cometiendo la mitad de errores, sin embargo al momento de evaluar las variables por separado ambos tiempos valen lo mismo, enmascarando así el valor de los errores en la ejecución.

4.2.1.2. Ley de Fitts y negociación errores / tiempo.

Tanto el tiempo en el que se realiza la tarea como la precisión con la que se realiza (errores cometidos) son variables que interactúan durante la ejecución. De este modo, una forma adecuada de medir las ejecuciones requiere de índices de ejecución que conjunten ambas variables en un sólo parámetro de medición. Sin embargo, esto no resulta tan fácil como parece, ya que genera un par de problemas, el primero de ellos es que las dos variables se encuentran en dos unidades de medición diferentes, por lo que es necesario generar una forma para ponderar e igualar ambos parámetros. El segundo problema radica en la naturaleza misma de las acciones ya que se ha mostrado que existe una relación inversa entre el tiempo que toma realizar una tarea y los errores que se cometen, de modo que, a mayor velocidad menor precisión y a mayor precisión menor velocidad. Esta relación fue propuesta desde finales del siglo XIX, pero fue Fitts (1954) quien propuso una relación formal, ligando el tiempo de los movimientos a la relación inversa con la precisión con la que se realiza la tarea. Esta relación es conocida como Ley de Fitts y permite generar predicciones sobre el resultado de una acción realizada sobre un solo eje espacial (eje x). Existen una gran cantidad de modelos que permiten evaluar la ejecución global de las acciones a partir del tiempo, de la dificultad de la tarea o de ambas, dependiendo de la forma en la que se fije el modelo. Así pues, estos modelos formales ponderan y evalúan la negociación tiempo precisión al realizar una tarea motora y los elementos que conforman estos modelos permiten manipular las variables a modo de generar predicciones y evaluaciones sobre el tiempo y la precisión con que se realiza la tarea.

4.2.1.3. Hacia la construcción de un índice de ejecución.

Los valores de velocidad y precisión se encuentren intrínsecamente relacionados al momento de realizar una acción cualquiera, así pues analizar de manera separada ambas variables involucra pasar por alto esta relación y en cierta medida los valores absolutos de ambas dimensionalidades enmascaran el valor relativo de la otra

dimensionalidad, por ejemplo no es lo mismo cometer cinco errores y tardarse media hora que cometer cinco errores en medio minuto.

Sin embargo, generar una relación matemáticamente adecuada para valores provenientes de diferentes dimensionalidades presenta el problema de integrar dentro de un solo valor dos unidades de medición diferentes, por un lado el tiempo (en segundos) y por el otro la precisión (errores, aciertos, etc.), además de la dificultad que involucra el hecho de que la precisión se encuentra determinada por las características propias de la tarea, esto es la precisión en la ejecución de una tarea está relacionada con las características de la tarea, tales como la complejidad y las oportunidades de medición que implica la tarea.

En el caso de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo, se registra el tiempo en segundos que toma al participante realizar la tarea, lo que se toma como indicador de la velocidad de la ejecución. Además, se registra al número de errores como una medida arbitraria de la precisión, donde cada error hace referencia a uno de tres posibles eventos distintos: primero, se toma como un error cada vez que el trazo de la línea que hace el participante toca cualquiera de los dos perímetros de la estrella (ver anexo); segundo, cuando la línea trazada sale de los perímetros; y tercero, cada vez que quien ejecuta la tarea desprende la punta del lápiz de la hoja de papel. Cada una de estas tres condiciones genera una unidad de error, al finalizar se obtiene un acumulado de los errores a lo largo de la tarea y con ello un indicador de la precisión obtenida. Puesto que a menos errores incrementa la precisión y viceversa, el índice de ejecución deberá, en primera instancia, reflejar una relación entre la velocidad y la precisión, ponderando estas variables y dar el resultando en un valor único con el que se puedan discriminar entre las ejecuciones de los diferentes participantes y de los diferentes ensayos, al permitir discriminar las condiciones bajo las cuales la ejecución fue más eficiente, es decir, realizar la tarea en el menor tiempo posible y con la menor cantidad de errores.

Dado que se pretende construir un índice de la eficiencia en la ejecución y no un modelo de la negociación tiempo precisión, el índice no debe de reflejar directamente la relación inversa de la negociación velocidad / precisión, es decir que las ejecuciones con menor tiempo deben ser ponderadas como más eficientes que aquellas con mayor tiempo, aunque teóricamente una mayor velocidad conllevara a una menor precisión. Sin embargo, esta es una relación intrínseca a cada ejecución, por lo que la realización podría ser más precisa si es hecha a menor velocidad o podría ser menos precisa se es llevada a cabo con mayor velocidad pero al comparar entre ejecuciones, aquella con una velocidad x , con número de errores igual a y comparada con otra de velocidad $<x$ con los mismos errores, implica una mayor eficiencia en la segunda dado

que aunque se comenten el mismo número de errores (precisión), esta ejecución fue realizada en un tiempo menor.

Así pues las ejecuciones más eficientes serán aquellas que se hayan realizado en el menor tiempo con el menor número de errores. Ahora bien, estos valores no deben ser considerados de forma absoluta, sino de acuerdo con la relación existente entre ellos, por lo que las ejecuciones más eficientes serán aquellas que posean una relación menor entre errores y tiempo. Por lo tanto debe resolverse el problema de generar esta relación.

Teóricamente la tarea de trazado de la estrella a través del espejo es una tarea cuyos errores y tiempo se pueden extender desde cero hasta infinito, dado que la tarea no se suspende al alcanzar un número de errores predeterminado, de modo que el participante tendrá tantos como pueda generar. Así mismo, una ejecución típica de esta tarea no se lleva a cabo contra reloj, ya que es el individuo quien determina en qué momento concluyó su trazado, esto es, el tiempo de ejecución también podría extenderse hasta infinito o hasta que el participante desfallezca o se aburra.

Esto genera un problema de cálculo del índice de ejecución, porque si bien el objetivo es lograr menos errores en el menor tiempo, no existe un límite de medición para esto, pues tanto el tiempo como los errores se están comparando con el infinito. Esto impide que se pueda ponderar entre las ejecuciones asignándoles un valor relativo en relación con un punto de comparación fijo para todos los valores. Así pues, resulta necesario fijar estas variables en un punto que permita dicha comparación.

Una alternativa posible para resolver este problema es asignar arbitraria y previamente el límite máximo de tiempo y de errores para la ejecución, fijando así estas variables. Pero esto genera otro problema, puesto que se busca extraer la mayor cantidad de información sobre cada una de las ejecuciones y que para obtener un parámetro límite sería necesario generar una distribución normal con base en una enorme cantidad de ejecuciones y, solamente cuando se hayan obtenido todos estos datos, se podría calcular un límite (de tiempo y errores) para las ejecuciones. Ahora bien, esto generaría que cualquier ejecución que sobrepasará el límite debería descartarse para el análisis, pues sería considerada como una ejecución fallida al ser igual a cero. En este contexto, se estaría desechando información valiosa al impedir que el participante concluya una ejecución debido a que cumplió la condición del límite, convirtiéndose para el análisis estadístico en un valor anormal sin que se tome en cuenta que este podría ser precisamente el efecto del propio tratamiento experimental.

Por ende, se hace necesario generar una nueva propuesta que solucione este problema. Dicha solución implica establecer el límite con base a las ejecuciones de todos los participantes de la muestra, determinando los valores del puntaje más alto de

errores y tiempo. Luego entonces, se analizan todas las ejecuciones de quienes realizaron la prueba y se determina el tiempo máximo registrado para una ejecución, haciendo lo mismo para el caso de los errores. Se tiene así la misma información que la primera alternativa, pero con la ventaja de que no se desecha información valiosa. Entonces, tenemos que los errores se distribuyen desde cero como límite inferior hasta los errores máximos como límite superior y la distribución del tiempo obedece a la misma razón. Puesto que con esto se obtienen los límites para la comparación de la precisión y la velocidad de las ejecuciones, es posible construir el índice que permita ponderar dichas ejecuciones.

4.2.1.4. Descripción formal del índice de ejecución.

Resumiendo, el índice de ejecución requerido debe ponderar entre ejecuciones, valorando a una mejor ejecución por el hecho de cometer menos errores y realizar la tarea menor tiempo, lo que determinaría que para el caso contrario, más errores y mayor tiempo de ejecución, la tarea fue más difícil.

Una primer relación algebraica posible entre precisión y tiempo es una división de los errores absolutos entre los segundos absolutos E/T , sin embargo esta relación genera el problema de que un tiempo de ejecución menor genera un índice mayor y viceversa. Se puede observar claramente como esta relación se manifiesta acorde a la teoría de intercambio entre velocidad y precisión, sin embargo no refleja la ponderación que se desea entre las ejecuciones.

Ahora, cuando fijamos una de las dos variables, al incluir uno de los límites de acuerdo con la deducción realizada anteriormente, se obtiene un nuevo elemento para generar una nueva relación, donde partiendo del tiempo relativo al tiempo máximo de todas las ejecuciones (T), es decir el tiempo resultante al sustraer el tiempo de una ejecución particular (t) al tiempo máximo de las ejecuciones como valor único o constante, entonces se tiene un tiempo restante ($ts=T-t$). Luego, al dividir los errores (e) de una ejecución entre el tiempo restante ($T-t$), se obtiene un índice donde tanto el número menor de errores como el menor tiempo de ejecución, generan índices menores, ya que en esta ecuación los valores menores en tiempos al restarse al valor máximo generan denominadores mayores, que aquellos tiempos más cercanos al tope, los cuales generan denominadores menores, lo que en la división se traduce en valores más pequeños para el primer caso, y valores mayores para el segundo. Para calcular así el índice, no es necesario fijar los errores, puesto que el tiempo se ha determinado ya como variable fija, al mismo tiempo, puesto que los errores se toman en su valor absoluto, generan en la división numeradores pequeños cuando se cometen menos errores y numeradores mayores a más errores, lo que en la división se traduce del

mismo modo que el tiempo, por lo tanto este índice presenta ya la característica buscada, donde tanto errores como tiempos menores mueven al índice en la misma dirección:

$$I_e = e/(T-t)$$

Existe un valor y solo uno del tiempo máximo para una ejecución y este proviene de por lo menos una ejecución, entonces el índice de esa ejecución nos daría un denominador de cero, ya que **T** y **t** serían iguales, generando así una división igual a cero. Para resolver este problema al tiempo máximo se le suma uno, lo cual soluciona este problema ya que de este modo no existirá en ningún caso una resta que de cero. De igual forma está la posibilidad de que existan ejecuciones sin errores, es decir con un numerador de cero, las cuales también tendrían como resultado un índice de cero, sin embargo esa ejecución también debe ser ponderada en base al tiempo, y ese cero sería igual a una ejecución perfecta, lo cual se encontraría fuera de una realidad, así pues aquí también se suma uno para cada una de las ejecuciones:

$$I_{e_T} = (e+1) / (T+1-t)$$

Este índice genera una proporción que hace referencia a los errores que se cometen en relación al tiempo de ejecución que no es empleado por el participante, donde entre menor sea el índice mejor será la ejecución.

Ahora bien por otro lado y bajo la misma lógica se pueden fijar los errores, de modo que ahora el índice se vuelve:

$$I_{e_E} = (E+1-e) / (t+1)$$

Este índice genera una relación entre los posibles errores que no se cometieron en una ejecución y el tiempo que toma realizar la tarea, por decirlo de una forma más clara es como calificar un examen al revés, en el sentido de que existen **N** posibles errores, que es igual a **E** y **e** significa los errores cometidos por el participante, y el resultado de esta resta son los no errores o aciertos del participante. Generando así una relación entre los aciertos y el tiempo que le toma realizar la ejecución, donde ahora entre más alto el índice mejor es la ejecución.

4.3. Segundo Objetivo de la Tesis.

El análisis de la viabilidad de nuestro modelo sensoriomotor de aprendizaje de acciones por imitación está sustentado en los resultados de las ejecuciones, parece

entonces que también la forma en que se analicen estos resultados es fundamental para observar adecuadamente los efectos experimentales. De ahí que en este trabajo se presente una propuesta para analizar de forma novedosa los efectos de la interacción velocidad / precisión en la ejecución de una tarea visomotriz, por lo tanto un segundo objetivo del trabajo es mostrar la conveniencia de emplear el índice de ejecución como una medida de análisis para la tarea de trazado de la estrella a través del espejo y, en general, como un posible indicador del comportamiento de las ejecuciones del agente a lo largo del aprendizaje de acciones. Así pues, se espera que el índice de ejecución sea un buen descriptor de la interacción velocidad precisión para la tarea de trazado de la estrella a través del espejo, mostrando el comportamiento de la ejecución del agente en una nueva modalidad entendida como eficiencia general de la ejecución.

Capítulo 5. Metodología.

5.1. Participantes.

272 estudiantes de licenciatura de la UNAM todos diestros, con un promedio de 21 ± 4 años de edad, de los cuales 222 fueron mujeres y 50 hombres.

Los participantes fueron seleccionados a partir de nueve criterios de inclusión, siete de ellos obtenidos a partir de la aplicación de un cuestionario de 16 reactivos (ver anexo 1), sobre el estilo de vida y condición inicial de los participantes (a, b, c, d, e, f, g), y los restantes se analizaron por observación directa (h, i).

Todos los participantes fueron seleccionados a partir de los siguientes criterios de inclusión: a)lateralidad diestra; b)sin historia de consumo de drogas; c)consumo máximo de 2 copas de alcohol por semana; d)sin reporte de enfermedad neurológica; e)sin entrenamiento cotidiano en tareas visomotoras; f)sin experiencia en la tarea del trazado de la estrella a través del espejo; g) en el caso de las mujeres, ciclos menstruales regulares, y al momento de realizar la ejecución de la tarea encontrarse dentro de los días 20 a 24 de su periodo menstrual; h) contar con visión 20/25 o más o corregida por anteojos; y i)buena atención y ejecución motora en la tarea de puño, canto y palma (Ostrosky-Solis et al., 2003). Todos los participantes otorgaron su firma del consentimiento informado.

5.2. Instrumentos y materiales.

Para la realización de la prueba se emplearon lápices de grafito, lápices color rojo y azul; hojas impresas con cuadrados y triángulos de doble contorno (ver anexo 3); hojas impresas con estrellas de seis puntas de doble contorno (ver anexo 2.a y 2.b).

Los instrumentos utilizados fueron: videocasetera marca sony; televisor a color de 24 pulgadas; videograbaciones de la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo; cronómetro; módulos individuales para la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo (ver anexo 4).

5.3. Procedimiento.

ETAPA I.- Una vez seleccionados, cada participante fue asignado aleatoriamente a uno de siete grupos o condiciones (véase Fig. 5.1.). En cinco de estas condiciones se les presentó un video, con una duración aproximada de medio minuto, el cual era repetido cinco veces, con lo que la duración total era aproximadamente de dos minutos y medio. De estos videos, cuatro presentaban la ejecución de la tarea de trazado de la estrella, con el fin de proporcionar un modelado exitoso de la tarea. En el video correspondiente al grupo 1, se presentó una mano con un lápiz sobre la estrella,

pero la mano no realizó ninguna acción. A los participantes del sexto y séptimo grupo (controles) no se les presentó video o modelado alguno y estos diferían entre sí en que el grupo 7 no realizaba la fase de calentamiento (ver Fig. 5.2.). Finalmente se tuvieron cuatro grupos experimentales y tres grupos control, con las siguientes características:

Grupo 1; Control: En el video se presentó la mano preparada para realizar la tarea del trazado de la estrella, pero no se observó acción alguna de trazado. El modelo se le presentó al observador con una perspectiva de primera persona (0° con respecto a la orientación natural del observador).

Grupo 2; Experimental 90° derecha: En el video de modelado se muestra una mano realizando la tarea de trazado de la estrella, con una rotación de 90° a la derecha con respecto a la orientación natural del observador.

Grupo 3; Experimental 180° : En el video de modelado se muestra una mano realizando la tarea de trazado de la estrella, con una rotación de 180° con respecto a la orientación natural del observador.

Grupo 4; Experimental 90° izquierda: En el video de modelado se muestra una mano realizando la tarea de trazado de la estrella, con una rotación de 90° a la izquierda con respecto a la orientación natural del observador.

Grupo 5; Experimental 0° : En el video de modelado se muestra una mano realizando la tarea de trazado de la estrella, con una rotación de 0° con respecto a la orientación natural del observador.

Grupo 6; Control: No se presentó video alguno y los participantes en este grupo ejecutaron la tarea directamente sin haber observado modelado alguno.

Grupo 7; Control: No se presentó video alguno y los participantes en este grupo ejecutaron la tarea directamente sin haber observado modelado alguno y realizar calentamiento (Etapa II), con lo que pasaron directamente a la Etapa III del procedimiento.

Características de los grupos

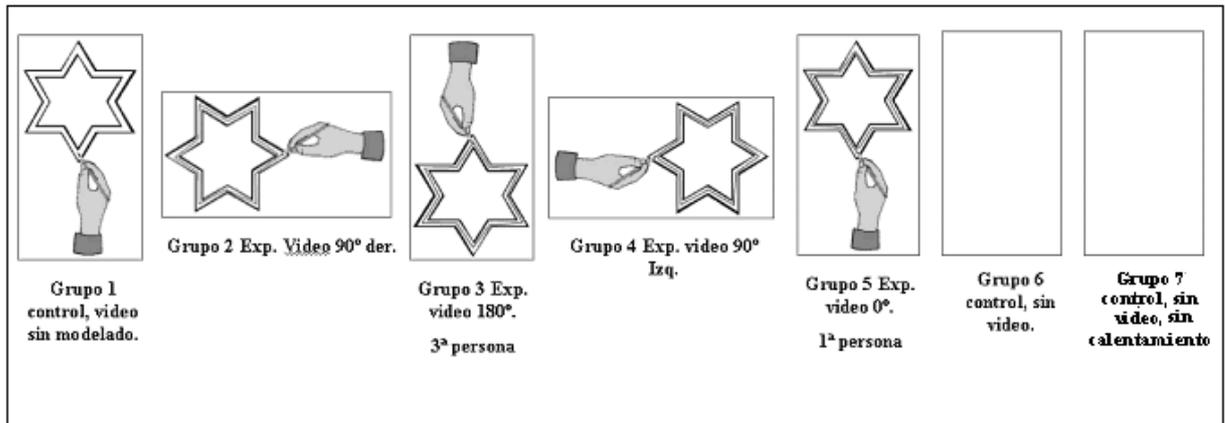


Fig.5.1. Se muestran las siete condiciones a las que fueron asignadas aleatoriamente los participantes, cuatro grupos experimentales y tres grupos control. Es visible como la característica que varía entre los grupos experimentales, es que la imagen cambia en su cinemática a través de los grupos, específicamente en la orientación con que se presentan al observador.

ETAPA II.- En esta etapa, cada participante realizó seis ensayos de calentamiento, consistentes en trazar directamente (sin espejo) y con la mano derecha, en tres cuadrados y tres triángulos de doble margen, un tercer contorno entre los presentados (ver anexo 3). En esta etapa no se contabilizaron ni el tiempo ni los errores.

ETAPA III.- Una vez realizado el calentamiento, los participantes ejecutaron tres ensayos de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo en pequeños módulos especiales para esta tarea situado frente a ellos. A la mitad de los participantes de cada grupo se les pidió realizar la tarea con la mano derecha y a la otra mitad con la mano izquierda, acorde a esto se le pidió que su trazado fuera en dirección izquierda o derecha (ver anexo 2.a y 2.B). Se registró el tiempo (en segundos) que le tomó a cada participante realizar cada ensayo de la tarea.

Esquema de las fases y condiciones del experimento

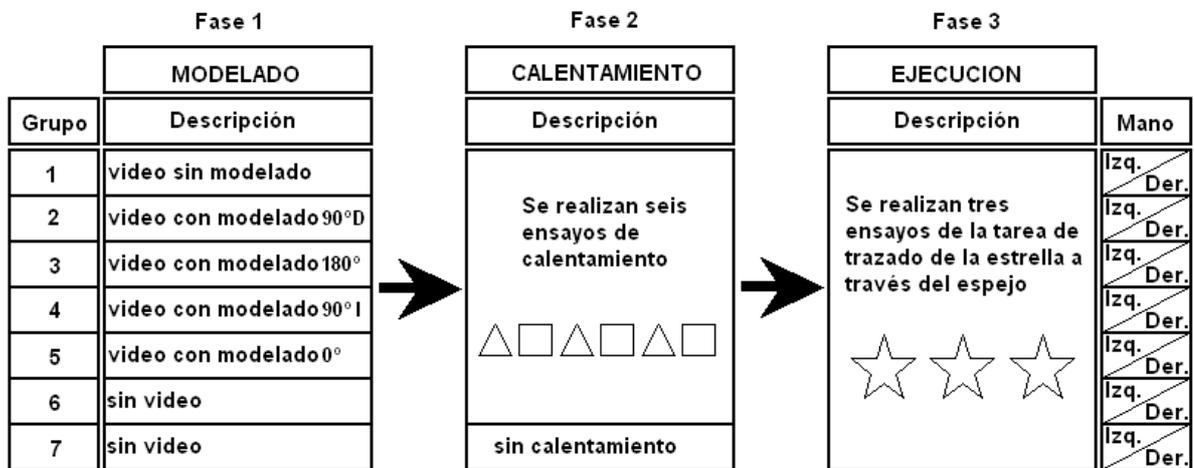


Fig. 5.2. Esquema donde se muestran las fases del experimento y los grupos experimentales y controles.

