



## Simulación robótica y habilidades psico-motoras: Una contribución a la neuroeducación

### *Robotic simulation and psycho-motor skills: A contribution to neuroeducation*

Constantino Tormo Calandín<sup>a</sup>, José Luis Ruiz López<sup>b</sup>, Borja Pino Fuster<sup>c</sup>, Nadia Ferrandez García<sup>d</sup>, Carmen Casal Angulo<sup>e</sup>, Gracia Adánez Martínez<sup>f</sup>, Lizbeth Monserrat Ruíz Nicolas<sup>g</sup>, Jorge Casaña Mohedo<sup>h</sup>, Vicente Prats Martínez<sup>i</sup> y Antonia del Amor Cantero Sandoval<sup>j</sup>.

<sup>a</sup> Universidad Católica de Valencia, Constantino.tormo@ucv.es, . <sup>b</sup> Universidad Católica de Valencia, J.l.ruiz@ucv.es, . <sup>c</sup> Universidad de Valencia, bpf2001@gmail.com, . <sup>d</sup> Universidad de Murcia, nadia.ferrandezg@um.es, . <sup>e</sup> Universidad de Valencia, m.carmen.casal@uv.es, . <sup>f</sup> Universidad de Murcia, g.adanez@um.es . <sup>g</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, coor-enf-cesip@eneo.unam.mx, . <sup>h</sup> Universidad Católica de Valencia, jorge.casana@ucv.es, . <sup>i</sup> Universidad Católica de Valencia, vicente.prats@ucv.es, . <sup>j</sup> Universidad de Murcia, antocanterosandoval@hotmail.com, .

**How to cite:** Tormo Calandín, C.; Ruiz López, J.L.; Pino Fuster, B.; Ferrandez García, N.; Casal Angulo, C.; Adánez Martínez, G.; Ruíz Nicolas, L.M.; Casaña Mohedo, J.; Prats Martínez, V. y Cantero Sandoval, A. del A. (2024). Simulación robótica y habilidades psico-motoras: Una contribución a la neuroeducación. En libro de actas: *X Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 11 - 12 de julio de 2024.  
Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2024.2024.18405>

---

### **Abstract**

*Psychomotor skills are essential in health sciences, and their learning is directly related to the activation of the mirror neuron system. The present work verifies the differences achieved in this learning, by health sciences students, with different teaching messages to perform chest compressions in adult CPR: audio, text, text and image, manual video and mechanical video (robot), through clinical simulation.*

*A group of consecutively recruited participants were randomly given one of the preceding messages, then practicing the psychomotor skill on a mannequin, while their performance was evaluated with an "ad hoc" binary verification form.*

*A total of 312 first-year medicine or nursing students were recruited at three different universities, forming 6 groups according to the message received, performing a descriptive and inferential analysis between them with the *fStats-UCV* statistical package.*

*The score achieved showed significant differences between the 6 groups on an incremental scale: without message, text, audio, text and image, robotic video and manual video, concluding that the acquisition of this psychomotor skill differs with the didactic message provided, showing a superiority of manual video, followed by robotic video*

**Keywords:** Neuroscience; neuroeducation; neurosimulation; psychomotor skills; mirror neuron system; robotic simulation

---

## **Resumen**

*Las habilidades psicomotoras son imprescindibles en las ciencias de la salud, y su aprendizaje está directamente relacionado con la activación del sistema de neuronas espejo. El presente trabajo comprueba las diferencias alcanzadas en este aprendizaje, por alumnos y alumnas de ciencias de la salud, con diferentes mensajes docentes para realizar compresiones torácicas en la RCP del adulto: audio, texto, texto e imagen, video manual y video mecánico (robot), mediante simulación clínica.*

*A un grupo de participantes reclutados consecutivamente, se les suministró aleatoriamente, uno de los mensajes precedentes, practicando a continuación la habilidad psicomotora sobre un maniquí, mientras se evalúa su desempeño con un formulario de verificación binario “ad hoc”.*

*Se reclutaron un total de 312 alumnos y alumnas de primer curso de medicina o enfermería, en tres universidades diferentes, formando 6 grupos según el mensaje recibido, realizando un análisis descriptivo e inferencial entre ellos con el paquete estadístico JStats-UCV.*

*La puntuación alcanzada mostró diferencias significativas entre los 6 grupos en una escala incremental: sin mensaje, texto, audio, texto e imagen, video robótico y video manual, concluyendo que la adquisición de esta habilidad psicomotora, difiere con el mensaje didáctico suministrado, mostrando una superioridad del video manual, seguido por el video robótico*

**Palabras clave:** Neurociencia; neuroeducación; neurosimulación; habilidades psicomotoras; sistema de neuronas espejo; simulación robótica

---

## **Introducción**

### **Antecedentes**

La *neurociencia* intenta explicar cómo actúan millones de células nerviosas individuales en el encéfalo para producir la conducta y cómo, a su vez, estas células están influidas por el medioambiente, incluyendo la conducta de otros individuos (De La Barrera, 2009; Gopar, 2019; Mora, 2002-2021). Esta disciplina existe desde hace más de un siglo, y la Sociedad Española de Neurociencia desde más de 30 años.