En resumen, todos los participantes eran asignados a un grupo y cada uno de estos presentaba características específicas, como se describe en los apartados correspondientes, donde veían o no un video. Después todos los grupos, exceptuando al siete, realizaban ejercicios de calentamiento sobre cuadrados y triángulos. Finalmente todos los participantes sin excepción realizaban tres ensayos de la tarea de trazado de la estrella a través el espejo, la mitad de ellos la realizaba con la mano derecha y la mitad con la izquierda (ver figura 5.2).

De la muestra inicial, solamente 167 participante completaron las tres etapas de la tarea exitosamente, el resto presento dificultades en la realización de los ensayos de la tarea de modo que no terminaron los tres, o los realizaron de forma errónea. Con lo que el análisis estadístico final se realizó sobre la ejecución de 41 hombres y 126 mujeres, distribuidos de acuerdo a la siguiente figura:

**Distribución de la muestra a través de los grupos
y las condiciones experimentales**

		Sexo	Mujeres		Hombres	
		Mano	Der.	Izq.	Der.	Izq.
G r u p o	1		9	9	4	2
	2		9	9	4	3
	3		9	9	4	2
	4		9	8	4	2
	5		9	9	4	3
	6		9	10	4	2
	7		9	9	3	0
N mano y sexo			63	63	27	14
N por sexo			126		41	
N total			167			

Fig. 5.3. Distribución de la N de participantes en las condiciones experimentales.

Capítulo 6. Resultados

6.1. Medidas base para el análisis.

Se trabajó con los datos obtenidos de 167 estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México, 126 mujeres y 41 hombres, con una media de edad de 21 ± 4 años.

Se obtuvieron dos mediciones para cada participante por cada uno de los tres ensayos de la tarea: tiempo de ejecución, medido en segundos y número de errores. Los datos fueron transformados a dos índices de ejecución por cada ensayo, obteniendo finalmente seis índices de ejecución para cada participante (tres fijando tiempo y tres fijando errores). Esto con la finalidad de mostrar la relación existente entre velocidad y precisión mediante las siguientes funciones de tiempo y errores, respectivamente:

$$\text{Índice_T}_i = \{(ei+1)/(T-ti)\} * 1000$$

Donde ei es igual al número total de errores; T es igual al tiempo más alto registrado en la muestra; y ti es igual al tiempo que tomó realizar la ejecución a cada uno de los participantes para el ensayo específico analizado.

$$\text{Índice_E}_i = \{(E-ei)/ti\} * 1000$$

Donde ei es igual al número total de errores; E es igual al número más alto de errores registrado en la muestra; y ti es igual al tiempo que tomó realizar la ejecución a cada uno de los participantes para el ensayo específico analizado.

Después de obtenido el índice de ejecución, se contó con cuatro medidas para el análisis: *tiempo*, *errores*, índice tiempo fijo “Índice_T” e índice errores fijos “Índice_E”. Todos los datos fueron analizados con el paquete estadístico STATISTICA 8 para Windows.

6.2. Normalidad de los datos.

El análisis de la normalidad de los datos, para cada una de las cuatro variables dependientes (*tiempo*, *errores*, *Índice_T*, *Índice_E*), se realizó mediante dos arreglos diferentes: 1) para medidas repetidas dado por el factor ensayo (ensayo1, ensayo2 y ensayo3), lo que resultó en tres registros continuos (Ver tabla. 6.1), y 2) se introdujeron los tres registros de cada variable independiente (*tiempo*, *errores*, *Índice_T* e *Índice_E*) en una sola variable, independientemente del ensayo, lo que resultó en cuatro datos, uno para cada variable (Ver tabla. 6.2)

	Predictor continuo Ensayo											
Variable dependiente	Tiempo ₁	Tiempo ₂	Tiempo ₃	Errores ₁	Errores ₂	Errores ₃	Índice_T ₁	Índice_T ₂	Índice_T ₃	Índice_E ₁	Índice_E ₂	Índice_E ₃
Mediciones de cada participante	t1	t2	t3	e1	e2	e3	lt1	lt2	lt3	le1	le2	le3

Tabla. 6.1. Se muestra el ordenamiento de los datos para el ANOVA de medidas repetidas, nótese que hay tres columnas por medida de análisis correspondiente a cada uno de los tres ensayos.

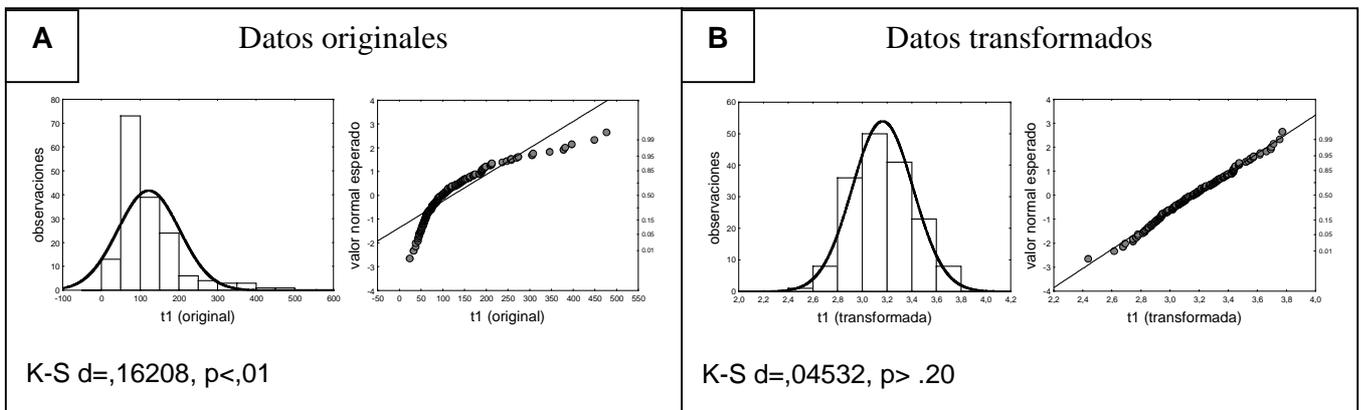
	Sin el Predictor continuo Ensayo			
Variable dependiente	tiempo	errores	Índice_T	Índice_E
Mediciones de cada participante	t1	e1	lt1	le1
	t2	e2	lt2	le2
	t3	e3	lt3	le3

Tabla 6.2. Se muestra el ordenamiento de los datos para el ANOVA simple, nótese que en este caso los tres ensayos aparecen en una sola columna por cada medida de análisis.

Una vez realizados estos arreglos, se analizó la normalidad de los datos mediante 3 métodos: ajuste del histograma a una curva normal; por una gráfica P-P y prueba de Kolmogorov-Smihovy (K-S). Los análisis indicaron que, a excepción de la variable *Índice_E* para los ensayos 2 y 3, los datos no se ajustaron a una distribución normal. por lo tanto se procedió a realizar una transformación por el método de Box-Cox para cada variable, ajustando a la distribución normal (Ver desde Fig. 6.1. a Fig. 6.16.). Para cada variable dependiente, en cada figura se muestra en el panel A los datos antes de la transformación y en el panel B, los datos una vez transformados. Cada panel presenta a la izquierda el histograma con su aproximación a la curva normal, a la derecha la gráfica P-P y abajo el resultado de la prueba K-S. Al final de cada figura se indica el valor λ obtenido de la prueba Box-Cox, con la fórmula correspondiente a la transformación de los datos. En el análisis de la variable *errores* se sumó a cada dato la unidad, a fin de eliminar aquellas observaciones con valor igual a cero.

6.2.1. Normalidad primer arreglo.

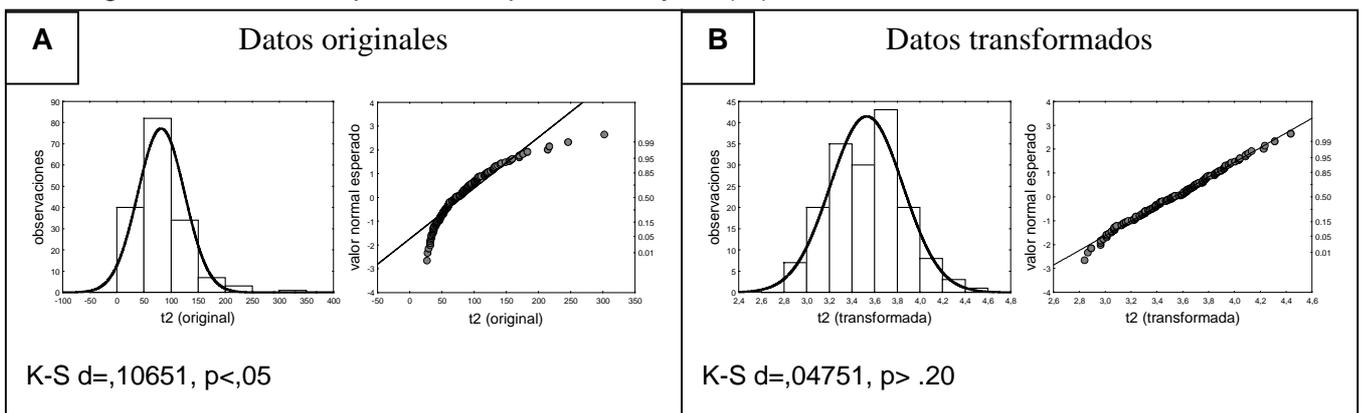
Fig. 6.1. Normalidad para el tiempo del ensayo 1 (t1).



$\lambda = -0,174968.$

Fórmula de transformación Box-Cox: $((t1_i^{-0,174968})-1)/(-0,174968).$

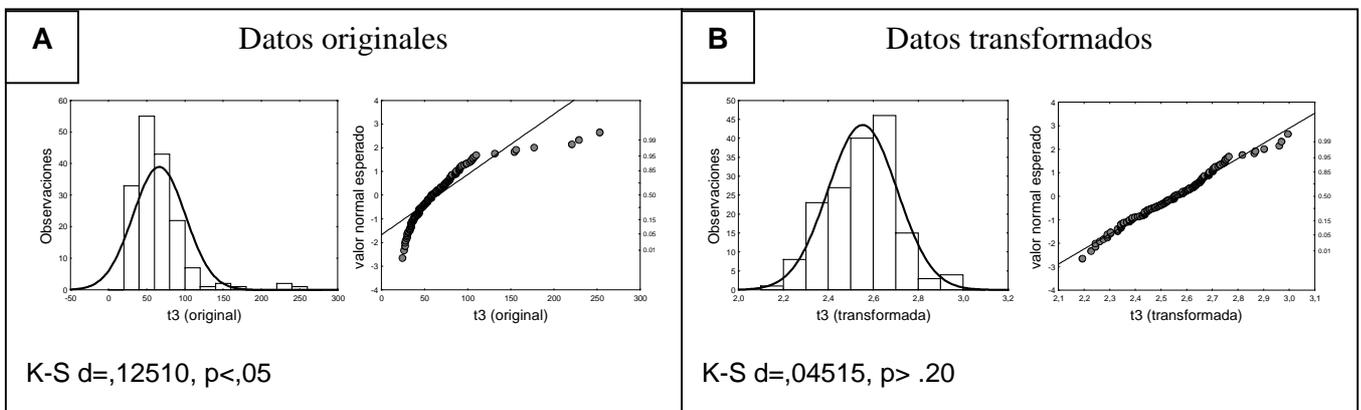
Fig. 6.2. Normalidad para el tiempo del ensayo 2 (t2).



$\lambda = -0,092804$

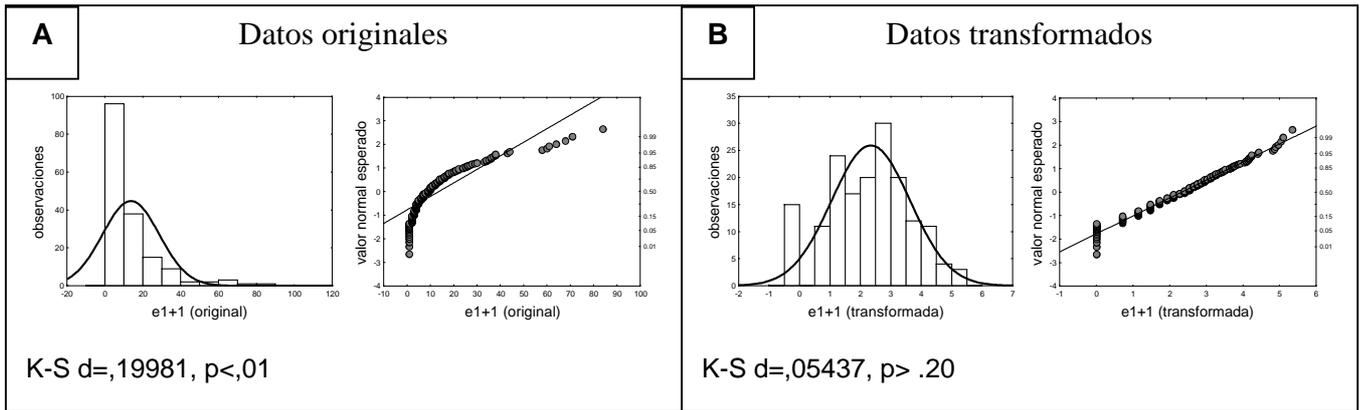
Fórmula de transformación Box-Cox: $((t2_i^{-0,092804})-1)/(-0,092804).$

Fig. 6.3. Normalidad para el tiempo del ensayo 3 (t3).



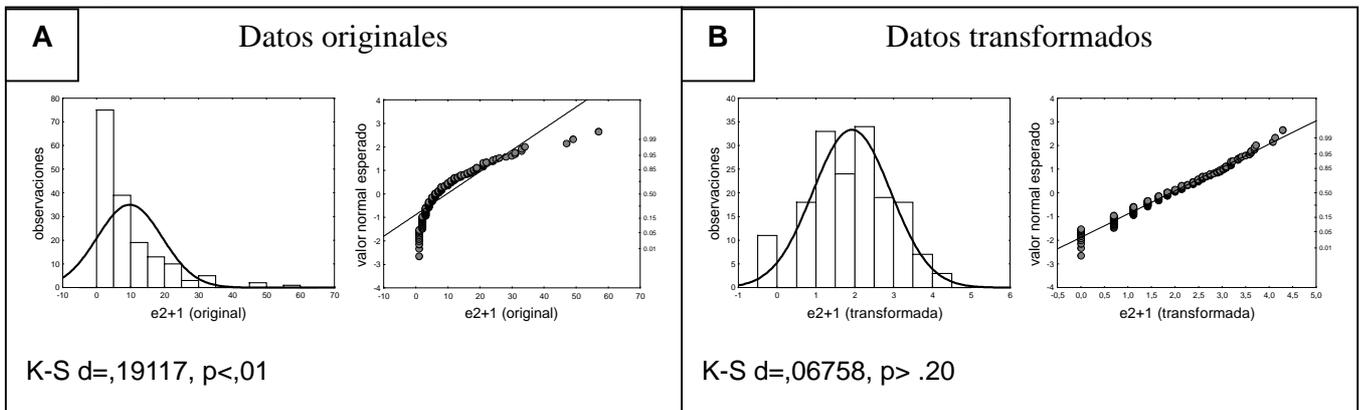
$\lambda = -0,250285$

Fórmula de transformación Box-Cox: $((t3_i^{-0,250285})-1)/(-0,250285).$

Fig. 6.4. Normalidad para los errores del ensayo 1 (**e1**).

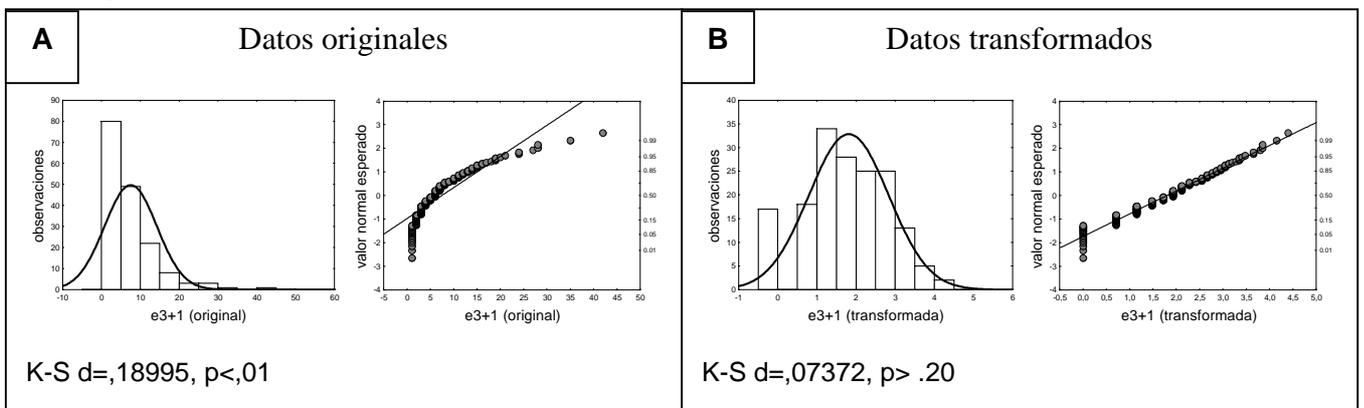
$$\lambda = 0,082179$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((e1^{0,082179})-1)/(0,082179).$$

Fig. 6.5. Normalidad para los errores del ensayo 2 (**e2**).

$$\lambda = 0,029755$$

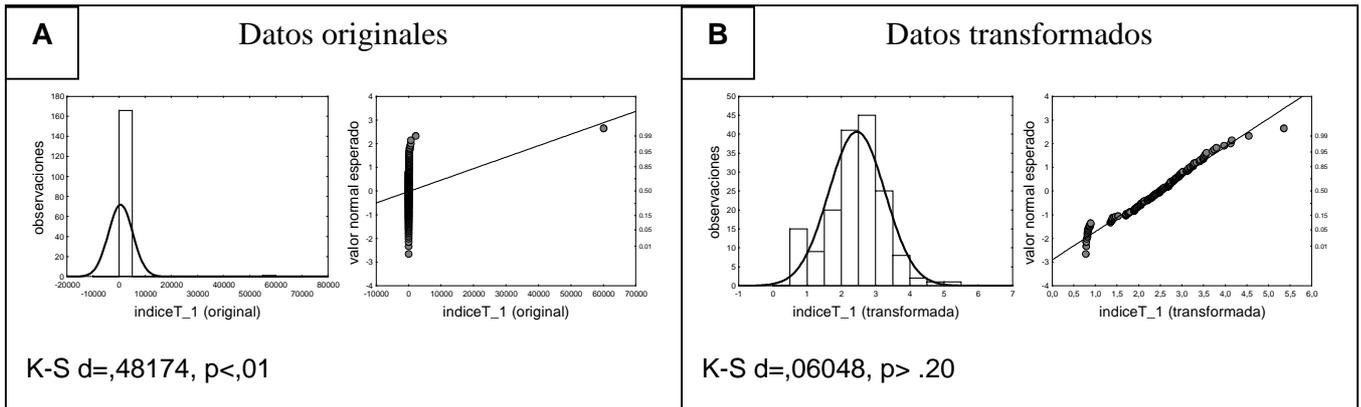
$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((e2^{0,029755})-1)/(0,029755).$$

Fig. 6.6. Normalidad para los errores del ensayo 3 (**e3**).

$$\lambda = 0,084894$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((e3^{0,084894})-1)/(0,084894).$$

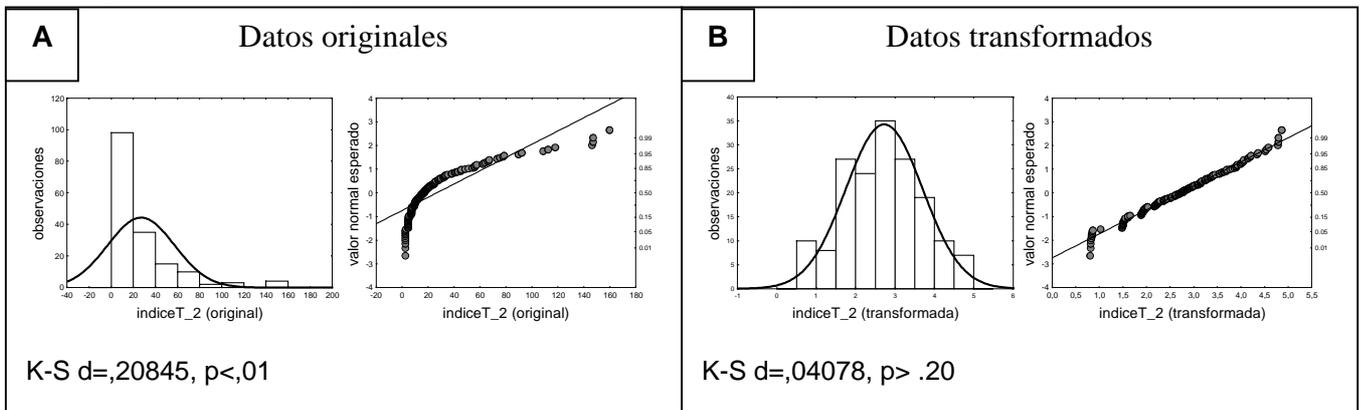
Fig. 6.7. Normalidad para el Índice_T del ensayo 1 (It1).



$$\lambda = -0,151617$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((It1^{\lambda} - 1) / \lambda)$$

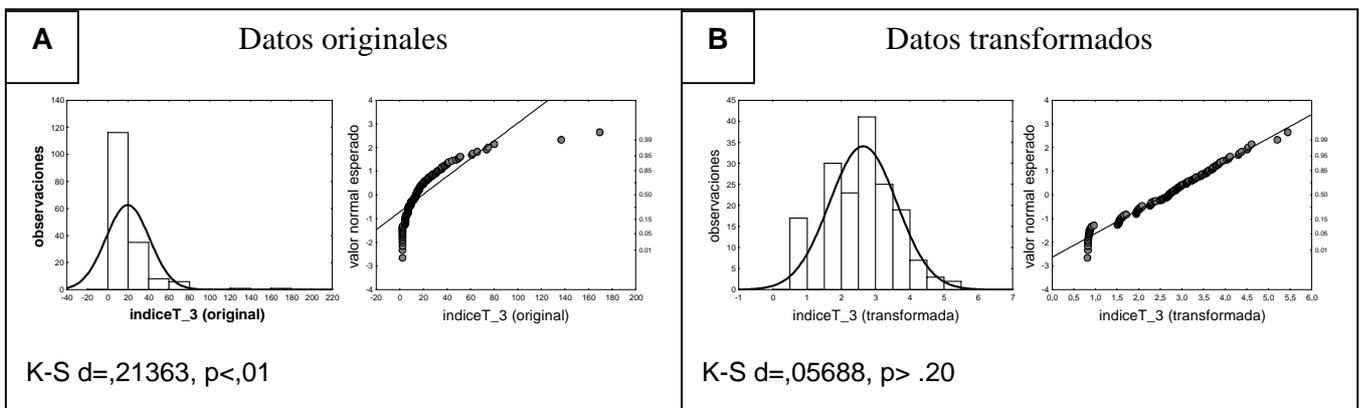
Fig. 6.8. Normalidad para el Índice_T del ensayo 2 (It2).



$$\lambda = -0,016630$$

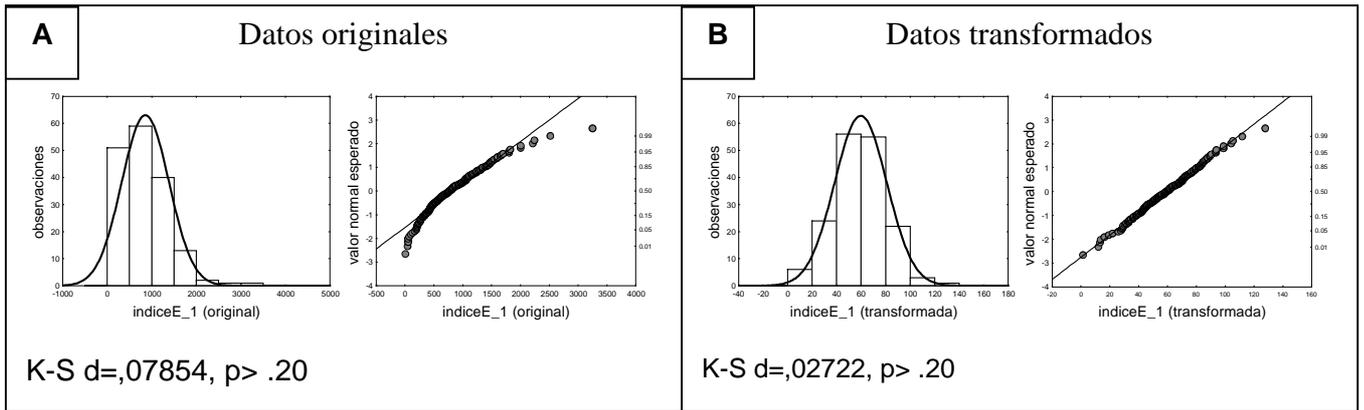
$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((It2^{\lambda} - 1) / \lambda)$$

Fig. 6.9. Normalidad para el Índice_T del ensayo 3 (It3)



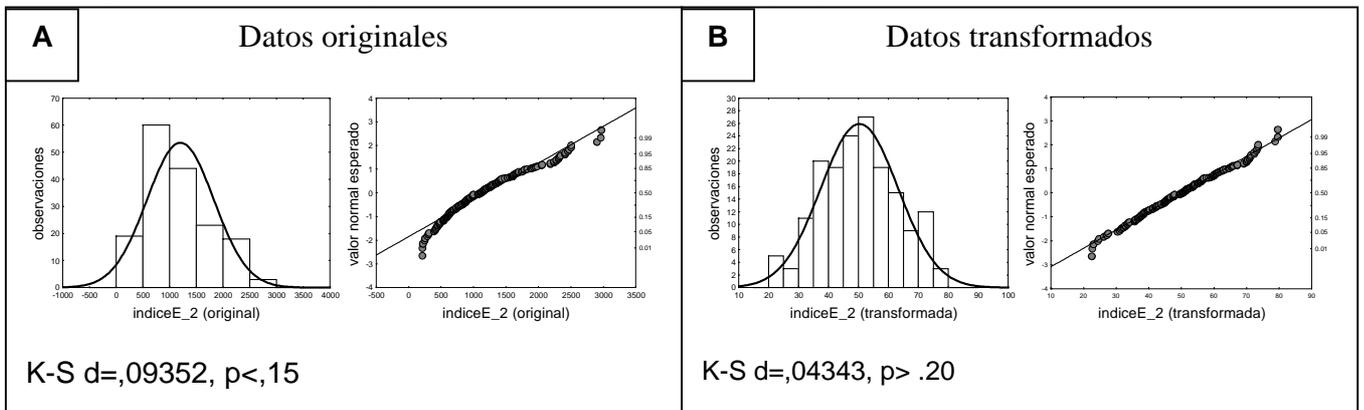
$$\lambda = 0,022256$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((It3^{\lambda} - 1) / \lambda)$$

Fig. 6.10. Normalidad para el Índice_E del ensayo 1 (Ie_1).

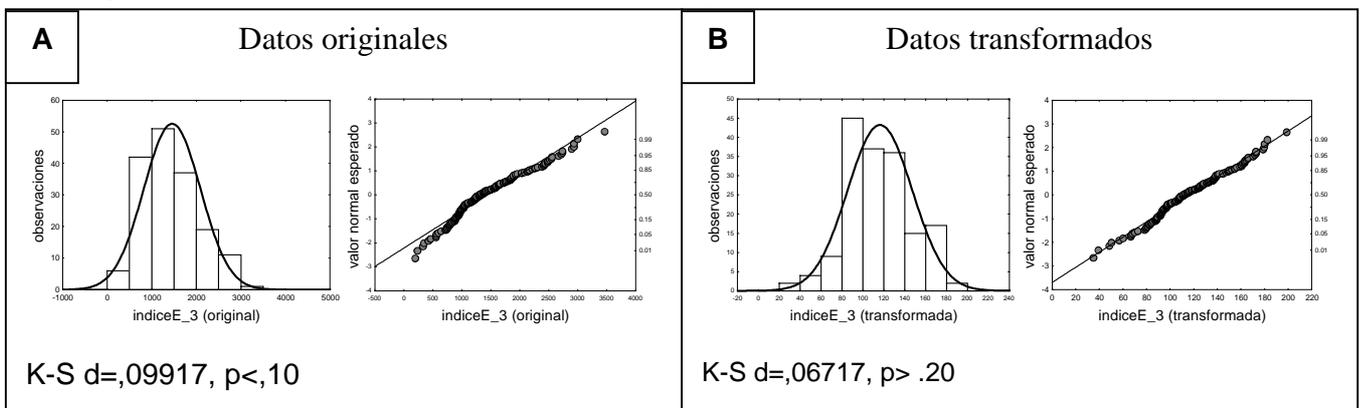
$$\lambda = 0,521097$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((Ie_1^{i^{0,521097}}) - 1) / (0,521097).$$

Fig. 6.11. Normalidad para el Índice_E del ensayo 2 (Ie_2).

$$\lambda = 0,451511$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((Ie_2^{i^{0,451511}}) - 1) / (0,451511).$$

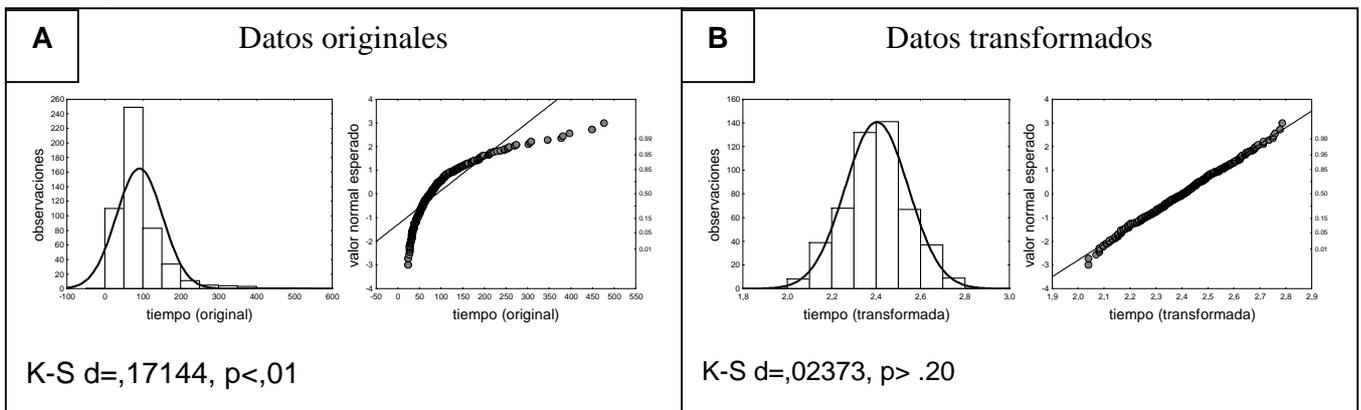
Fig. 6.12. Normalidad para el Índice_E del ensayo 3 (Ie_3).

$$\lambda = 0,584344$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((Ie_3^{i^{0,584344}}) - 1) / (0,584344).$$

6.2.2. Normalidad segundo arreglo.

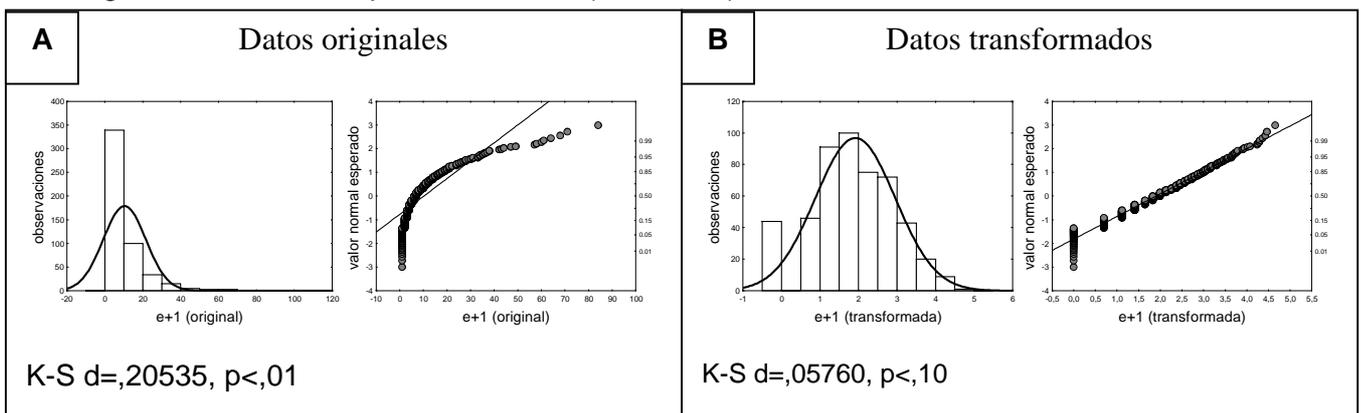
Fig. 6.13. Normalidad para el tiempo (t1, t2, t3).



$\lambda = -0,303690$

Fórmula de transformación Box-Cox: $((t_i^{-0,303690}) - 1) / (-0,303690)$.

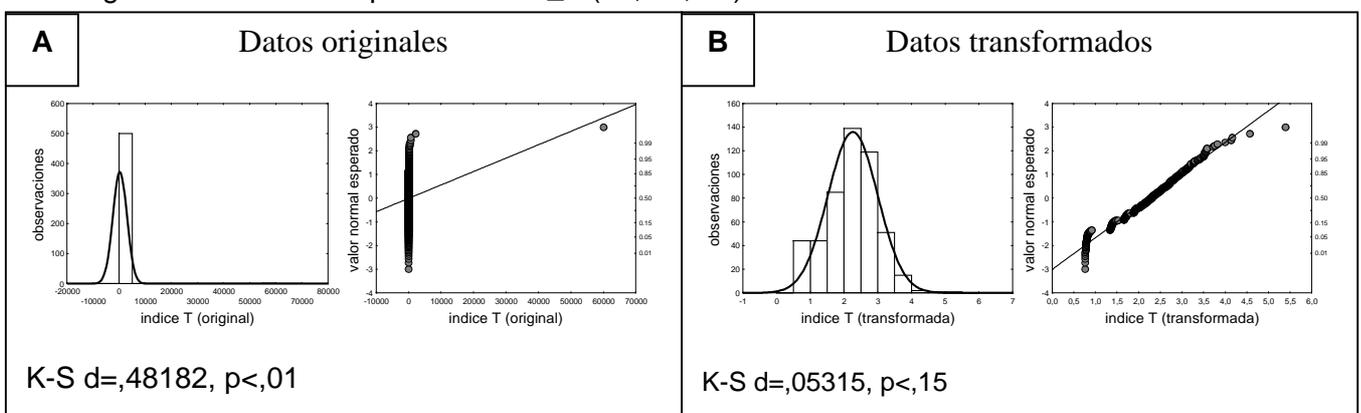
Fig. 6.14. Normalidad para los errores (e1, e2, e3).



$\lambda = 0,021668$

Fórmula de transformación Box-Cox: $((e_i^{0,021668}) - 1) / (0,021668)$.

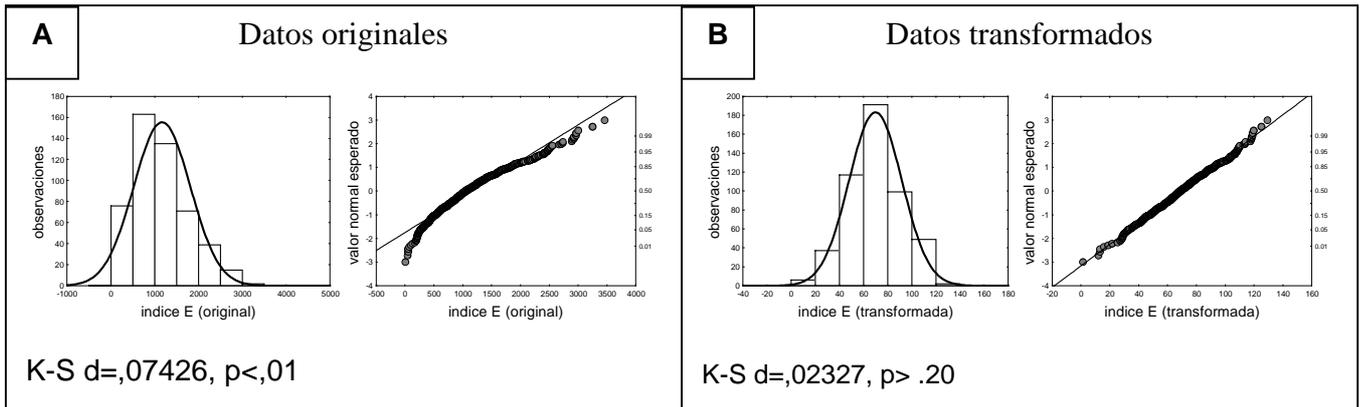
Fig. 6.15. Normalidad para el Indiec_T (It1, It2, It3).



$\lambda = -0,149751$

Fórmula de transformación Box-Cox: $((I_{e_i}^{-0,149751}) - 1) / (-0,149751)$.

Fig. 6.16. Normalidad para el Índice_E (Ie1, Ie2, Ie3).



$$\lambda = 0,517490$$

$$\text{Fórmula de transformación Box-Cox: } ((Ie_i^{(0,517490)}) - 1) / (0,517490).$$

Como se observa en las gráficas la transformación de Box-Cox generó una mejor aproximación a una distribución normal de los datos, por lo que para el análisis estadístico se tomaron los datos transformados para las variables dependientes (*tiempo*, *errores*, *índice_T* e *índice_E*). Con el fin de evaluar los efectos de ensayo, grupo, sexo y mano, se pensó en un modelo 3X7X2X2 para un análisis de varianza múltiple (MANOVA). Sin embargo, debido a que no se contó con datos de la ejecución con mano izquierda para los hombres del grupo 7, este análisis no pudo efectuarse. Se optó entonces por realizar las comparaciones de cada variable independiente por separado, mediante tres MANOVA's de medidas repetidas, con lo que se obtuvieron las siguientes comparaciones: ensayo por grupo (3x7), ensayo por sexo (3x2) y ensayo por mano (3x2). Finalmente se realizaron tres ANOVA's, uno para los factores grupo, sexo y mano por separado sin tomar en cuenta el factor ensayo.

6.3. Efecto de la práctica sobre la ejecución de la tarea.

Para analizar el efecto del ensayo sobre la ejecución se realizó un ANOVA de medidas repetidas, para cada una de las cuatro variables independientes, con la finalidad de detectar el efecto de aprendizaje en la tarea, así mismo se realizaron pruebas Post Hoc con la prueba de Tukey.

Los resultados del ANOVA indicaron un efecto del ensayo sobre todas las variables dependientes. Mostrando un efecto estadísticamente significativo sobre la variable *tiempo* ($F(2, 332)=1828.68, p<0.05$) con una diferencia significativa para los tres ensayos ($p=0.000022$); ensayo 1 contra ensayo 2, ensayo 1 contra ensayo 3 y ensayo 2 contra ensayo 3. Efecto sobre la variable *errores* ($F(2, 332)=36.9255, p<0.05$), con una diferencia significativa ($p=0.000022$) para las comparaciones Post Hoc del ensayo 1 contra ensayo 2 y del ensayo 1 contra el ensayo 3, pero no para la comparación del

ensayo 2 contra el ensayo 3 ($p=0.204406$). Efecto sobre la variable *Índice_T* ($F(2, 332)=12.792, p<0.05$), con una diferencia significativa para las comparaciones Post Hoc del ensayo 1 contra ensayo 2 ($p=0.000023$) y del ensayo 1 contra el ensayo 3 ($p=0.002553$), pero no para la comparación del ensayo 2 contra el ensayo 3 ($p=0.229564$). Y un efecto estadísticamente significativo sobre la variable *Índice_E* ($F(2, 332)=974.770, p<0.05$) con una diferencia significativa para los tres ensayos ($p=0.000022$); ensayo 1 contra ensayo 2, ensayo 1 contra ensayo 3 y ensayo 2 contra ensayo 3.

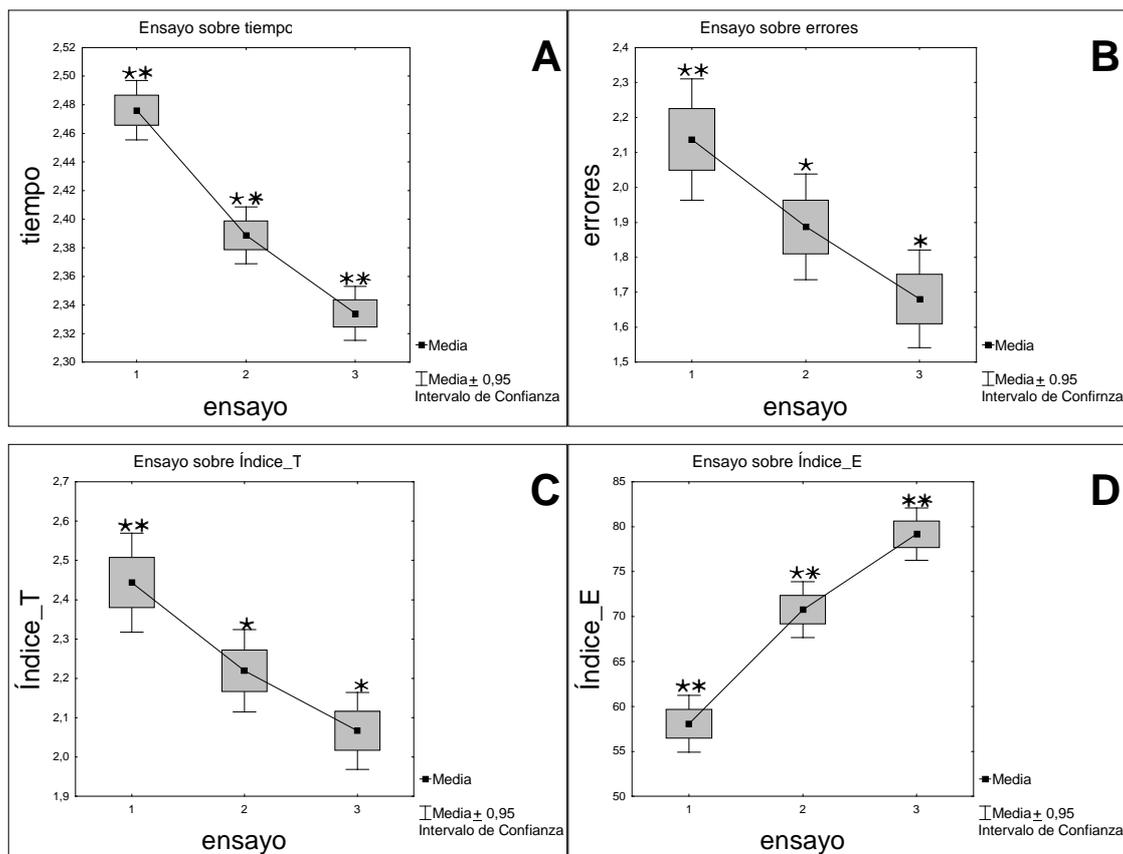


Fig. 6.17. Se muestran los efectos del factor ensayo (1,2,3) sobre cada una de las cuatro variables dependientes; A) *tiempo*; B) *Errores*; C) *Índice_T*; D) *Índice_E*.