La *neurociencia educativa o neuroeducación* es una disciplina que nace de la neurociencia hace unos 20 años, y que pretende integrar los conocimientos neurocientíficos acerca de cómo funciona y aprende el cerebro en el ámbito educativo; se orienta hacia el estudio y mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva científica y se basa en el funcionamiento del cerebro, a partir de la interacción entre tres ámbitos del conocimiento: la Pedagogía, la Psicología y la Neurociencia. (Campos, 2010).

La simulación clínica constituye un método de enseñanza que sustituye o amplía experiencias reales por experiencias controladas, que recuerdan o reproducen elementos sustanciales del mundo real de una manera fidedigna e interactiva (Gaba, 2007), y aunque tiene sus fundamentos, en la pedagogía, en la psicología y en la filosofía, también debería fundamentarse en los conocimientos científicos que aporta la neuroeducación, lo que puede dar lugar a una nueva disciplina, la *neurosimulación*, al darle a aquella fundamento neurobiológico (Tormo-Calandín, 2022).

## Neurociencia y habilidades psicomotoras

Las habilidades psicomotoras están directamente relacionadas con la función de las neuronas en espejo, distribuidas por amplias zonas cerebrales, pero sobre todo en el área premotora frontal y en el lóbulo parietal, según hallazgos de la neurociencia (De La Barrera, 2009; Gopar, 2019; Mora, 2002, 2021) y de la neuroeducación (Blakemore, 2007; Campos, 2010; Béjar, 2014; Camón, 2016; Carballo, 2018; Bueno, 2021).

El sistema de neuronas en espejo (SNE) se activa y forma circuitos cerebrales cuando un sujeto realiza una acción, pero también cuando otro sujeto la observa, de manera que son capaces de transformar la información sensorial específica en un formato motor, sin necesidad de una mediación cognitiva intermedia, formando todo ello parte de un sistema de percepción-emoción-acción, a través de un mecanismo que relaciona directamente la representación sensorial de las acciones observadas con la propia representación motora de esas mismas acciones (mecanismo de espejo o resonancia); sin embargo el aprendizaje de habilidades motoras no solo depende de la observación, sino también de la imitación; las neuronas espejo del lóbulo frontal estaría más relacionada con el objetivo de la acción, mientras que las del área parietal codificaría el aspecto motor de la acción (Ferrari, 2003; Buccino, 2004; Fabri-Destro, 2008; Rizzolatti, 1999; 2007; 2009; Bautista, 2011; Carballo, 2019; Bueno, 2021). Tabla 1.

**Tabla 1.** *Sustrato neuro fisiológico para el aprendizaje de las habilidades psico-motoras en simulación clínica según la neurociencia (elaboración propia)*

Aprendizaje en Simulación Clínica	Aprendizaje en Neurociencia	Sustrato neural y neurotransmisores
Habilidades psicomotoras Habilidades visomotoras Habilidades audiomotoras	Aprendizaje por observación, imitación y repetición	-Neuronas en espejo de la corteza premotora frontal y temporal -Centros del lenguaje -Centros empatía, control emocional y ejecutivo (percepción-emoción-acción)

## Activación de las neuronas espejo con movimiento humano y robótico

El desarrollo de una ciencia robótica "socialmente inteligente", más naturalista y antropomórficamente humanoide, que pueda no sólo imitar, sino también comprender las emociones humanas, podría conducir a interacciones entre humanos y robots más placenteras y duraderas, al estimular el sistema de neuronas espejo de su interlocutor, lo que supone que estas neuronas humanas, involucradas en las respuestas sociales, puedan activarse como resultado de que el interactuante humano antropomorfece a estos robots (Oberman, 2007).