El análisis de la interacción del ensayo para las variables categóricas (grupo, mano y sexo) con MANOVA de medidas repetidas mostró que se mantuvo el efecto del ensayo sobre todas las variables, sin interacciones entre sí: sobre la variable dependiente *tiempo*, efecto del grupo ($F(6, 160)=0.96, p>0.05$); de la mano ($F(1, 165)=0.11, p>0.05$), del sexo ($F(1, 165)=1.84, p>0.05$), de las interacciones ensayo contra grupo ($F(12, 320)=0.62, p>0.05$), ensayo contra mano ($F(2, 330)=0.09, p>0.05$) y ensayo contra sexo ($F(2, 330)=2.24, p>0.05$); sobre la variable *errores*, efecto del grupo ($F(6, 160)=1.2130, p>0.05$), de la mano ($F(1, 165)=0.1367, p>0.05$), del sexo

($F(1, 165)=0.4962$, $p>0.05$), de las interacciones ensayo contra grupo ($F(12, 320)=0.6671$, $p>0.05$), ensayo contra mano ($F(2, 330)=2.3480$, $p>0.05$) y ensayo contra sexo ($F(2, 330)=2.4713$, $p>0.05$); sobre la variable *Índice_T*, efecto del grupo ($F(6, 160)=1.000$, $p>0.05$), de la mano ($F(1, 165)=0.209$, $p>0.05$), del sexo ($F(1, 165)=0.388$, $p>0.05$), de las interacciones ensayo contra grupo ($F(12, 320)=0.771$, $p>0.05$), ensayo contra mano ($F(2, 330)=2.856$, $p>0.05$) y ensayo contra sexo ($F(2, 330)=2.274$, $p>0.05$); sobre la variable *Índice_E*, efecto del grupo ($F(6, 160)=1.105$, $p>0.05$), de la mano ($F(1, 165)=0.321$, $p>0.05$), del sexo ($F(1, 165)=1.925$, $p>0.05$), de las interacciones ensayo contra grupo ($F(12, 320)=1.506$, $p>0.05$), ensayo contra mano ($F(2, 330)=0.465$, $p>0.05$) y ensayo contra sexo ($F(2, 330)=1.274$, $p>0.05$).

6.4. Evaluación del efecto de la cinemática, del efector y del sexo sobre la ejecución de la tarea.

Con la finalidad de evaluar el efecto de los factores grupo al que pertenecían los participantes (video sin modelado, video con modelado 0°, video con modelado 90° a la derecha, video con modelado 90° a la izquierda, video con modelado 180°, sin video y sin video / sin calentamiento), mano con la que realizaban la tarea (derecha o izquierda) y sexo de los participantes (hombre o mujer), independientemente de los ensayos en los que se realizó la tarea, se realizaron análisis de varianza de una sola vía para cada factor.

6.4.1. Efecto de la cinemática (*grupo*).

El ANOVA indicó un efecto estadísticamente significativo del grupo asignado a los participantes sobre las variables *errores* ($F(6, 494)=2.911$, $p<0.05$), con diferencias significativas para los contrastes Post Hoc entre los grupos 3 (modelado 180°) contra el grupo 1 (video sin modelado) ($p=0.02942$) y entre el grupo 3 contra el grupo 6 (sin video) ($p=0.039052$), y sobre la variable dependiente *Índice_T* ($F(6, 494)=2.277$, $p<0.05$), con diferencias entre los grupos 1 y el grupo 3 ($p=0.024058$). Por otra parte, no existieron efectos estadísticos de este factor sobre las variables dependientes *tiempo* ($F(6, 494)=1.9$, $p>0.05$) e *Índice_E* ($F(6, 494)=1.772$, $p>0.05$).

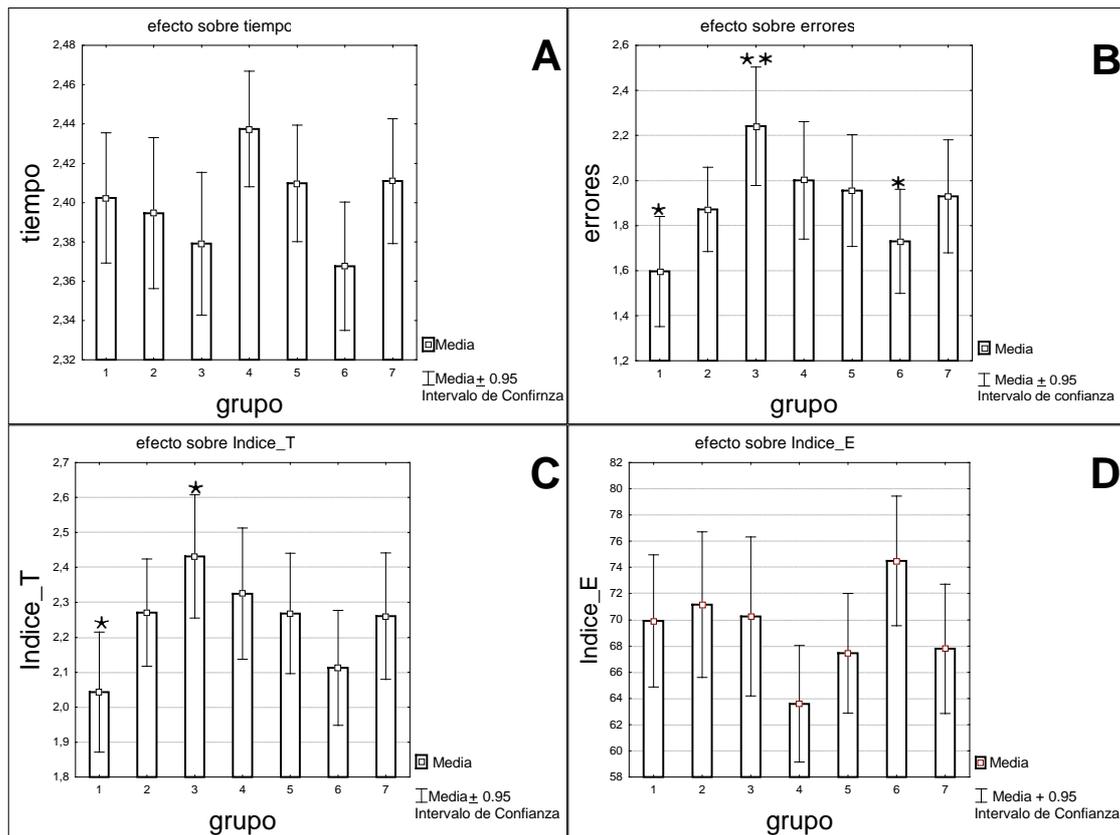


Fig. 6.20. Se muestran los efectos del factor grupo (1,2,3,4,5,6,7) sobre cada una de las cuatro variables dependientes; A) *tiempo*; B) *Errores*; C) *Índice_T*; D) *Índice_E*.

El análisis de la interacción de factor grupo con el factor mano mostró que se mantuvo el efecto del grupo sin interacciones entre si: sobre la variable *tiempo* ($F(6, 487)=1.6, p>0.05$); sobre la variable *errores* ($F(6, 487)=1.956, p>0.05$); sobre la variable *Índice_T* ($F(6, 487)=1.989, p>0.05$); sobre la variable *Índice_E* ($F(6, 487)=1.511, p>0.05$).

6.4.2. Efecto del efector (*mano*).

Se realizó un ANOVA de una sola vía para evaluar el efecto de la variable mano sobre las variables dependientes. Para este factor, no existió efecto significativo sobre ninguna de las variables: *tiempo* ($F(1, 499)=0.2, p>0.05$), *errores* ($F(1, 499)=0.319, p>0.05$), *Índice_T* ($F(1, 499)=0.541, p>0.05$) e *Índice_E* ($F(1, 499)=0.268, p>0.05$).

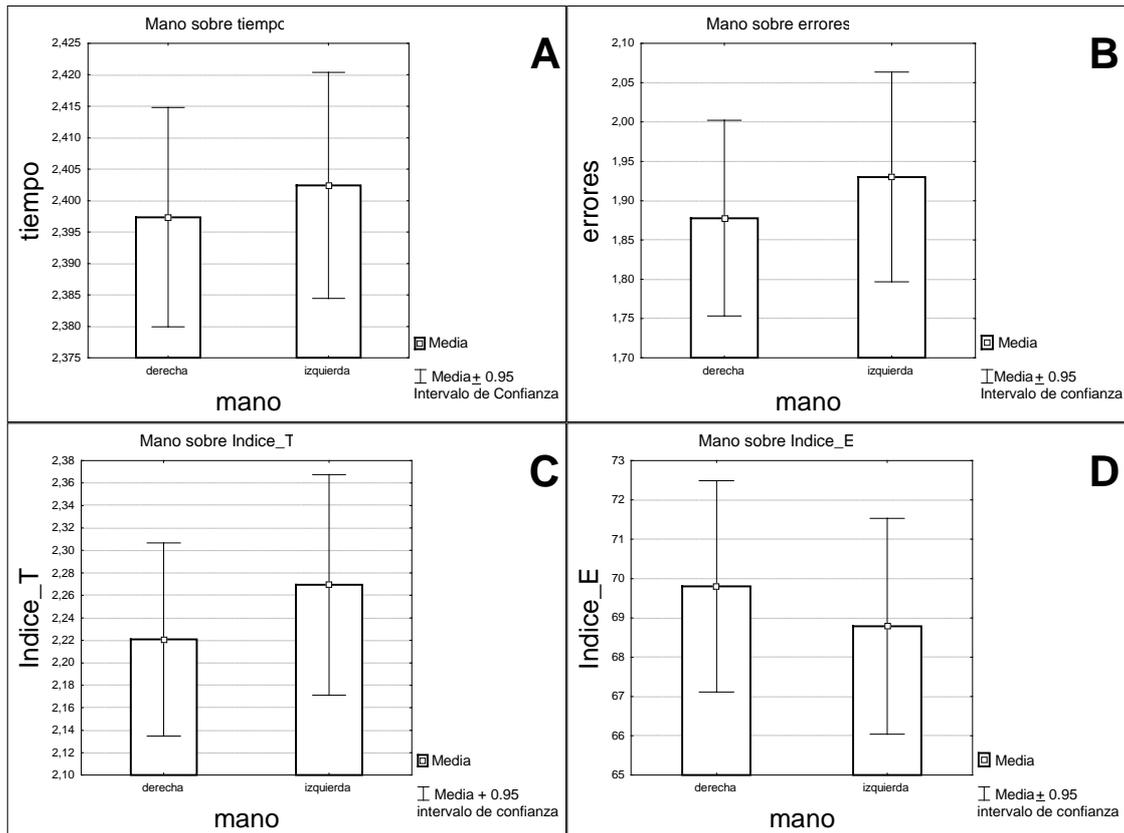


Fig. 6.21. Se muestran los efectos del factor mano (derecha, izquierda) sobre cada una de las cuatro variables dependientes; A) *tiempo*; B) *Errores*; C) *Índice_T*; D) *Índice_E*.

6.4.3. Efecto del sexo.

Finalmente se realizó un ANOVA de una sola vía para evaluar el efecto de la variable sexo sobre las variables independientes. Para este factor, existieron efectos significativos sobre las variables dependientes, *tiempo* ($F(1, 499)=5.0$, $p<0.05$) e *Índice_E* ($F(1, 499)=6.284$, $p<0.05$), pero no hubo efectos significativos sobre las variables *errores* ($F(1, 499)=1.126$, $p>0.05$) e *Índice_T* ($F(1, 499)=1.312$, $p>0.05$).

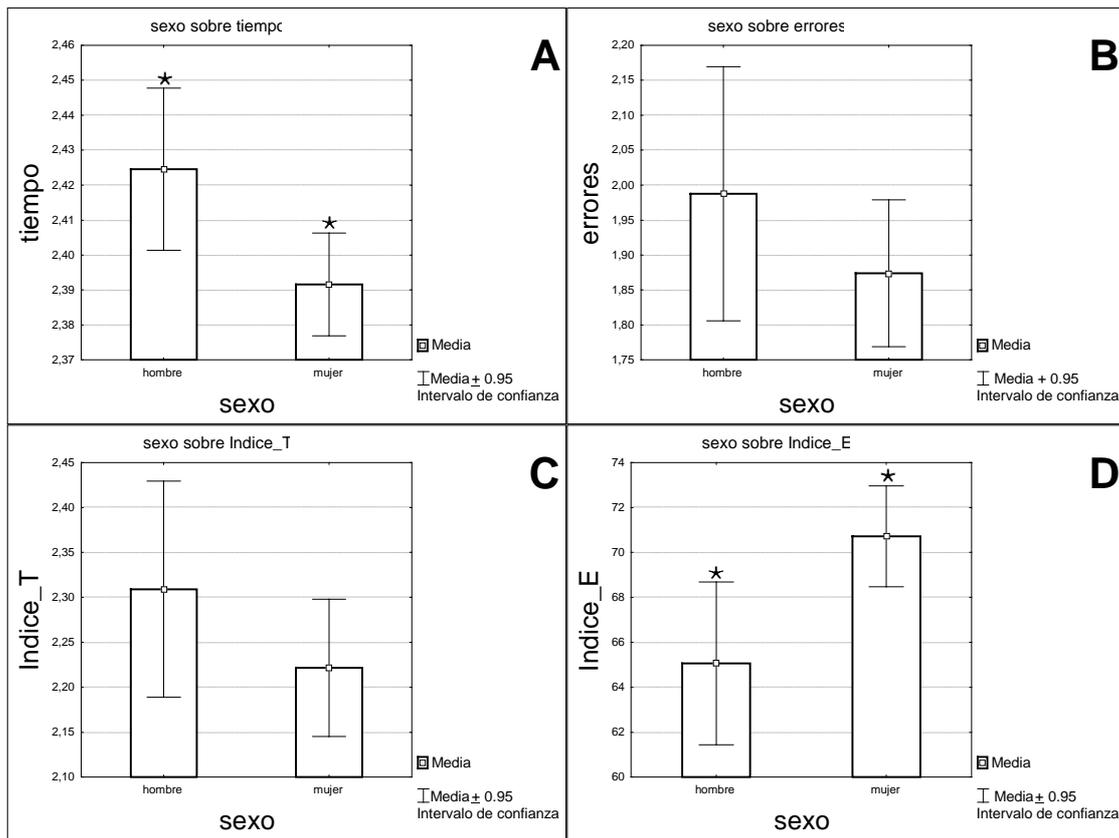


Fig. 6.21. Se muestran los efectos del factor sexo (hombre, mujer) sobre cada una de las cuatro variables dependientes; A) tiempo; B) Errores; C) Índice_T; D) Índice_E.

Capítulo 7. Discusión.

El presente trabajo tuvo dos objetivos generales: 1) mostrar evidencia sobre la viabilidad de un modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación, reflejado a través de la capacidad del sistema para descomponer la acción en sus elementos más sencillos como es el caso de la cinemática, que para el caso de esta investigación se ve a partir del análisis de los factores afecto (mano) y modelado (grupo); y 2) un objetivo de carácter metodológico consistente en mostrar la conveniencia de emplear el ponderador propuesto para el análisis de la interacción velocidad / precisión en la ejecución de la tarea de trazado de la estrella, esperando que el índice de ejecución fuese un buen descriptor de la interacción entre velocidad y precisión para la tarea de trazado de la estrella a través del espejo. Un objetivo adicional de este trabajo fue comprobar el efecto del sexo de los participantes sobre la ejecución de la tarea, esperando una mejor ejecución entre los hombres.

Empezaremos por discutir los resultados en torno al segundo objetivo.

7.1. Problema de la interacción velocidad / precisión, aportaciones e implicaciones del empleo del ponderador.

En primer lugar se analizaron las implicaciones del seguir tomando las mediciones simples de *tiempo* y *errores*, así como el empleo de los índices de ejecución para generar medidas cuantitativas de las ejecuciones de la tarea del trazado de la estrella a través del espejo. Un análisis por separado del número de errores y del tiempo que tomó realizar la tarea implica el riesgo de caer en interpretaciones vagas sobre la eficiencia general de la ejecución, ya que los resultados de las mediciones de tiempo y precisión se enmascaran entre sí. El análisis empírico mostró que no se presenta una relación directa de una variable sobre la otra, puesto que el hecho de realizar con mayor velocidad la ejecución de la tarea no generó directamente menor precisión o viceversa, sino por el contrario esta velocidad es a su vez el resultado del margen de precisión de quien ejecuta la tarea, que a su vez incidió sobre la velocidad de manera no causal, esto quiere decir que finalmente la velocidad y la precisión con que se realizó la tarea interactuaron, lo cual no se puede observar considerando únicamente las mediciones en bruto.

Bajo tales elementos se tomaron a las mediciones de tiempo y errores como indicadores de su dimensión (velocidad y precisión respectivamente), pero estas mismas mediciones no pudieron emplearse como indicadores de la calidad o eficiencia global de la ejecución ya que no daban una ponderación directa de cuál ejecución fue

mejor o peor en comparación con otra. Entonces se hizo indispensable calcular los índices de ejecución.

Sin embargo, lo ocurrido dentro de los índices generó otro problema. Puesto que estas medidas sólo proporcionaban índices de ejecución y no modelaron la ejecución, generando una ponderación arbitraria de la calidad con la que se realizó la tarea a partir de la forma en que se comportaron los factores de velocidad y precisión. Los índices con los que se trabajó en la presente tesis fueron el índice tiempo fijo (*Índice_T*) y el índice error fijo (*Índice_E*), en cada uno de los cuales se fijó una de las dos dimensiones (velocidad y precisión respectivamente), lo que permitió determinar un punto a partir del cual se calificó cuantitativamente la tarea, así, la variabilidad de la dimensión no fija resultó en la mayor parte de los cambios en los índices, debido a que esta variable restante podía alcanzar valores relativamente más elevados (del cero al infinito) en comparación con la variable fijada que se delimitaba en la investigación por un valor máximo (de cero hasta llegar al valor máximo de la dimensión correspondiente). De este modo, se obtuvieron indicadores de la ejecución global que ponderaron un valor único sobre ambas dimensionalidades. Pero, esta ponderación no permitía dar cuenta de las variables por separado (velocidad y precisión), además de que implicaba un sesgo hacia una de las dos dimensiones.

Dado este contexto de análisis se determinó la conveniencia de emplear las cuatro mediciones (*tiempo*, *errores*, *Índice_T* e *Índice_E*) para el análisis de los datos obteniendo así un indicador para la velocidad (*tiempo*), un indicador para la precisión (*errores*) y dos indicadores de la eficiencia global de la ejecución (*Índice_T* e *Índice_E*). El hecho de que las medidas de eficiencia presentaran sesgos relativos a una de las dos mediciones iniciales (*tiempo* y *errores*) no demeritó su empleo, pero si nos obligó a cuidar la interpretación de cada uno de ellos como un reflejo de una relación específica donde el peso mayor estaba dado sobre el elemento no “fijado”.

Es importante indicar que, estos índices generados a partir del análisis inicial de nuestros datos dieron la posibilidad de cuantificar las ejecuciones de la tarea de un modo sustentado teóricamente, ya que hasta el momento de la elaboración del presente escrito, la literatura relacionada con la tarea del trazado de la estrella a través del espejo solamente centraba en el análisis por separado de errores y tiempos. Es esencial entonces puntualizar que los índices propuestos a partir de nuestra investigación se comportaron como lo indica la teoría, ya que tiempo y errores más elevados produjeron índices menos eficientes y viceversa, pero con la ganancia de que nos permitieron una interpretación global de la eficiencia en la ejecución de la tarea.

Sin embargo, aun resta la tarea de elaborar un índice que permita relacionar las medidas tiempo y errores evitando el sesgo hacia una de las dos medidas. Si bien el presente trabajo aporta una primera aproximación a un índice que pondera la calidad de la ejecución, aún falta elaborar un modelo de la ejecución de la tarea (no de su cuantificación) que conjuntamente con el índice de eficiencia propuesto, permita predecir la eficiencia en la ejecución de la misma, lo cual queda como objetivo para futuras investigaciones.

Una vez aclarada la naturaleza de las mediciones e índices en el presente trabajo, se analizarán los efectos de los factores ensayo, grupo, mano y sexo sobre dichos índices.

7.2. Sobre la naturaleza activa y supramodal del proceso de imitación: efectos de práctica, cinemática, sexo y efector.

El primer objetivo que ocupó a esta investigación fue determinar la existencia de elementos empíricos que sustentaran la viabilidad del modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación propuesto. De modo que resulto indispensable evaluar si hubo un proceso de aprendizaje de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo. La diferencia estadísticamente significativa entre las medias de ejecución para todas las variables dependientes a través de los ensayos, mostró dicho efecto, el cual se mantuvo tanto para las medidas simples como para los índices de ejecución, indicando una mayor velocidad, precisión y eficiencia general en la ejecución de la tarea, a lo largo de los tres ensayos. Puesto que el efecto de este factor no mostró interacción estadística con el resto de los factores, este efecto de aprendizaje se explica principalmente por la práctica. Así pues los datos mostraron un efecto del aprendizaje sobre la ejecución de la tarea, lo que sustenta el concepto de "imitación verdadera" citado en la literatura (Buccino et al., 2004; Melo et al., 2007). Entonces, la ejecución adecuada de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo como imitación verdadera implica la integración funcional de un conjunto de sistema más allá de los inmediatamente relacionados a la correspondencia directa en la imitación, como es el caso del MNS.

Por otro lado, el análisis de las mediciones sin tomar en cuenta el efecto de la práctica, mostró un efecto del modelado la acción (factor *grupo*), y del sexo de los participantes. De inmediato surge la pregunta de cuál es la razón de que estos efectos se observen cuando se elimina estadísticamente el factor ensayo. Una posible explicación al respecto es que el ensayo es en sí el mejor predictor del aprendizaje de la tarea, aunque si se mantiene un efecto constante a través de los ensayos de las otras variables, cuya magnitud por sí misma no afecta el aprendizaje de la tarea. Pero

resulta poco viable considerar a fondo el efecto del sexo, dada la diferencia entre el número de participantes hombres y mujeres dentro de la muestra, este problema se retomará más adelante.

Estrictamente hablando, tanto la presencia del modelado como la orientación de la acción modelada no generan efectos sobre el aprendizaje de la tarea, lo cual se observa por la ausencia de significancia estadística cuando se incluye en el análisis estadístico el factor ensayo. Así pues, los efectos del modelado (*grupo*) no ocurren sobre el aprendizaje de la tarea, más bien se manifiestan sobre la eficiencia en la ejecución de la misma, así como en la precisión con la que se realizó, lo cual se reflejó directamente en el efecto estadísticamente significativo sobre las mediciones de *errores* y del *Índice_T*, respectivamente.

Para el caso de la precisión en la ejecución (*errores*) las diferencias intra grupos estuvieron determinadas por el grupo 3 (en el se mostró a los participantes un modelado con una rotación de 180° con respecto a la perspectiva del observador, la cual es similar a una perspectiva de tercera persona), al compararlo contra los grupos 1 y 6 (en los cuales no se presentó modelado de la tarea). Estas diferencias muestran que la perspectiva del modelado más alejada (180°) a la de la perspectiva con la que el agente que ejecuta la tarea está familiarizado durante sus propias ejecuciones (0°) genera diferencias en la precisión de la ejecución de la tarea con respecto a las ejecuciones en la que no se observó modelado alguno. Las medias de ejecución del grupo 3 son las más altas, lo que indica que presentó el mayor número de errores promedio, lo cual implica que las características cinemáticas con que se modeló la tarea para este grupo parecen impactar al sistema entorpeciendo la precisión de la ejecución, es decir un modelado con una perspectiva que corresponde a la tercera persona con respecto al agente hace más imprecisa la ejecución de la tarea. Es importante aclarar que este modelado no tuvo una diferencia estadísticamente significativa con respecto al resto de los grupos con modelado, pero la media de éste en general sí es más alta.

Los efectos sobre la eficiencia general fijando el tiempo (*Índice_T*) fueron similares a los observados para la precisión (*errores*), lo cual no es sorprendente dado que este índice se encuentra determinado con mayor fuerza por la precisión. Aún así, esto indica que el efecto del grupo se mantiene sobre la eficiencia global de la tarea, de modo que el grupo 3 continúa presentando las medias más elevadas, pero en este caso únicamente al ser comparadas contra el grupo 1, lo cual concuerda con el hecho de que la información cinemática de esta perspectiva es la que conduce a ejecuciones menos eficientes.

El hecho de que este efecto se presente sobre las mediciones de precisión (*errores*) y de eficiencia fijando tiempo (*Índice_T*) y no en las mediciones de velocidad (*tiempo*) ni de eficiencia fijando errores (*Índice_E*), puede explicarse por el hecho de que la cinemática se encuentra directamente implicada en los sistemas de control motor relacionados con las demandas de precisión de la tarea, la cual involucra la posición de los contornos de la estrella en el espacio, los cuales fungen como límites, así como la dirección del trazado, siendo determinantes de la cantidad de errores que se cometen en la tarea y por ende de la precisión de la acción. Por el contrario, la velocidad de la tarea parece estar más asociada a los sistemas de control relacionados con la dinámica de la misma. De ahí la importancia de haber empleado la tarea de trazado de la estrella a través del espejo y descomponerla para su análisis en las medidas de velocidad, precisión y eficiencia, que permitieron el análisis de los elementos estructurales del movimiento así como de las transformaciones sensoriomotoras durante el aprendizaje por imitación de una acción compleja.

Estos resultados son un indicio de que las características en la cinemática de la acción observada son empleadas e interpretadas por el sistema que estructurará las características cinemáticas del comando motor para la realización de la acción generada. Es justo por esta razón que no se observan efectos en la velocidad ni en la precisión asociada al tiempo, pues es la dinámica la característica de la acción que se asocia con estas variables, ya que la dinámica de la acción implica fuerza, velocidad y viscosidad del ambiente, pero estas características no se evaluaron experimentalmente en el presente trabajo. En investigaciones futuras, en donde se varíen las velocidades o viscosidades del ambiente con las que se modela la tarea, probablemente se observarán efectos en la velocidad con la que se realiza la tarea.

El hecho de que la precisión y velocidad reflejen de forma distinta la variación en las características cinemáticas y dinámicas de la acción, respectivamente, implica que estas características de la acción son codificadas y procesadas en paralelo por sistemas diferentes, además de que el procesamiento sensorial de la acción durante el aprendizaje por imitación involucra el desglose de la acción en sus características cinemáticas y dinámicas por separado, y que a su vez estos elementos serán reintegrados por separado en el comando motor para la acción a partir de la información sensorial presentada en el modelado.

Si bien el modelado influyó en la precisión y eficiencia de la ejecución, aún no está claro su peso en el aprendizaje por imitación de esta tarea, ya que si bien no existe efecto significativo por la presencia o no de modelado sobre el aprendizaje, tampoco queda claro si el número de presentaciones fue el adecuado para generar o no efectos en el sistema, esta pregunta requiere de la realización de investigación enfocada en

los efectos del número de presentación de los estímulos, por el momento sólo se puede decir que para cinco presentaciones de modelado no hubo efecto en el aprendizaje para cualquiera de las perspectivas.

De este modo, la práctica de los participantes parece enmascarar el efecto del modelado, pero no queda clara la naturaleza de este enmascaramiento. Una explicación posible es que el efecto del modelado está presente en la misma magnitud en los tres ensayos, es decir, el modelado afecta constantemente toda la ejecución pero no interfiere directamente con el aprendizaje de la tarea, aunque sí modifica la precisión con la que se realiza la tarea en cada uno de los ensayos, por lo que permite determinar el grado de precisión de esta ejecución. En resumen, parece que la tarea se aprende por la práctica de la misma pero su modelado afecta a la precisión y eficiencia con la que se ejecuta.

Tanto el efecto del modelado como su enmascaramiento por el efecto de la práctica indican que el sistema que procesa la información, extrae las características sensoriales de los movimientos (cinemática y dinámica) que conforman la tarea a partir de la observación del modelado de la misma y, dependiendo de las características sensoriales extraídas, el sistema conforma el nuevo comando motor para la acción, la que en este caso resulta novedosa para el observador que la pondrá en práctica por primera vez. Ahora bien, durante la práctica de la tarea intervienen otros sistemas de control y retroalimentación dentro del plano de lo motor, los cuales permiten una mejor adaptación a los requerimientos de la tarea que la información sensorial de inicio adquirida por la observación del modelo. Del mismo modo, estos sistemas de control motor estarían encargados de la transformación de la información sensorial (de la acción observada) al comando motor y, una vez comenzada la ejecución del comando motor durante la práctica, estos mismos sistemas actualizarían el comando previamente elaborado a partir de la información sensorial con información proveniente de la experiencia del imitador mientras ejecuta la tarea. Así pues, la información proveniente de la ejecución del sujeto proporciona a quien ejecuta la acción más elementos que la información visual del modelado, por ejemplo, retroalimentación visual y somatosensorial de su propia ejecución: información sobre experiencias previas en tareas similares, etc., es decir la información del sistema se caracteriza por encontrarse "orientada" hacia quien ejecuta la tarea en ese momento, el imitador no es una tabula rasa que aprende de *novus* toda la acción por más novedosa que esta sea, antes bien posee un sistema que incorpora la nueva información y la acomoda de acuerdo a la información previa que ya posee, por lo que el mayor peso de la ejecución recae en esta información proveniente del imitador más que en la información del modelo, lo que podría interpretarse como que el aprendizaje

por imitación es un proceso activo que no finaliza en la salida del comando motor durante la ejecución inicial, extendiéndose a lo largo de la consolidación de éste mediante la práctica.

Otro factor que parece haber afectado los resultados de la ejecución de la tarea, además del modelado fue el sexo del ejecutante de la acción, de modo que se observaron diferencias significativas sobre dos de las mediciones: velocidad y eficiencia basada en tiempo (*Índice_E*). Se observó que el promedio de velocidad de ejecución en el grupo de las mujeres fue menor, indicando una ejecución más rápida. Esto concuerda con una mejor eficiencia en la ejecución puesto que el *Índice_E* para las mujeres fue mayor en comparación con el de los hombres, recordemos que en el caso de este índice una media más alta implica una mejor ejecución. Ciertamente este resultado es controversial y es difícil de explicar pues no existe una literatura amplia sobre tareas de trazado a través del espejo y el efecto del sexo del participante, inclusive en la escasa literatura existente se muestran los resultados son contradictorios (Roig y Placakis, 1992; Jonson, 2004; O'Boyle y Hoff, 1987), adicionalmente es difícil establecer conclusiones generales puesto que los criterios de la ejecución y las características de la tarea varían entre investigaciones.

Sin embargo, nuestros resultados concuerdan por los obtenidos por O'Boyle y Off (1987), quienes encontraron una velocidad mayor en la ejecución de mujeres. En un estudio posterior, estos mismos autores (O'Boyle et al., 1995) plantean que la ventaja en el sexo femenino podría explicarse por un mejor control durante tareas que requieren precisión y que, al anular el factor motor, transformando la tarea en una prueba de rotación mental, los hombres aventajan a las mujeres en la ejecución.

Ahora bien, nuestros resultados no concuerdan con este planteamiento, al no arrojar efecto significativo en cuanto a la precisión con la que realizaron la tarea mujeres y hombres, solamente se observó diferencia en la eficiencia general. Por otra parte, debido a la metodología empleada en varios de estos estudios, es difícil determinar si las diferencias encontradas fueron producto de las diferencias de género o podrían atribuirse a otros factores (Schmidt y Lee, 2005). En el caso del presente trabajo de investigación, el sexo no parece haber influido en la capacidad de aprendizaje de la tarea, únicamente intervino en la velocidad con la que se ejecutó ésta.

No obstante, es difícil generar afirmaciones a partir del presente experimento en lo referente al sexo, debido a que la N de los participantes no se distribuyó equivalentemente para el sexo, pues la cantidad de participantes hombres en la muestra fue menor que la de mujeres, por lo que sería conveniente continuar con el desarrollo de investigaciones donde se analicen los efectos del sexo sobre la

cinemática en la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo, en muestras de hombres y mujeres iguales.

Por otro lado, el hecho de que no se presentará ningún efecto estadísticamente significativo de la mano con la que se realizó la tarea tiene implicaciones en la forma que se procesa la información durante este proceso de práctica y aprendizaje. Haciendo una recapitulación de los factores y controles experimentales relevantes para esta variable se observa que: a) todos los participantes fueron diestros; b) la mitad de ellos ejecutaron sus tres ensayos con la mano derecha y la otra mitad con la mano izquierda; c) la dirección del trazado correspondía a la mano con la que se trazaba, es decir el trazado con la mano izquierda se realizaba hacia la izquierda y viceversa; d) cuando el grupo al que fueron asignados incluía modelado de la tarea, el modelado en todos los casos se realizó presentándolo con la mano derecha; e) todos los ejercicios de calentamiento fueron realizados con la mano derecha. Bajo estas condiciones y con base en la evidencia empírica previa existían dos hipótesis: por un lado, que hubieran diferencias en la ejecución de la tarea entre el grupo que realizó la tarea con la mano derecha y quienes la ejecutaron con la mano izquierda; o bien que no existiera diferencia alguna entre estas dos condiciones. A pesar de la aparente simplicidad de las hipótesis, la comprobación de una de ellas conlleva a implicaciones teóricas heterogéneas con respecto a la otra. Para la primera hipótesis, si se hubiesen observado diferencias significativas entre efectores, podría deducirse que la imitación no se centra en el objetivo final de la ejecución modelada, sino en las características de los movimientos de la acción así como en el efector con el que se realiza dicha acción, de este modo, puesto que el modelado ocurrió con la mano derecha, pudiera haberse esperado una ventaja significativa del modelado sobre alguna de las tres mediciones (precisión, velocidad y eficiencia) en aquellos participantes que ejecutaron la tarea con la mano derecha, por tratarse del mismo efector que el presentado en el modelado. Así, el efecto dado por la correspondencia entre efectores implicaría una relación vertical y directa entre la percepción de un efector durante la observación de una acción y el comando motor necesario para realizar la acción. Adicionalmente, podría plantearse que, durante la transformación sensoriomotora, la formación del comando motor se asignaría directamente a un solo efector, de tal modo que para realizar la misma acción con el efector contralateral sería necesario formar un nuevo comando motor asociado a este nuevo efector, pues si bien este último efector es simétrico al primero, no es el mismo para el que se formó el comando motor inicial durante la observación, por lo que no sería posible una asignación eficiente de este comando motor.

Por su parte, la hipótesis nula asociada al efecto de la mano sobre la ejecución tiene varias implicaciones teóricas. En primera instancia, nuestros resultados indican que no hubo efecto de la mano con la que se realizó la tarea, lo cual es difícil de explicar a partir de un modelo de asociación directa y vertical. Pese a esta dificultad, dentro de este mismo modelo podría emplearse el efecto de la transferencia del aprendizaje (un proceso al que suele recurrirse para explicar el efecto del aprendizaje en este tipo de tareas) para fundamentar la ausencia de diferencias. Así, la transferencia del aprendizaje indicaría que el comando motor formado a partir de la correspondencia con un efector y aprendido para este, es transferido hacia el otro efector mediante la práctica (Perez et al., 2008). Sin embargo, en nuestro contexto metodológico no es posible sostener esta afirmación, ya que la ejecución con mano derecha o izquierda no ocurrió en el mismo grupo, por el contrario, quienes realizaron la tarea con la mano no dominante (izquierda) no tuvieron una práctica previa del trazado de la estrella con la mano derecha. Por lo tanto, no había información previa de la ejecución para que ocurriera la transferencia. Así mismo, los datos no indican evidencia alguna de transferencia por los ensayos de calentamiento, pues si bien el calentamiento se realizó con la mano derecha, el análisis estadístico mostró que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la ejecución de la tarea cuando se evaluó la interacción de los factores efector (mano derecha e izquierda) y modelado (grupos 1,2,3,4,5,6,7). Incluso, cuando se comparó esta interacción para el grupo sin calentamiento (grupo 7 control), esta ausencia de efecto se mantuvo.

Dado este contexto teórico de análisis, es necesario abordar este resultado a partir de otros modelos teóricos. De este modo, partiendo de un modelo centrado en objetivos (GOADI, Wohlschläger et al., 2003) estos resultados se pueden explicar porque durante el modelado, el sistema de procesamiento de la información de quien observa la acción se centra en el objetivo final de la ejecución modelada y no en las características de los movimientos que conforman la acción. Ahora bien, es cierto que los resultados de esta investigación no mostraron consecuencia alguna en relación con el efector con el que se realizaba la acción (mano derecha o izquierda), si existe un efecto de la cinemática del modelado sobre la precisión en la ejecución y, dado que para todas las perspectivas modeladas el objetivo era el mismo, se puede interpretar que las características del movimiento (cinemáticas en este caso) son analizadas por el sistema, por lo que no se pasan por alto los componentes estructurales de la acción por centrarse en los objetivos finales de la misma. Así, es posible descartar el planteamiento de que durante la percepción del modelado el sistema se centra únicamente en el resultado final y no en los elementos que conforman la acción modelada. Por lo tanto, la explicación debe considerar otros

niveles del procesamiento de la información más allá del proceso inicial de la ponderación atencional.

Así pues, estos resultados pueden explicarse partiendo de dos enfoques teóricos no excluyentes, uno referente a la dirección en la que se centran los sistemas de control motor durante la ejecución de la acción y el segundo basado en la naturaleza del comando motor para la acción recientemente aprendida. Desde el primer enfoque teórico, la ausencia de diferencias significativas entre efectores se explicaría porque el control de la acción se centra en el cuerpo de quien realiza la acción, de modo que el control de las acciones no se centra en los objetos con los que se interactúa, sino más bien en la información proveniente del cuerpo de quien ejecuta la acción que, a su vez se va reduciendo a la información pertinente a los efectores específicos que intervienen de manera directa en la acción. Por ejemplo, si la acción que se realiza es levantar una taza con los pies, los sistemas de control motor no se centran en la taza, sino en los pies y demás articulaciones que intervienen en esta acción. De este modo podemos inferir que durante la ejecución de la tarea del trazado de la estrella a través del espejo, el control de la acción se centra en el efector (mano derecha o izquierda) con el que se realiza esta y, como se mencionó anteriormente, es la información proveniente del sujeto la que determina el aprendizaje de la tarea, más que la proveniente del modelado, fortaleciendo así nuestra interpretación del aprendizaje por imitación como un proceso activo.

Adicionalmente, puesto que no es suficiente explicar sobre qué efector se está centrando el comando motor, es necesario indagar en la naturaleza de dicho comando. Así, nuestros resultados podrían explicarse por el hecho de que el comando motor formado a partir de la observación de un modelado de mano derecha se encuentra formado y codificado de modo que no se asocia de manera vertical y directa a un efector y que tampoco se almacena exclusivamente para este, sino más bien se encuentra almacenado y formado en una modalidad que permite que este comando sea empleado para más de un efector. Por lo tanto, en esta investigación dado que la metodología implicó un periodo de práctica y aprendizaje, el comando motor pudo desarrollarse libremente para cualquiera de los dos efectores de manera equitativa. Si bien, en la literatura científica si se ha observado que existe una actividad con mayor intensidad en los músculos y en las áreas corticales asociadas al efector correspondiente al que se está observando (Edwards et al., 2003; Maeda et al., 2002), esto no excluye la posibilidad de que el comando motor no se encuentre disponible para otro efector, más bien implica que se emplea información correspondiente al efector que se observa en el modelado de la acción para formar el comando motor. Sin embargo este comando final podría almacenarse de manera que se asocie a

cualquiera de los efectores simétricos (mano derecha o izquierda), ya que estos cuentan con las mismas relaciones de ángulos y grados de libertad del movimiento, lo que posibilitaría que el comando motor se asigne fácilmente a cualquiera de ambos miembros, lo que indicaría una relación no vertical ni directa entre el comando y el efector.

Así, durante la observación de la acción quien la ejecutará estaría tomando en cuenta información asociada a los efectores implicados en lo observado. Sin embargo, esta información no se emplea de manera directa para la formación del comando motor, más bien implica que pasa por un proceso de análisis y reestructuración por los sistemas de control motor, que le permiten adaptarla a los requerimientos de la ejecución durante la práctica.

Finalmente esto no afectaría el aprendizaje, ni la eficiencia ni la velocidad, que parecen estar determinadas por otros factores, más bien reafirmaría el planteamiento que durante la ejecución de la acción el comando motor se ejecuta y actualiza a partir del efector con el que se está realizando en ese instante la acción, más que con el efector asociado a la acción observada. Ahora bien, la comprobación de esta hipótesis requeriría el diseño de nueva investigación en la cual el modelado ocurriera tanto con la mano derecha como con la izquierda o con otros efectores, así como en distintas tareas que varíen el grado de dificultad.

7.3. Reconceptualizando la función espejo.

Todos estos resultados plantean la necesidad de una reconceptualización del papel de los sistemas neuronales involucrados en el procesamiento de la acción dentro de un modelo teórico que incluya todos los niveles de análisis de la información, desde la entrada sensorial hasta la ejecución de la acción. Para este fin, es necesario partir desde el plano del funcionamiento de las unidades que forman parte de estos sistemas neuronales para así entender su funcionamiento dentro de un circuito completo de procesamiento de la información. En la actualidad el sistema de neuronas espejo es considerado en general como el sistema neuronal donde se gesta el proceso de la imitación, así mismo su actividad se ha relacionado con diversas actividades y procesos humanos (Kohler et al., 2002; Rizzolatti, y Craighero, 2007; Gallese y Goldman, 1998). Sin embargo, los estudios de este sistema realizados en humanos sólo han podido reflejar la activación de áreas o grupos neuronales específicos. Sin embargo, la afirmación de la existencia de un MNS en esta especie está condicionada a la existencia neuronas espejo, es decir el hecho de que un área cortical se active con la presencia de una persona ejecutando una acción y cuando se realiza esta, no es condición suficiente para que sea un sistema de neuronas espejo, ya que lo que

define a este sistema, es la presencia probada de la neurona espejo como tal. Estas neuronas poseen ciertas características que las identifican como tales, de modo que una neurona espejo es aquella en la que se registra actividad cuando el organismo observa una acción siendo ejecutada por otro y que, a su vez, se activa cuando el organismo que observó la acción la ejecuta posteriormente (Gallese et al., 1996; Di Pellegrino et al., 1992, Rizzolatti et al., 1996; en Rizzolatti y Craighero, 2004) así pues sólo aquellas neuronas que presentan esta doble funcionalidad, visual y motora, son consideradas neuronas espejo, de modo que cualquier otra neurona que solamente reaccione ya sea a lo visual o a la ejecución motora, no puede ser considerada como tal (Morin y Grèzes, 2008). Por lo tanto, es posible plantear que más que hablar de neuronas espejo, es necesario referirse a una propiedad espejo en estas neuronas, definida como la capacidad de presentar actividad para la acción conformada por dos propiedades, una propiedad perceptual y otra propiedad motora, entonces el termino espejo haría referencia a la propiedad en sí y no a la neurona como tal.