Investigaciones neurocientíficas han estudiado la activación del sistema de neuronas espejo de un observador, mediante diversos mensajes visuales: en vivo-presenciales, fotográficos estáticos o vídeo grabados, comparando las respuestas del observador cuando el mensaje lo emite otro ser humano o un robot (que actúan como modelos); estos mensajes pueden ser de movimientos congruentes o incongruentes (Kilner, 2003), movimientos de mano humana o robótica (Castiello, 2002; Tai, 2004; Gazzola, 2005; Press, 2005; Oberman, 2007) o movimientos de brazo humano o robótico (Shimada, 2010 y 2012). La respuesta a la activación de las neuronas espejo se ha evaluado mediante cinemática del movimiento (Kilner, 2003; Castiello, 2002), tomografía por emisión de positrones, PET (Tai, 2004;), resonancia magnética funcional, fMRI (Gazzola, 2005), electroencefalografía (EEG), con supresión de la onda "mu" (Oberman, 2007), electromiografía (EMG) del músculo interóseo de la mano derecha o espectroscopia de infra rojo cercano (Shimada, 2010 y 2012). Tabla 2.

**Tabla 2.** Investigaciones neurocientíficas sobre la activación del sistema de neuronas espejo en el observador por estimulación visual de un modelo robótico o humano

Autor/año	Investigación	Estímulo	Mensaje	Evaluación/Medida
Kilner 2003	Movimiento congruente: Si/No	Brazo humano/robot	Visual dinámico en vivo físico	Cinemática del movimiento
Castiello 2002	Movimiento de agarre	Mano humano/robot	Visual dinámico en vivo físico	Cinemática del movimiento
Tai 2004	Movimiento de agarre	Mano humano/robot	Visual dinámico en vivo físico	Tomografía por emisión de positrones (PET)
Press 2005	Movimiento de apertura/cierre	Mano humano/robot	Visual estático, pantalla ordenador	EMG interóseo mano derecha
Gazzola 2005	Movimiento simple y con intención	Mano humano/robot	Visual dinámico videoclips y estático	Resonancia magnética funcional (fMRI)
Oberman 2007	Movimiento de agarre y apertura/cierre	Mano humano/robot	Visual dinámico vídeo	EEG: Oscilaciones de la onda "mu"
Shimada 2010	Movimientos robóticos por un humano	Humano	Visual dinámico generado por computador	Espectroscopia de infrarrojo cercano
Shimada 2012	Movimientos espasmódicos no naturales	Humano	Visual dinámico generado por computador	Espectroscopia de infrarrojo cercano
Goh 2012	Movimiento de agarre, elevación y descenso	Humano/robot: brazos y manos	Visual dinámico en vivo físico y vídeo	Espectroscopia de infrarrojo cercano
Ito 2004	Movimientos imitando el robot a un humano	Robot humanoide, brazos	Visual dinámico en vivo físico	Red neuronal dinámica

A partir de los hallazgos existentes, los investigadores han comenzado a desarrollar modelos de redes neuronales dinámicas basados en el sistema de neuronas espejo humanas para su uso con robots interactivos. El propósito de esta red neuronal es la de crear una interacción humano-robot más naturalista haciendo que el robot imitara los patrones de sincronización naturalmente presentes en las interacciones humanas y, por lo tanto, aumentar el tiempo que los humanos dedicaban a interactuar con el robot (Ito, 2004).

Los resultados de los estudios actuales dejan abierta la oportunidad de utilizar la activación de las neuronas espejo como una "prueba de Turing" para el desarrollo de robots verdaderamente humanoides (Oberman 2007).

## Objetivos

### Principal

Conocer el nivel del aprendizaje de la habilidad psicomotora: compresiones torácicas en la reanimación cardiopulmonar (RCP) del adulto, alcanzado por alumnos y alumnas de ciencias de la salud al proporcionarles un mensaje docente.

## Secundarios

Conocer las diferencias del aprendizaje de las habilidades psicomotoras, alcanzado por los alumnos de ciencias de la salud con los siguientes mensajes docentes:

1. Sin mensaje: Grupo control (0)
2. Mensaje de audio: Enseñanza cognitiva oral-verbal (A)
3. Mensaje de texto: Enseñanza cognitiva literal (T)
4. Mensaje de texto e imagen: Enseñanza cognitiva literal y visual estática (T+I)
5. Mensaje de vídeo manual: Enseñanza cognitiva audiovisual dinámica de compresiones torácicas manuales (VM)
6. Mensaje de vídeo robot: Enseñanza cognitiva audiovisual dinámica de compresiones torácicas mecánicas (VR)

## Desarrollo de la innovación

Se realizó el siguiente estudio para la enseñanza-aprendizaje de habilidades psicomotoras, suministrando distintos mensajes docentes, a los alumnos y alumnas de ciencias de la salud, en un escenario de simulación clínica.