Es importante enfatizar que la actividad de estas neuronas se ha localizado en áreas relacionadas con el control de acciones, corteza premotora ventral y en el lóbulo parietal inferior, áreas que presentan una amplia participación en la planeación y estructuración del comando motor (Binkofski et al., 1999,1999-2-; Davare et al., 2006). Pero, el hecho de que estas neuronas se localicen en áreas relacionadas al control motor, no es lo que resulta relevante, sino el hecho de que presentan funciones relacionadas al control motor así como una participación en el aprendizaje por imitación, lo cual nos lleva a cuestionar la funcionalidad del MNS más allá del papel de las neuronas espejo, llevándolo al plano de su participación en el control y aprendizaje motor en general.

Así pues, resulta que las neuronas que forman parte del sistema espejo participan en el procesamiento de información relevante para la acción, tanto en la planeación, ejecución y predicción, y esta información puede provenir de diversas fuentes sensoriales. Si bien la propiedad espejo ha sido determinada por la integración visomotora de la acción más que por la integración de información sensorial de otras modalidades al comando motor, como puede ser la información sensorial auditiva (Kohler et al., 2002), esto no quiere decir que la función espejo se circunscriba únicamente a estos dos sistemas perceptuales, por lo que resultaría interés investigar si existe propiedad espejo en neuronas que reciban información somatosensorial o de otro tipo, lo que permitiría conceptualizar a la función espejo como multimodal, como se ha observado para el caso de neuronas audio-viso-motoras (Keysers et al., 2003). Por lo tanto, de acuerdo a esta perspectiva sería posible replantear a la función de estas neuronas como integradora de la información necesaria para la acción, antes y

durante su ejecución, aunque resulta altamente relevante su capacidad para responder ante acciones de otros seres vivos, y en específico con mayor intensidad ante acciones humanas, lo que nos lleva a plantear la pregunta sobre qué genera esta representación de la “acción humana” de manera diferencial en la codificación de la información, cuestión que es necesario abordar a partir de diversos experimentos y un enfoque teórico específico a este problema, más allá de la mera respuesta cortical, proporcionando un lugar a la respuesta de otras estructuras cerebrales.

Entonces, si la propiedad espejo hace referencia a la capacidad de integrar información multimodal para la generación de la acción, a partir de la percepción de otro organismo, quizás sea posible encontrar otros grupos de neuronas con esta propiedad, los cuales puedan estar asociados a otra información sensorial y a otro ámbito del control de la acción misma, ya que parece que fue una suerte el que las neuronas espejo hayan sido descubiertas primero en la corteza frontal inferior (Gallese et al., 1996).

Siendo más ambiciosos y extrapolando la propiedad espejo a otros niveles del procesamiento de la acción, tal vez sea posible asociar esta propiedad a contextos no estrictamente motores, donde los sistemas respondan de forma similar.

A pesar de la participación significativa del MNS en el proceso de imitación y control de acciones en general, su mera actividad y características parecen no resolver diversos problemas teóricos al respecto de la propia imitación (Hickok, 2008), como ya se mencionó anteriormente. Por lo tanto se requiere de la presencia de otros sistemas además del MSN, los cuales procesen información complementaria a la igualación visomotora, a fin de dar cuenta del funcionamiento del sistema de imitación de acciones. Entonces, de acuerdo con lo planteado por Gazzola y Keysers,(2009) y Miall (2003), el presente trabajo propone una reestructuración del entendimiento del proceso de imitación, donde se integren de manera específica y acorde a su papel diversas estructuras más allá del MNS, encargadas de otros subprocesos que complementen a la imitación, tales como aquellos que generan las transformaciones sensoriomotoras para la descomposición y reestructuración del movimiento en la acción, así como de los encargados de dirigir la atención en estos componentes estructurales, de guiar la conducta imitativa y de retroalimentar a los sistemas de control durante la ejecución de la acción.

7.4. Sobre la viabilidad del modelo y las interpretaciones finales del proceso de aprendizaje por imitación.

Si bien, para lograr establecer una veracidad funcional de nuestro modelo sensoriomotor de aprendizaje de acciones por imitación, es necesario realizar diversos

experimentos complementarios que corroboren específicamente la función de los diferentes niveles del modelo, a partir de los datos obtenidos con la presente investigación es posible establecer la viabilidad de este modelo en los niveles de la transformación sensoriomotora, de la entrada de información sensorial y de la reestructuración de los comandos motores que hacen posible la adecuación de la acción observada durante la ejecución (ver figura 3.1), lo cual se logra a partir de tres resultados claves obtenidos: primero, la evidencia empírica de que la información extraída a partir de la observación del modelo es desmembrada en sus características estructurales más simples; segundo, la estructuración de la información codificada parece representarse de manera supramodal, por lo que este “código” se encuentra disponible para ambas manos de ahí que no se observe diferencia significativa en los resultados de la ejecución; y finalmente, la práctica es el factor fundamental para la consolidación del aprendizaje de la acción, lo que se puede traducir en la facilitación de la estructuración del comando motor para la acción.

Si bien tradicionalmente las teorías de imitación le atribuyen un enorme peso explicativo al sistema de neuronas espejo, particularmente en lo correspondiente a la capacidad visomotora directa del sistema, nuestra postura es contraria a la correspondencia visomotora directa y favorable a la codificación y transformación sensoriomotora de la acción. Lo anterior debido a que una postura teórica centrada en la correspondencia visomotora y en la igualación directa, presupone que toda aquella actividad neuronal que no participe directamente en esta correspondencia queda excluida de la explicación sobre cómo procesa la información el sistema, sobre todo cuando el procesamiento parece estar dirigido por la intervención armoniosa en distintos momentos de diversos módulos neuronales. Cabe señalar que no es lo mismo hacer referencia a una correspondencia visomotora que a una transformación visomotora, si bien se ha postulado que es posible generar asociaciones de lo sensorial a lo motor a partir de distintas modalidades sensoriales, la discusión no es si la información va de lo visual a lo motora o no, sino la naturaleza del proceso como una correspondencia directa o como una transformación supramodal. Así la correspondencia directa y unidireccional de las neuronas espejo se muestra insuficiente para explicar y resolver problemas asociados al aprendizaje de acciones, más allá de la igualación de la conducta. El entendimiento de que son acciones y no movimientos lo que se imita, conduce a postular que el eje principal del aprendizaje por imitación es en si la reestructuración de primitivas motoras, pero, ¿esta reestructuración queda consolidada en un comando motor único y fijo, asociado a la acción recientemente aprendida?, con base en nuestros resultados podemos asumir que no. Es decir, si bien los sistemas de control y aprendizaje motor, asumen la

reestructuración de primitivas como un medio para solventar el problema de la alta dimensionalidad, ello resultaría en un problema de interpretación, pues podría entenderse que para cada reestructuración debe generarse un nuevo comando que integra estas primitivas, entonces debería tenerse un código para cada reestructuración posible de primitivas, lo cual resulta poco parsimonioso pues se requeriría que después de la reestructuración en este primer nivel, el sistema debería contar con un sistema infinito de almacenamiento en el siguiente nivel y así sucesivamente. Antes bien, debe entenderse a esta reintegración de primitivas como la capacidad para generar una facilitación motora a partir de la información sensorial obtenida mediante el modelado y fortalecida, más que consolidada, a través de la práctica. Cuando se observa el desempeño de un individuo a lo largo de diversos ensayos, generalmente y aún cuando aparentemente la tarea ya ha sido aprendida, es posible observar altas y bajas en la eficiencia de los ensayos, este efecto se puede atribuir al ruido y decaimiento de las señales en los comandos motores. Sin embargo, otra posible explicación compatible con la anterior es que, adicionalmente a este ruido, no existe como tal un comando motor asociado a la acción, más bien existen claves sensoriomotoras para la reintegración de las primitivas y son las relaciones entre estas claves las que se fortalecen, por lo que cada ejecución resulta ligeramente diferente una de otra, aún cuando aparentemente el aprendizaje ya está consolidado, lo que convierte a la práctica en el eje fundamental de esta facilitación en la ruta neuronal de análisis de la información.

Capítulo 8. Conclusiones.

El análisis de los resultados de presente investigación con base en la evidencia empírica y teórica proporcionada por la literatura existente, nos permiten plantear que el aprendizaje de acciones por imitación se puede entender como un aprendizaje que involucra muchos más elementos que la mera copia de la conducta observada. Asimismo, consideramos que el aprendizaje por imitación se convierte en medio para aproximarnos a la comprensión del funcionamiento de los sistemas encargados de la integración y reestructuración de información sensorial y motora durante el aprendizaje de acciones. En este contexto teórico y dados los resultados obtenidos en esta investigación es posible concluir que:

- No es suficiente analizar la ejecución de una tarea como la del trazado de la estrella a través del espejo a partir de el análisis por separado de las medidas de velocidad (tiempo de ejecución) y precisión (número de errores cometidos).
- La ponderación mediante la función desarrollada que evalúa la interacción entre velocidad y precisión proporciona un marco para cualificar al aprendizaje de la acción, con lo que se obtiene información importante para el análisis diferencial de algunos de los factores que inciden en la ejecución de una acción.
- La práctica fue el mejor predictor del aprendizaje de una acción, aún en el contexto del aprendizaje por imitación, en comparación con el efecto de la cinemática y del miembro con el que se ejecuta.
- La información cinemática no fue suficiente para que quien ejecutó la tarea generara cambios en su sistema de control de aprendizaje de acciones, pero sí incidió de manera importante en la calidad de las ejecuciones durante el aprendizaje por imitación.
- Un mapeo directo de la acción observada al comando motor correspondiente resulta poco plausible, pues si bien existe una correspondencia visomotora mostrada por el MNS, el análisis específico de esta característica no es capaz de responder eficientemente ante la capacidad adaptativa del proceso de imitación. De modo que la imitación más bien involucra un proceso donde la acción observada es analizada y descompuesta en los elementos estructurales

que la conforman, tales como la cinemática. Dado que la mera correspondencia visomotora es incapaz de dar cuenta de este proceso de análisis sin caer en un problema de alta dimensionalidad, este proceso se encontraría regulado por el sistema de control de acciones, que llevaría a cabo la formación de los comandos motores.

- Los comandos motores se encuentran representados de modo que puedan ser empleados de manera igual para ambos efectores, lo cual da elementos para entender al sistema que representa esta información como un sistema de baja dimensionalidad.
- El aprendizaje por imitación involucra la puesta en práctica de los comandos motores desarrollados a partir de la observación, esto genera la reestructuración de estos comandos de acuerdo al agente que ejecuta la acción garantizando así, el aprendizaje.
- El aprendizaje por imitación requiere de subsistemas complementarios, adicionales al sistema de neuronas espejo, que le permitan generar y actualizar a los comandos motores durante la consolidación del aprendizaje en la práctica.
- El aprendizaje por imitación se entiende como un proceso activo y supramodal, donde el análisis de los componentes estructurales del movimiento son el eje principal de su desarrollo.

Con todo lo anterior es posible proponer que un modelo sensoriomotor de aprendizaje por imitación como el propuesto en esta tesis, es viable dado los efectos de la transformación cinemática sobre la formación del comando motor durante el aprendizaje por imitación. Finalmente, puesto que este trabajo proporciona evidencia empírica de una posible representación supramodal no sujeta a un miembro corporal específico durante el aprendizaje de la tarea, puede entenderse como un elemento de sustento adicional para esta propuesta.

El estudio del aprendizaje por imitación a partir de la integración de elementos de análisis del control y estructuración del movimiento en la acción, proporciona un marco conceptual a partir del cual se amplía el entendimiento del proceso imitativo, el cual en última instancia puede reatualimentar al análisis del aprendizaje y control motor, a

través de las herramientas y conceptos teórico metodológicos circundantes al proceso imitativo.

Referencias:

1. Alkadhi, h.; Crelier, G.; Boendermaker, S.; Golay, X.; Hepp-Reymond, M.-C. y Kollias, S. (2002) Reproducibility of primary motor cortex somatotopy under controlled conditions. *American Journal of Neuroradiology*, 23:1524–1532.
2. Astafiev, S.; Stanley, C.; Shulman, G. y Corbetta, M. (2004) Extrastriate body area in human occipital cortex responds to the performance of motor actions. *Nature Neuroscience*, 7 (5): 542-548.
3. Avikainen, S.; Forss, N. y Hari, R. (2002) Modulated activation of the human SI and SII cortices during observation of hand actions. *Neuroimage*, 15: 640–646.
4. Balslev, D.; Christensen, L.; Lee, J.-H.; Law, I.; Paulson, O. y Miall, R. (2004) Enhanced accuracy in novel mirror drawing after repetitive transcranial magnetic stimulation-induced proprioceptive deafferentation. *The Journal of Neuroscience*, 24 (43): 9698 –9702.
5. Baumann, M.; Fluet, M.-C. y Scherberger, H. (2009) Context-specific grasp movement representation in the macaque anterior intraparietal area. *The Journal of Neuroscience*, 29 (20): 6436–6448.
6. Bertenthal, B.; Longo, M. y Kosobud, A. (2006) Imitative response tendencies following observation of intransitive actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32 (2): 210–225.
7. Bhushan, B.; Dwivedi, C.; Mishra, R. y Mandal, M. (2000) Performance on a mirror-drawing task by non-right-handers. *The Journal of General Psychology*, 127 (3): 271-277.
8. Bien, N.; Roebroek, A.; Goebel, R. y Sack, A. (2009) The brain's intention to imitate: the neurobiology of intentional versus automatic imitation. *Cerebral Cortex*, 19(10): 2338-2351.
9. Binkofski, F.; Buccino, G.; Posse, S.; Seitz, R.; Rizzolatti, G. y Freund, H. (1999) A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: evidence from an fMRI-study. *European Journal of Neuroscience*, 11: 3276-3286.
10. Binkofski, F.; Buccino, G.; Stephan, K.; Rizzolatti, G.; Seitz, R. y Freund, H. (1999) A parieto-premotor network for object manipulation: evidence from neuroimaging. *Experimental Brain Research*, 128: 210–213.

11. Bird, G., Brindley, R., Leighton, J., y Heyes, C. (2007). General processes, rather than 'goals', explain imitation errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33: 1158–1169.
12. Bird, G. y Heyes, C. (2005) Effector-dependent learning by observation of a finger movement sequence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31 (2): 262–275.
13. Boudreau, M.-J.; Brochier, T.; Paré, M. y Smith, A. (2001) Activity in ventral and dorsal premotor cortex in response to predictable force-pulse perturbations in a precision grip task. *Journal of Neurophysiology*, 86: 1067–1078.
14. Brass, M.; Derrfuss, J. y von Cramon, D. (2005) The inhibition of imitative and overlearned responses: a functional double dissociation. *Neuropsychologia*, 43: 89–98.
15. Brass, M. y Heyes, C. (2005) Imitation: is cognitive neuroscience solving the correspondence problem?. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (10): 489-495.
16. Brass, M.; Zysset, S. y von Cramon, D. (2001) The inhibition of imitative responses tendencies. *Neuroimage*, 14: 1416-1423.
17. Buccino, G.; Binkofski, F.; Fink, G.; Fadiga, L.; Fogassi, L.; Gallese, V.; Seitz, R.; Zilles, K.; Rizzolatti, G. y Freund, H.-J. (2001) Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 13: 400-404.
18. Buccino, G.; Binkofski, F. y Rigió, L. (2004) The mirror neuron system and action recognition. *Brain and Language*, 89: 370–376.
19. Buccino, G.; Lui, F.; Canessa, N.; Patteri, I.; Lagravinese, G.; Benuzzi, F.; Porro, C. y Rizzolatti, G. (2004-2) Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an fmri study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(1): 114–126.
20. Buccino, G.; Rigió, L.; Melli, G.; Binkofski, F.; Gallese, V. & Rizzolatti, G. (2005) Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24: 55– 363.
21. Buccino, G.; Vogt, S.; Ritzl, A.; Fink, G.R.; Zilles, K.; Freund, H.-J. & Rizzolatti, G. (2004) Neural Circuits Underlying Imitation Learning of Hand Actions: An Event-Related fMRI Study. *Neuron*, 42: 323–334.
22. Byrne, R. y Russon, A. (1998) Learning by imitation: a hierarchical approach. *Behavioral and Brain Sciences*, 21: 667–721.

23. Calder, A.; Beaver, J.; Winston, J.; Dolan, R.; Jenkins, R.; Eger, E. y Henson, R. (2007) Separate Coding of Different Gaze Directions in the Superior Temporal Sulcus and Inferior Parietal Lobule. *Current Biology* ,17: 20–25.
24. Calvo-Merino, B.; Glaser, D.; Grèzes, J.; Passingham, R. y Haggard, P. (2005) Action observation and acquired motor skills: an fmri study with expert dancers. *Cerebral Cortex*,15:1243—1249.
25. Casati, R. y Varzi, A.C (2008) Event concepts. En T. F. Shipley y J. M. Zacks (Eds.), *Understanding events: How humans see, represent, and act on events*. New York, EE. UU.: Oxford University Press.
26. Catania, A. Charles (1992) *Learning* (3a. ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
27. Cattaneo, L. Y Rizzolatti, G. (2009) The mirror neuron system. *Archives of Neurology*, 66 (5): 557-560.
28. Chaminade, T y Decety, J. (2002) Leader or follower? Involvement of the inferior parietal lobule in agency. *Neuroreport*, 13 (15): 1975-1978.
29. Cheng, Y.; Meltzoff, A. y Decety, J. (2006) Motivation modulates the activity of the human mirror-neuron system. *Cerebral Cortex*, 17 (8): 1979—1986.
30. Chong, T.; Cunnington, R.; Williams, M.; Kanwisher, N. y Mattingley, J. (2008) fMRI adaptation reveals mirror neurons in human inferior parietal cortex. *Current Biology*, 18: 1576–1580.
31. Chong, T.; Williams, M.; Cunnington, R. y Mattingley, J. (2008) Selective attention modulates inferior frontal gyrus activity during action observation. *Neuroimage*, 40: 298–307.
32. Clerget, E.; Winderickx, A.; Fadiga, L. y Olivier, E. (2009) Role of Broca's area in encoding sequential human actions: a virtual lesion study. *Neuroreport*, 20:1496–1499.
33. Costantini, M.; Galati, G.; Ferretti, A.; Caulo, M.; Tártaro, A.; Romani, G. L. y Aglioti, S. (2005) neural systems underlying observation of humanly impossible movements: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, 15 (11): 1761-1767.
34. Craighero, L.; Bello, A.; Fadiga, L. y Rizzolatti, G. (2002) Hand action preparation influences the responses to hand pictures. *Neuropsychologia*, 40: 492–502.
35. Craighero, L.; Fadiga, L.; Rizzolatti, G. y Umiltà, C. (1999) Action for perception: a motor-visual attentional effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25: 1673–1692.

36. Culham, J. C. (2004) Human brain imaging reveals a parietal area specialized for grasping. En N. Kanwisher y J. Duncan (Eds.). *Attention and performance XX. Functional brain imaging of visual cognition*. Oxford: Oxford University Press.
37. Davare, M.; Andres, M.; Cosnard, G.; Thonnard, J.-L. y Olivier, E. (2006) Dissociating the role of ventral and dorsal premotor cortex in precision grasping. *The Journal of Neuroscience*, 26 (8): 2260–2268.
38. David, N.; Cohen, M.; Newen, A.; Bewernick, B.; Shah, N.; Fink, G. y Vogele, K. (2007). The extrastriate cortex distinguishes between the consequences of one's own and others' behavior. *Neuroimage*, 36: 1004-1014.
39. Dechent, P.; Merboldt, K.-D. y Frahm, J. (2004) Is the human primary motor cortex involved in motor imagery?. *Cognitive Brain Research*, 19: 138–144.
40. Decety, J.; Chaminade, T.; Grèzes, J. y Meltzoff, A. (2002) A PET exploration of the neural mechanisms involved in reciprocal imitation. *Neuroimage*, 15: 265–272.
41. Dinstein, I.; Gardner, J.; Jazayeri, M. y Heeger, D. (2008) Executed and observed movements have different distributed representations in human aIPS. *The Journal of Neuroscience*, 8 (44):11231–11239.
42. Dukas, R. (2008) Evolutionary biology of insects learning. *Annual review of entomology*, 53: 145-160.
43. Edwards, M.; Humphreys, G. y Castiello, U. (2003) Motor facilitation following action observation: a behavioural study in prehensile action. *Brain and Cognition*, 53: 495–502.
44. Ehrsson, H.; Geyer, S. y Naito, E. (2003). Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations. *Journal of Neurophysiology*, 90: 3304–3316.
45. Fadiga, L.; Fogassi, L.; Pavesi, G. & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73: 2608–2611.
46. Ferrari, P.; Gallese, V.; Rizzolatti, G. y Fogassi, L. (2003) Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, 17: 1703–1714.
47. Ferrari, P.; Rozzi, S. y Fogassi, L. (2005) Mirror neurons responding to observation of actions made with tools in monkey ventral premotor cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (2): 212–226.

48. Fitts, P. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47: 381-391.
49. Flanagan, J. y Johansson, R. (2003) Action plans used in action observation. *Nature*, 424: 769-771.
50. Flanagan, J.; Nakano, E.; Imamizu, H.; Osu, R.; Yoshioka, T. y Kawato, M. (1999) Composition and decomposition of internal models in motor learning under altered kinematic and dynamic environments. *The Journal of Neuroscience*, 19.
51. Fogassi, L.; Ferrari, P.; Gesierich, B.; Rozzi, S.; Chersi, F. y Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 308: 662-667.
52. Fogassi, L.; Gallese, V.; Fadiga, L.; Luppino, G.; Matelli, M. y Rizzolatti, G. (1996) Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4). *Journal of Neurophysiology*, 76: 141-157.
53. Ford, A. (2008) Action and generality [Versión electrónica]. Tesis doctoral no publicada, University of Pittsburg. Recuperado el 26 de marzo de 2010, de <http://challenger.library.pitt.edu/ETD/available/etd-06032008-122655/unrestricted/ANTONFORD2008.pdf>
54. Gabrieli, J.; Stebbins, G.; Singh, J.; Willingham, D. y Goetz, C. (1997) Intact mirror-tracing and impaired rotary-pursuit skill learning in patients with Huntington's disease: evidence for dissociable memory systems in skill learning. *Neuropsychology*, 11 (2): 272-81.
55. Galef, B. y Laland, K. N. (2005) Social learning in animals: empirical studies and theoretical models. *Bioscience*, 55 (6): 489-499).
56. Gallese, V.; Fadiga, L.; Fogassi, L. & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119:593–609.
57. Gallese, V. y Goldman, A. (1998) Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(12): 493-501.
58. Gazzola, V. y Keysers, C. (2009) The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cerebral Cortex*, 19:1239—1255.
59. Graziano, M.; Hu, X. y Gross, C. (1997) visuospatial properties of ventral premotor cortex. *Journal of Neurophysiology*, 77: 2268–2292.

-
60. Greenwald, A. G. (1970) Sensory feedback mechanisms in performance control: with special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological review*, 77 (2): 73-99.
 61. Grèzes, J.; Armony, J.; Rowe, J. & Passingham, R. (2003) Activations related to “mirror” and “canonical” neurones in the human brain: an fMRI study. *Neuroimage*, 18: 928–937.
 62. Grèzes, J.; Fonlupt, P.; Bertenthal, B.; Delon-Martin, C.; Segebarth, C. y Decety J. (2001) Does perception of biological motion rely on specific brain regions?. *Neuroimage*, 13: 775–785.
 63. Hamilton, A. y Grafton, S. (2006) Goal representation in human anterior intraparietal sulcus. *Journal of Neuroscience*, 26: 1133-113.
 64. Hamilton, A. y Grafton, S. (2008) Action outcomes are represented in human inferior frontoparietal cortex. *Cerebral Cortex*, 18:1160—1168.
 65. Hanakawa, T.; Immisch, I.; Toma, K; Dimyan, M.; Van Gelderen, P. y Hallett, M. (2003) Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *Journal of Neurophysiology*, 89: 989–1002.
 66. Hanakawa, T.; Parikh, S.; Bruno, M. y Hallett, M. (2005) Finger and face representations in the ipsilateral precentral motor areas in humans. *Journal of Neurophysiology*, 93: 2950–2958.
 67. Hari, R.; Forss, N.; Avikainen, S.; Kirveskari, E.; Salenius, S. y Rizzolatti, G. (1998) Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95: 15061–15065.
 68. Heyes, C. y Bird, G. (2007) Mirroring, association and the correspondence problem. En P. Haggard, Y. Rossetti y M. Kawato (Eds.). *Sensorimotor foundations of higher cognition, attention & performance xxii*. Oxford: Oxford University Press.
 69. Heyes, C.; Bird, G.; Johnson, H. y Haggard, P. (2005) Experience modulates automatic imitation. *Cognitive Brain Research*, 22: 233– 240.
 70. Hickok, G. (2008) Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21 (7): 1229–1243.

71. Hoshi, E. y Tanji, J. (2006) Differential involvement of neurons in the dorsal and ventral premotor cortex during processing of visual signals for action planning. *Neurophysiology*, 95: 3596-3616.
72. Iacoboni, M.; Woods, R.; Brass, M.; Bekkering, H.; Mazziotta, J. & Rizzolatti, G. (1999) Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286: 2526–2528.
73. Imamizu, H.; Kuroda, T.; Yoshioka, T. y Kawato, M. (2004) Functional magnetic resonance imaging examination of two modular architectures for switching multiple internal models. *The Journal of Neuroscience*, 24(5):1173–1181.
74. Ito, M. (2000) Mechanisms of motor learning in the cerebellum. *Brain Research*, 886 (1-2): 237–245.
75. Jackson, P.; Meltzoff, A. y Decety, J. (2006) Neural circuits involved in imitation and perspective-taking. *Neuroimage*, 31(1):439-439.
76. Jänckle, L.; Kleinschmidt, A.; Mirzazade, S.; Shah, N. y Freund, H.-J. (2001) The role of the inferior parietal cortex in linking the tactile perception and manual construction of object shapes. *Cerebral Cortex*, 11 (2): 114-121.
77. Jansen, B. y Belpaeme, T. (2006) A computational model of intention reading in imitation. *Robotics and Autonomous Systems*, 54: 394–402.
78. Janssen, P.; Srivastava, S.; Ombet, S. y Orban, G. (2008) Coding of shape and position in macaque lateral intraparietal area. *The Journal of Neuroscience*, 28 (26): 6679–6690.
79. Jeannerod, M. (2003) The mechanism of self-recognition in humans. *Behavioural Brain Research*, 142: 1–15.
80. Jeannerod, M.; Arbib, M.; Rizzolatti, G. y Sakata, H. (1995) Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neurosciences*, 18 (7): 314-320.
81. Jonson, B. (2004) Gender effect on a mirror drawing task. *Cognita*, Alcorn State University, 14: 9–12.
82. Jordan, M. y Rumelhart, D. (1992) Forward models: supervised learning with a distal teacher. *Cognitive Science*, 16: 307-354.
83. Jordan, M. & Wolpert, D. (1999) Computational motor control. En M. Gazzaniga (Ed.). *The Cognitive Neurosciences* (2a. ed.). Cambridge: MIT Press.
84. Karniel, A. (2002) Three creatures named "forward model". *Neural Networks*, 15: 305-307.

-
85. Kawato, M. (1990) Feedback-error-learning neural network for supervised motor learning. En R. Eckmiller (Ed.), *Advanced neural computers*. Amsterdam: North-Holland.
 86. Kawato, M. (1999) Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 9:718–727.
 87. Keysers, C.; Kohler, E.; Umiltà, M.; Nanetti, L.; Fogassi, L. y Gallese, V. (2003) Audiovisual mirror neurons and action recognition. *Experimental Brain Research*, 153: 628–636.
 88. Kilner, J.; Neal, A.; Weiskopf, N.; Friston, K. y Frith, C. (2009) Evidence of mirror neurons in human inferior frontal gyrus. *The Journal of Neuroscience*, 29 (32):10153–10159.
 89. Kilner, J.; Paulignan, Y. y Blakemore, S. (2003) An interference effect of observed biological movement on action. *Current Biology*, 13: 522-525.
 90. Klassen, J.; Tong, C. y Flanagan, J. (2002) Learning and recall of incremental kinematic and dynamic sensorimotor transformations. *Experimental Brain Research*, 164: 250–259.
 91. Klein, S. B. (1994) *Aprendizaje: principios y aplicaciones*. (M. López Trad.). Madrid: McGraw-Hill.
 92. Kohler, E.; Keysers, C.; Umiltà, M.; Fogassi, L.; Gallese, V. y Rizzolatti, G. (2002) Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 297: 846-848.
 93. Koski, L.; Iacoboni, M.; Dubeau, M.-C.; Woods, R. y Mazziotta, J. (2003) Modulation of cortical activity during different imitative behaviors. *Neurophysiology*, 89: 460–471.
 94. Koski, L.; Wohlschläger, A.; Bekkering, H.; Woods R.; Dubeau, M.-C.; Mazziotta, J. y Iacoboni, M. (2002) Modulation of motor and premotor activity during imitation of target-directed actions. *Cerebral Cortex*, 12: 847–55.
 95. Krakauer, J.; Ghilardi, M.-F. y Ghez, C. (1999) Independent learning of internal models for kinematic and dynamic control of reaching. *Nature Neuroscience*, 2 (11): 1026-1031.
 96. Kurata, K. y Hoshi, E. (1999) Reacquisition deficits in prism adaptation after muscimol microinjection into the ventral premotor cortex of monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 81: 1927–1938.

97. Leahey, T. H. y Harris, R. J. (2001) *Learning and cognition* (5a. ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
98. Leighton, J.; Bird, G. y Heyes C. (2010) 'Goals' are not an integral component of imitation. *Cognition*, 114: 423–435.
99. Lingnau, A.; Gesiericha, B. y Caramazza, A. (2009) Asymmetric fMRI adaptation reveals no evidence for mirror neurons in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (24): 9925–9930.
100. Longo, M.; Kosobud, A. y Bertenthal, B. (2008) Automatic imitation of biomechanically possible and impossible actions: effects of priming movements versus goals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34 (2): 489–501.
101. Luppino, G. y Rizzolatti, G. (2000) The organization of the frontal motor cortex. *News Physiol. Sci.*, 15: 219-224.
102. Maeda, F.; Kleiner-Fisman, G. y Pascual-Leone, A. (2002) Motor Facilitation While Observing Hand Actions: Specificity of the Effect and Role of Observer's Orientation. *Neurophysiology*, 87: 1329-1335.
103. Majdandzic, J.; Bekkering, H.; Van Schie, H. y Toni, I. (2009) Movement-specific repetition suppression in ventral and dorsal premotor cortex during action observation. *Cerebral Cortex*, 19: 2736—2745.
104. Makuuchi, M. (2005) Is Broca's area crucial for imitation?. *Cerebral Cortex*, 15: 563—570.
105. Massone, L. (1998) Sensorimotor learning. En M. A. Arbib (Ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. Cambridge, MA, EE. UU.: MIT press.
106. Mataric, M. y Pomplun, M. (1998) Fixation behavior in observation and imitation of human movement. *Cognitive Brain Research*, 7: 191–202.
107. Mayley, G. (1996). Landscapes, learning costs and genetic assimilation. *Evolutionary Computation*, 4(3), 213–234.
108. Mazur, J. E. (2006) *Learning and behavior* (6a. ed.). Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Prentice Hall.
109. Melo, F., Lopes, M., Santos-Victor, J. & Ribeiro, M. (2007, abril) A unified framework for imitation-like behaviors. En 4th International Symposium in Imitation in Animals and Artifacts. Newcastle, UK.
110. Meltzoff, A. N. y Moore, N. K. (1983) Newborn infants imitate adult facial gestures. *Child Development*, 54: 702-709.

111. Meltzoff, A. N. y Moore, N. K. (1997) Explaining Facial Imitation: A Theoretical Model. *Early Development and Parenting*, 6: 179-192.
112. Mery, F. y Kawecki, T. J. (2004) An operating cost of learning in *Drosophila melanogaster*. *Animal Behaviour*, 68 (3): 589-598.
113. Miall, R. C. (2003) Connecting mirror neurons and forward models. *Neuroreport*, 14 (17):2135-2137.
114. Michelon, P.; Vettel, J. y Zacks, J. (2006). Lateral somatotopic organization during imagined and prepared movements. *Journal of Neurophysiology*, 95: 811–822.
115. Milner, B.; Corkin, S. Y Teuber H.-L. (1968) Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia*, 6 (3): 215-234.
116. Mitz, A. y Wise, S. (1987) The somatotopic organization of the supplementary motor area: Intracortical microstimulation mapping. *The Journal of Neuroscience*, 7(4): 1010-1021.
117. Molina, M.; Van de Walle, G.; Condry, K. y Spelke, E. (2004) The animate-inanimate distinction in infancy: developing sensitivity to constraints on human actions. *Journal of Cognition and Development*, 5(4): 399–426.
118. Morin, O, y Grèzes, J. (2008) What is “mirror” in the premotor cortex? A review. *Clinical Neurophysiology*, 38: 189—195.
119. Murata, A.; Fadiga, L.; Fogassi, L.; Gallese, V.; Raos, V. y Rizzolatti, G. (1997) Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 78: 2226–2230.
120. Murata, A.; Gallese, V.; Luppino, G.; Kaseda, M. y Sakata, H. (2000). Selectivity for the shape, size, and orientation of objects for grasping in neurons of monkey parietal area AIP. *Journal of Neurophysiology*, 83: 2580–2601.
121. Mussa-Ivaldi, F. y Bizzi E. (2000) Motor learning through the combination of primitives. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 355: 1755-1769.
122. Nelissen, K.; Luppino, G.; Vanduffel, W.; Rizzolatti, G. y Orban, G. (2005) Observing others: multiple action representation in the frontal lobe. *Science*, 310: 332-336.
123. O’Boyle, M. y Hoff, E. (1987). Gender and Handness Differences in mirror-tracing random forms. *Neuropsychologia*, 25: 977-982.

124. O'Boyle, M.; Hoff, E. y Gill, S. (1995). The Influence Of Mirror Reversals On Male and Female Performance in Spatial Tasks: A Componential Look. *Personality and Individual Differences*, 18: 693-699.
125. Ochiai, T.; Mushiake, H. y Tanji, J. (2005) Involvement of the ventral premotor cortex in controlling image motion of the hand during performance of a target-capturing task. *Cerebral Cortex*, 15: 929—937.
126. Osman, M.; Bird, G. y Heyes, C. (2005) Action observation supports effector-dependent learning of finger movement sequences. *Experimental Brain Research*, 165: 19–27.
127. Ostrosky-Solís, F.; Gómez, E.; Matute, E.; Rosselli, M.; Ardila, A. Y Pineda, D. (2003) *NEUROPSI Atención y memoria 6 a 85 años: manual, instructivo y puntuaciones totales*. México: American Book Store..
128. Oztop, E.; Kawato, M. y Arbib, M. (2006) Mirror neurons and imitation: A computationally guided review. *Neural Networks*, 19: 254–271.
129. Padoa-Schioppa, C.; Li, C.-S. y Bizzi, E. (2002) Neuronal correlates of kinematics-to-dynamics transformation in the supplementary motor area. *Neuron*, 36:751–765.
130. Padoa-Schioppa, C.; Li, C.-S. y Bizzi, E. (2002) Neuronal activity in the supplementary motor area of monkeys adapting to a new dynamic environment. *Journal of Neurophysiology*, 91: 449–473.
131. Paine, R. W. y Tani, J. (2004) Motor primitive and sequence self-organization in a hierarchical recurrent neural network. *Neural Networks*, 17 : 1291-1309.
132. Perani, D.; Fazio, F.; Borghese, N.; Tettamanti, M.; Ferrari, S.; Decety, J. y Giraldi, M. (2001) Different brain correlates for watching real and virtual hand actions. *Neuroimage*, 14: 749-758.
133. Perez, M.; Tanaka, S.; Wise, S.; Willingham, D. y and Cohen, L. (2008) Time-specific contribution of the supplementary motor area to intermanual transfer of procedural knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 28(39): 9664 –9669.
134. Press, C.; Bird, G.; Flach, R. y Heyes, C. (2005) Robotic movement elicits automatic imitation. *Cognitive Brain Research*, 25: 632–640.
135. Press, C.; Bird, G.; Walsh, E. y Heyes, C. (2008) Automatic imitation of intransitive actions. *Brain and Cognition*, 67: 44–50.
136. Press, C.; Gillmeister, H. y Heyes, C. (2007) Sensorimotor experience enhances automatic imitation of robotic action. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 274: 2509–2514.

137. Rakinson, D. y Poulin-Dubois, D. (2001) Developmental origin of the animate-inanimate distinction. *Psychological Bulletin*, 127 (2): 209-228.
138. Ramnani, N. y Miall, R. (2004) A system in the human brain for predicting the actions of others. *Nature Neuroscience*, 7 (1): 85-90.
139. Raos, V; Evangeliou, M. y Savaki, H. (2007) Mental simulation of action in the service of action perception. *The Journal of Neuroscience*, 27 (46):12675–12683.
140. Rathelot, J.-A. y Strick, P. (2006) Muscle representation in the macaque motor cortex: an anatomical perspective. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 8257–8262.
141. Rice, N.; Tunik, E. y Grafton, S. (2006) The anterior intraparietal sulcus mediates grasp execution, independent of requirement to update: new insights from transcranial magnetic stimulation. *The Journal of Neuroscience*, 26 (31): 8176–8182.
142. Rizzolatti, G. y Craighero, L. (2004) The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27: 169–192.
143. Rizzolatti, G. y Craighero, L. (2007). Language and mirror neurons. En G. Gaskell (Ed.). *Oxford Handbook of Psycholinguistics*. Oxford: Oxford University Press.
144. Rizzolatti, G.; Fadiga, L.; Gallese, V. y Fogassi, L. (1996) Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3: 131-141.
145. Rizzolatti, G.; Fogassi, L. y Gallese, V. (2001) Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2: 661-670.
146. Rizzolatti, G.; Fogassi, L. y Gallese, V. (2002) Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 12:149–154.
147. Roig, M. y Placakis, N. (1992) Hemisphericity style, sex, and performance on a mirror-tracing task. *Perceptual and Motor Skills*, 74 (3 Pt 2):1143-1148.
148. Ruben, J.; Schwiemann, J.; Deuchert, M.; Meyer, R.; Krayse, T.; Curio, G.; Villringer, K.; Kurth, R. y Villringer, A. (2001) Somatotopic organization of human secondary somatosensory cortex. *Cerebral Cortex*, 11 463-473.
149. Ruby, P. y Decety, J. (2001) Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4 (5): 546-550.
150. Rumiati, R. y Tessari, A. (2003) Imitation of novel and well-known actions the role of short-term memory. *Experimental Brain Research*, 142: 425–433.

151. Saunier, G.; Papaxanthis, C.; Vargas, C. & Pozzo, T. (2008) Inference of complex human motion requires internal models of action: behavioral evidence. *Experimental Brain Research*, 185: 399–409.
152. Saxe, R.; Jamal, N. y Powell, L. (2006) My body or yours? the effect of visual perspective on cortical body representations. *Cerebral Cortex*, 16: 178-182.
153. Schieber, M. (2001) Constraints on somatotopic organization in the primary motor cortex. *Journal of Neurophysiology*, 86: 2125-2143.
154. Schmidt, R. y Lee, T. (2005) *Motor control and learning: a behavioral emphasis* (4a. ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
155. Scorolli, C. y Borghi, A. (2007) Sentence comprehension and action: effector specific modulation of the motor system. *Brain Research*, 1130: 119–124.
156. Shimazu, H.; Maier, M.; Cerri, G.; Kirkwood, P. y Lemon, R. (2004) Macaque ventral premotor cortex exerts powerful facilitation of motor cortex outputs to upper limb motoneurons. *The Journal of Neuroscience*, 24 (5):1200 –1211.
157. Stevens, J. (2005) Interference effects demonstrate distinct roles for visual and motor imagery during the mental representation of human action. *Cognition*, 95 (3): 329-350.
158. Stevens, J.; Fonlupt, P.; Shiffrar, M. y Decety, J. (2000) New aspects of motion perception: selective neural encoding of apparent human movements. *Neuro Report*, 11 (1): 109-115.
159. Suzanne, C. (2002) What's new with the amnesic patient H.M.?. *Nature Reviews Neuroscience*, 3: 153-160.
160. Tai, Y.; Scherfler, C.; Brooks, D.; Sawamoto, N. y Castiello, U. (2004) The human premotor cortex is “mirror” only for biological actions. *Current Biology*, 14: 117-120.
161. Tessari, A; Bosanac, D. y Rumiati, R. (2006) Effect of learning on imitation of new actions: implications for a memory model. *Experimental Brain Research*, 173: 507–513.
162. Thoroughman, K. y Shadmehr, R. (2001) Learning of action through adaptive combination of motor primitives. *Nature*, 407: 742-747.
163. Thorpe, W. H. (1963) *Learning and instinct in animals* (2a. ed.) Cambridge, Massachusetts: Harvard University.
164. Tong, C.; Wolpert, D. y Flanagan, J. (2002) Kinematics and dynamics are not represented independently in motor working memory: evidence from an interference study. *The Journal of Neuroscience*, 22(3):1108–1113.

165. Trypuz, R. (2008) *Formal ontology of action: A unifying approach*. Lublin, Polonia: Wydawnictwo KUL.
166. Uddin, L.; Molnar–Szakacs, I.; Zaidel, E. y Iacoboni, M. (2006). rTMS to the right inferior parietal lobule disrupts self-other discrimination. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 1: 65–71.
167. Umiltà, M.; Kohler, E.; Gallese, V.; Fogassi, L.; Fadiga, L.; Keysers, C. y Rizzolatti, G. (2001) I know what you are doing: a neurophysiological study. *Neuron*, 31: 155–165.
168. Urgesi, C.; Candidi, M.; Ionta, S. y Aglioti, S. (2007) Representation of body identity and body actions in extrastriate body area and ventral premotor cortex. *Nature Neuroscience*, 10 (1): 30-31.
169. Urgesi, C.; Moro, V.; Candidi, M. y Aglioti, S. (2006) Mapping implied body actions in the human motor system. *The Journal of Neuroscience*, 26 (30):7942–7949.
170. Van den Bos, E. y Jeannerod, M. (2002) Sense of body and sense of action both contribute to self-recognition. *Cognition*, 85: 177–187.
171. Vignemont, F. y Foucheret, P. (2004) The sense of agency: A philosophical and empirical review of the “Who” system. *Consciousness and Cognition*, 13: 1–19.
172. Voegeley, K. y Fink, G. (2003) Neural correlates of the first-person perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (1): 38-42.
173. Vogt, S.; Taylor, P. y Hopkins, B. (2003) Visuomotor priming by pictures of hand postures: perspective matters. *Neuropsychologia*, 41: 941–951.
174. Wang, J. y Sainburg, R. (2005) Adaptation to visuomotor rotations remaps movement vectors, not final positions. *The Journal of Neuroscience*, 25(16): 4024–4030.
175. Wasserman, R.(2007) Intentional action and the unintentional fallacy. Recuperado el 9 de noviembre del 2009, de http://myweb.facstaff.wvu.edu/wasserr/papers/fallacy_web.pdf
176. Wohlschläger, A, Gattis, M. y Bekkering, H. (2003) Action generation and action perception in imitation: an instance of the ideomotor principle *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 358: 501–515.
177. Wolbers, T.; Weiller, C. y Büchel, C. (2003) Contralateral coding of imagined body parts in the superior parietal lobe. *Cerebral Cortex*, 13: 392–399.

-
178. Wolpert, D, Doya, K. & Kawato, M. (2003) A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*,, 358: 593–602.
 179. Wolpert, D. y Flanagan, J. (2001) Motor prediction. *Current Biology*, 11(18): 729-732.
 180. Wolpert, D. y Ghahramani, Z. (2000) Computational principles of movement neuroscience. *Nature neuroscience supplement*, 3: 1212-1217.
 181. Wolpert, D., Ghahramani, Z. y Flanagan, J. (2001) Perspectives and problems in motor learning. *Trends in Cognitive Sciences*. 5 (11): 487-494.
 182. Wolpert, D.; Ghahramani, Z, y Jordan, M. (1995) An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269: 1880-1882.
 183. Wolpert, D. y Kawato, M. (1998) Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, 11: 1317–1329.
 184. Young, J.; Herath, P.; Eickhoff, S.; Choi, J.; Grefkes, C.; Zilles, K. y Roland, P. (2004) Somatotopy and attentional modulation of the human parietal and opercular regions. *The Journal of Neuroscience*, 24(23):5391–5399.
 185. Zacks, J. M. y Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin*, 127: 3–21.
 186. Zentall, T. (2001) Imitation in animals: evidence, function, and mechanisms. *Cybernetics and Systems*, 32 :53-96.
 187. Zentall, T. (2006) Imitation: definition, evidence, and mechanisms. *Animal Cognition*, 9: 335-353.
 188. Zentgraf, K.; Stark, R.; Reiser, M.; Künzell, S.; Schienle, A.; Kirsh, P.; Walter, B.; Vaitl, D. y Munzert, J. (2005) Differential activation of pre-SMA and SMA proper during action observation: Effects of instruction. *Neuroimage*, 26 (3): 662-672.

Anexos

Anexo 1. Cuestionario para la inclusión de la muestra.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

Estamos realizando una investigación con el objetivo de estudiar la relación que existe entre el aprendizaje por imitación y la ejecución de una tarea visomotora. El presente cuestionario tiene como finalidad recabar la información necesaria para poder conformar la muestra de participantes. Si estás de acuerdo en participar, por favor responde las siguientes preguntas con toda sinceridad. La confidencialidad de lo que respondas está totalmente garantizada, pues los datos personales que se piden son exclusivamente para poder contactarte. De ser seleccionado para la muestra, se te pedirá que observes un video, después de lo cual realizarás una tarea visomotora. Todas las preguntas se relacionan con las características que se requieren para conformar la muestra, por lo que si alguna respuesta no es lo suficientemente precisa te pedimos nos permitas aclararla vía telefónica.

Folio N° (No llenar) _____ Fecha: _____
 Nombre: _____
 Edad: _____ Sexo: _____ Zurdo () Diestro ()
 Teléfono: _____ Correo electrónico: _____
 Escolaridad (especifica la carrera, incluye cualquier estudio adicional, ya sea segundas carreras, estudios técnicos etc.) _____

1. ¿Utilizas lentes?
 a) Si ()
 b) No ()
 c) Requiero lentes pero no los uso ()
2. ¿Alguna vez has sufrido de pérdida de conciencia (desmayos, desorientación, etc)?
 d) Si () ¿Por qué? _____
 e) No ()
3. ¿Consumes Alcohol?
 No consumo ()
 0-1 vez por semana () Cantidad (en copas) _____
 2-5 veces por semana () Cantidad (en copas) _____
 6 o más veces por semana () Cantidad (en copas) _____
4. ¿Consumes regularmente algún tipo de droga (exceptuando alcohol o cigarro)?
 a) Si ()
 b) No ()
5. Actualmente ¿consumes algún tipo de medicamento (con o sin prescripción médica)?
 a) Si () ¿Cuál? _____ ¿Con qué frecuencia? _____
 ¿Por qué? _____
 b) No ()
6. ¿Alguien de tu familia padeció o padece de epilepsia?
 a) Si () ¿Quién? _____
 b) No ()
7. Actualmente ¿sufres alguna enfermedad?
 a) Si () Especificala _____
 b) No ()

8. ¿Prácticas algún tipo de deporte?
- a) Sí () ¿Cuál? _____ () menos de una vez al mes
 () mas de una vez al mes
- b) No () () mas de una vez a la semana
9. ¿Actualmente tocas algún instrumento musical?
- a) Sí () ¿Cuál? _____ () menos de una vez al mes
 () mas de una vez al mes
- b) No () () mas de una vez a la semana
10. ¿Actualmente realizas alguna actividad estética-artística?
- a) Sí () ¿Cuál? _____ () menos de una vez al mes
 () mas de una vez al mes
- b) No () () mas de una vez a la semana
11. ¿Con qué frecuencia juegas con videojuegos?
- a) No juego ()
- b) 0-1 hora a la semana ()
- c) 1-2 horas a la semana ()
- d) 2-4 horas a la semana ()
- e) 4 o más horas a la semana ()
12. ¿Actualmente trabajas?
- a) Sí () ¿En que? _____
- b) No ()

SI ERES HOMBRE, POR FAVOR PASA A LA PREGUNTA 17 Y CONTINÚA.

SI ERES MUJER, POR FAVOR RESPONDE LAS SIGUIENTES PREGUNTAS.

13. ¿Cuándo fue tu último sangrado menstrual (procura anotar la fecha exacta, dd/mm)?
- a) inicio del sangrado _____
- b) finalización del sangrado _____
14. ¿Tus ciclos menstruales son regulares (aproximadamente 28 días)?
- a) Sí () ¿Cuánto duran? _____
- b) No ()
15. ¿Cuántos días dura tu sangrado? _____
16. ¿Tomas algún tipo de hormonas o de anticonceptivos? _____
17. ¿Has realizado la tarea de "Trazado de la Estrella a Través del Espejo" ?
- a) Sí ()
- b) No ()

RECUERDA QUE LA INFORMACIÓN ES CONFIDENCIAL Y SOLAMENTE SE TE PREGUNTARÁ VÍA TELEFÓNICA SI ES NECESARIO PRECISARLA.

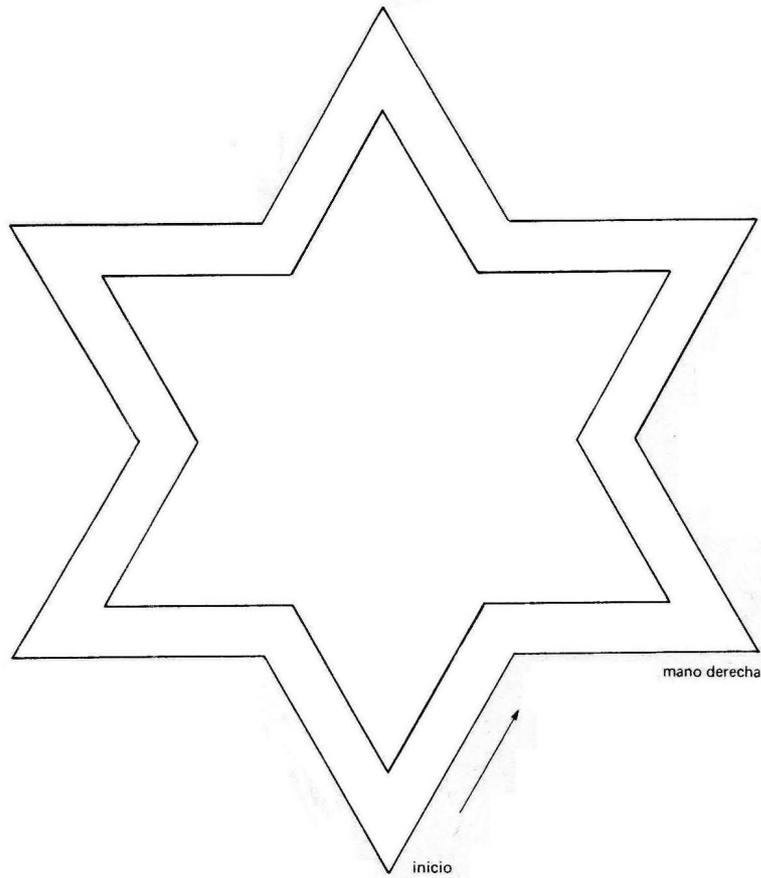
18.-Si eres seleccionad@ ¿estarías de acuerdo en participar en la investigación?, si lo estas por favor firma al calce:

GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

Anexo 2. Instrucciones dadas a los participantes para su ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo.

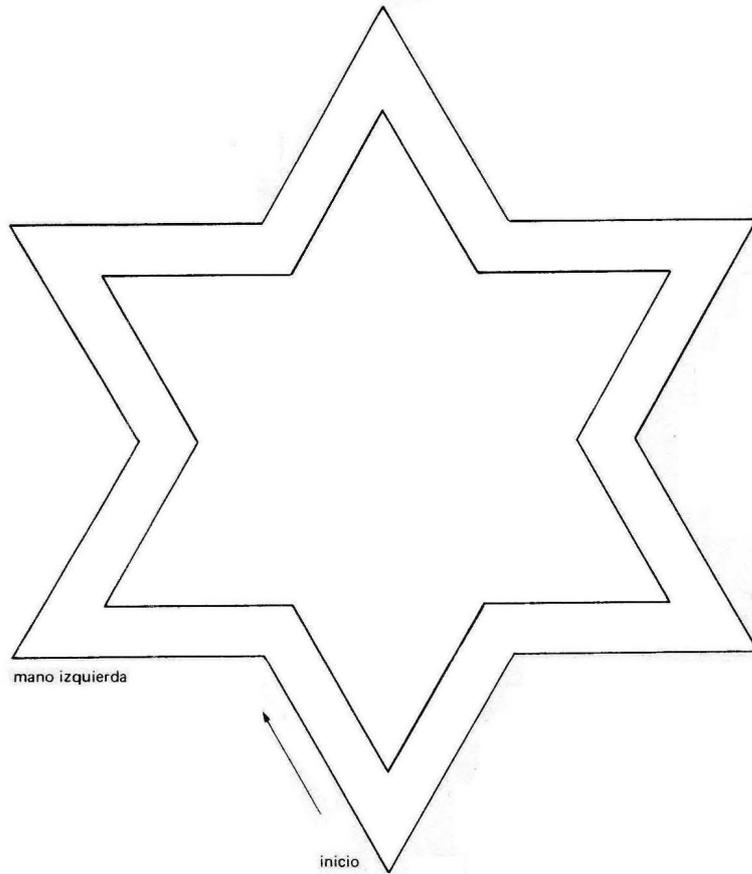
Enfrente de ti se encuentra una estrella la cual esta formada por dos contornos, lo que debes realizar es lo siguiente: deberás trazar un tercer contorno entre los dos contornos de la estrella, es decir una tercer estrella, procurando no tocar ni salirte de las orillas así como tampoco levantar el lápiz hasta que termines, lo harás con tu mano derecha (o izquierda según el caso) hacia la derecha (o izquierda según el caso) como te lo indica la flecha, únicamente te guiaras por la imagen que aparece en el espejo, es decir no podrás ver tu mano por debajo de la paleta (que se encontraba cubriendo a la mano en ese momento), comenzarás a la indicación y deberás avisar cuando termines, sin esperarte a descansar la mano o a colocar el lápiz en algún lugar, avisando inmediatamente cuando tu línea de inicio y de final se toquen.

2.A. Estrella derecha para empleada para el trazado de la estrella a través del espejo.

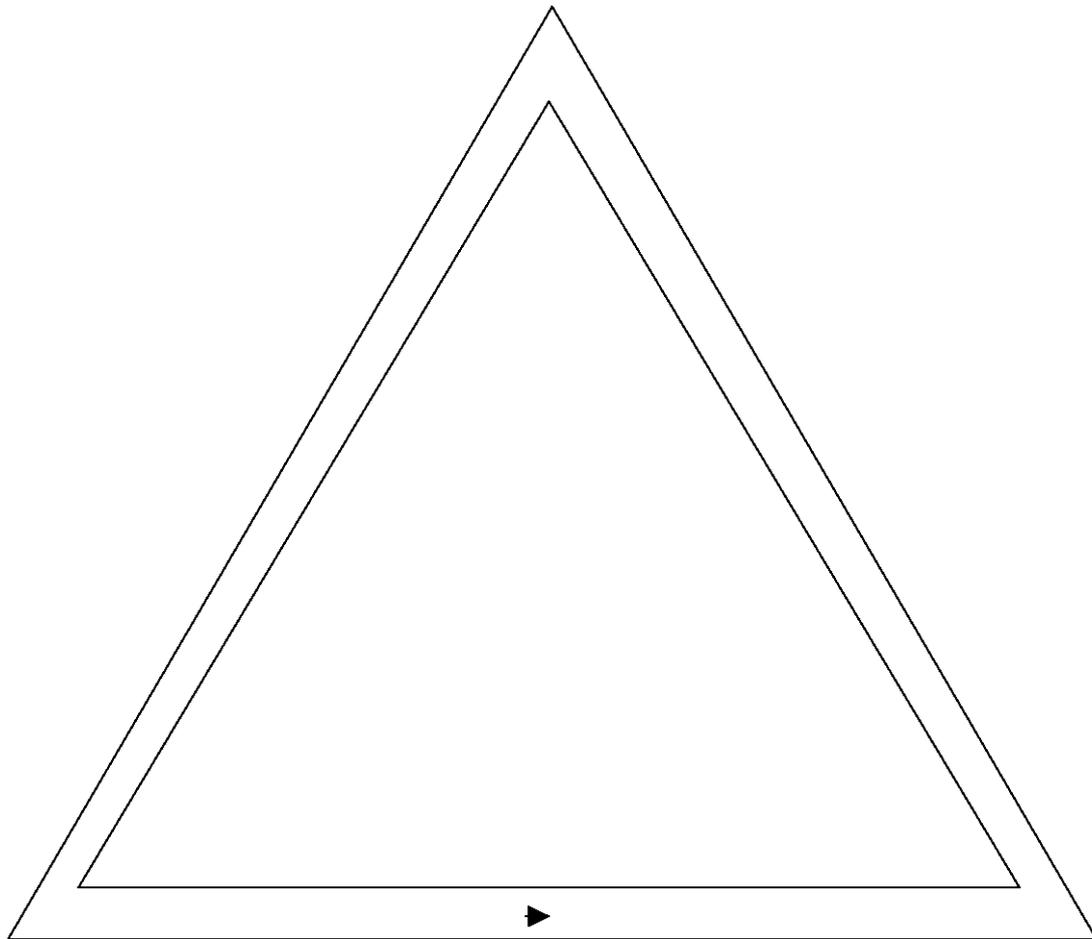


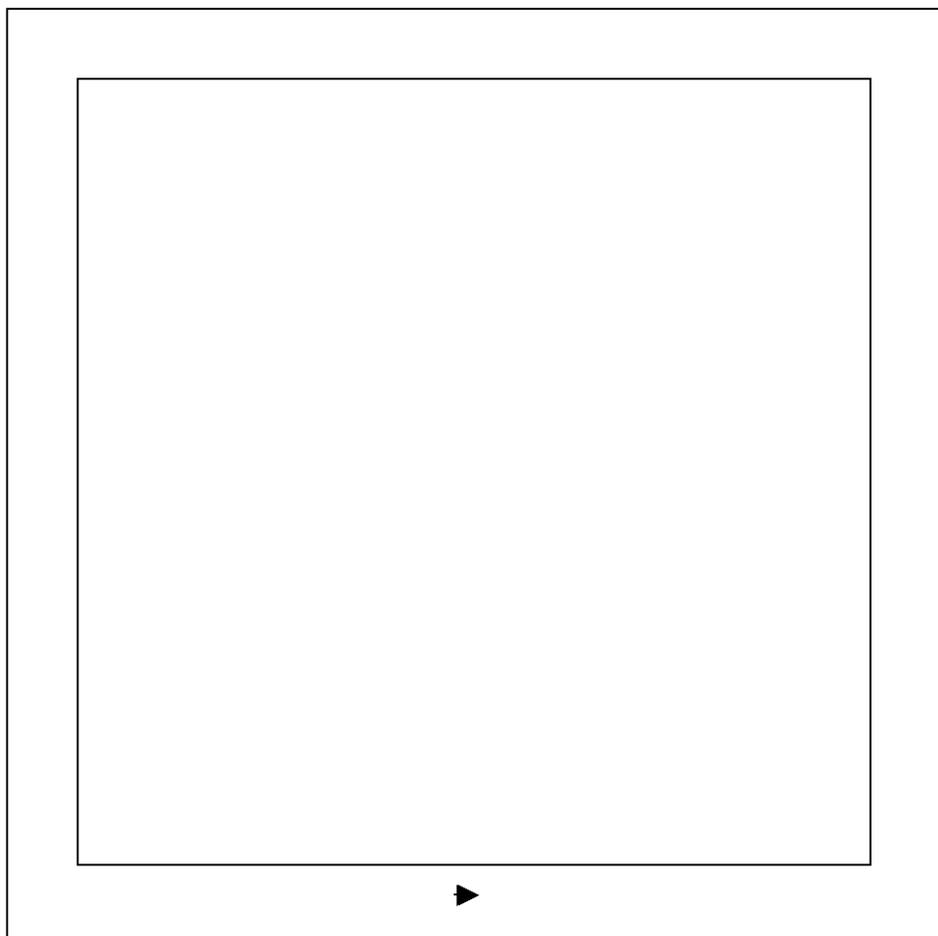
Nombre: _____ Tiempo en segundos: _____
Ensayo número: _____ Errores: _____
Mano: _____ Puntuación total: _____
Experimentador: _____ Fecha: _____

2.B. Estrella izquierda para empleada para el trazado de la estrella a través del espejo.

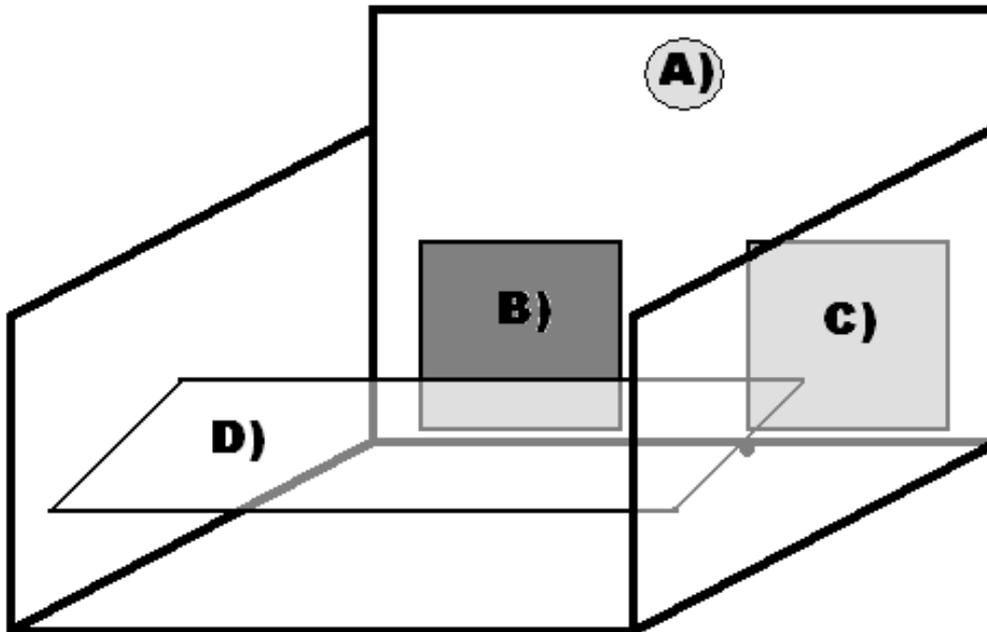


Nombre: _____	Tiempo en segundos: _____
Ensayo número: _____	Errores: _____
Mano: _____	Puntuación total: _____
Experimentador: _____	Fecha: _____

Anexo 3. Figuras para el proceso de calentamiento.



Anexo 4. Módulo para la ejecución de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo.



Las medidas de los módulos fueron las siguientes 50cm de frente x 40cm de profundidad x 40cm en su parte más alta. Contaban además con iluminación (A), dos espejos para trazar la estrella a través de ellos, ya sea con la mano derecha (B) o con la mano izquierda (C), y una paleta ajustable que impedía la visibilidad de la mano con que se realizaba la tarea (D). El empleo de los módulos permitió la realización de la tarea de trazado de la estrella a través del espejo de manera privada, de modo que únicamente cada participante podía observar su propio avance. Las estrellas eran colocadas debajo de la paleta frente al espejo del lado contrario a la mano con que se realizaba la tarea, de modo que para realizarla con la mano derecha se colocó la hoja de la estrella en el espejo izquierdo y viceversa.