### Diseño

Estudio de investigación docente, transversal, prospectivo y casi-experimental.

### Factor de estudio

Mensaje docente, asignando de forma aleatoria, para adquirir la competencia que permita al alumno realizar compresiones torácicas, en la reanimación cardiopulmonar del adulto (RCP), sobre un maniquí en un escenario de simulación clínica.

### Mensajes docentes

Elaborados con las últimas recomendaciones de las Sociedades Internacionales de Reanimación Cardio Pulmonar (Olasveengen, 2021), que se describen a continuación.

-Sin mensaje: Grupo control: Consiste en que el alumno/alumna realice las compresiones torácicas sin recibir ningún tipo de mensaje docente.

-Mensaje de texto (enseñanza literal): Consiste en la lectura de un texto con una extensión de 137 palabras, y que requiere un tiempo aproximado de un minuto.

-Mensaje de audio (enseñanza verbal): Consiste en la audición del mismo texto (grabado), y que requiere un tiempo de audición aproximado de un minuto.

-Mensaje de texto e imagen (enseñanza visual estática): Consiste en la visualización de una hoja din a4 que contiene el texto anterior y 4 imágenes, tipo dibujos obtenidos de las publicaciones científicas de las sociedades internacionales de RCP, y que requieren un tiempo de visionado aproximado de un minuto.

-Mensaje de vídeo manual (enseñanza audiovisual dinámica de compresiones torácicas manuales): Consiste en la reproducción del mismo audio con la actuación sincronizada de un personal sanitario sobre un maniquí de RCP de adulto (formato vídeo con imagen y sonido simultáneos), realizando las compresiones torácicas

de forma manual, mientras escucha una voz en off del audio grabado, y que requiere un tiempo de visionado de un minuto.

-Mensaje de vídeo robótico (enseñanza audiovisual dinámica de compresiones torácicas mecánicas): Consiste en la reproducción del mismo audio con la actuación sincronizada de un personal sanitario que pone un cardiocompresor mecánico (Lucas 2®) sobre un maniquí de RCP de adulto (formato vídeo con imagen y sonido simultáneos), realizando las compresiones torácicas de forma mecánica, mientras escucha una voz en off del audio grabado, que indica paso a paso las semejanzas entre la acción del brazo robótico del cardiocompresor y las compresiones manuales, y que requiere un tiempo de visionado de un minuto. (Steen, 2002; Casado, 2014; García Risco, 2020).

Los mensajes de texto, audio y visual estático se construyeron siguiendo los procesos que recomienda la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia: seleccionando las palabras y las imágenes relevantes de los mensajes de texto, audio y visual estático, y organizando las palabras e imágenes seleccionadas en una representación verbal y pictórica coherentes (Mayer, 1990; 2002; 2014).

La construcción de los mensajes de vídeo (audiovisual dinámico), con representación humana o robótica se ha realizado de acuerdo con las recomendaciones de la literatura científica (Castro, 2014; 2015).

### **Población**

Alumnos y alumnas, de primeros cursos del grado de medicina y enfermería de las universidades implicadas (católica de Valencia, pública de Murcia y pública de Valencia), reclutados consecutivamente por conveniencia, que no tengan conocimientos ni habilidades prácticas para realizar las compresiones torácicas en la reanimación cardio pulmonar del adulto, y que formalicen un consentimiento informado.

### **VARIABLES DEL ESTUDIO**

Variables discretas, cualitativas dicotómicas obtenidas de un formulario de verificación “ad hoc”, construido con las últimas recomendaciones científicas para realizar las compresiones torácicas en la RCP del adulto (Olasveengen, 2021), que consta de 10 ítems, con resultado binario (Si/No) de cada uno de ellos. Tabla 3.

**Tabla 3.** Formulario de verificación construido con 10 ítems, de resultado binario o dicotómico en cada uno de ellos (elaboración propia)

<b>Ítem</b>	<b>Resultados prácticos de aprendizaje: El alumno...</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
01	Se arrodilla al lado del maniquí a la altura del tórax		
02	Coloca el talón de una mano en el centro del pecho del maniquí		
03	Coloca el talón de su otra mano sobre la primera mano		
04	Entrelaza los dedos de ambas manos		
05	Mantiene sus brazos rectos		
06	Se coloca verticalmente sobre el pecho del maniquí		
07	Presiona el esternón, desplazando la cara anterior del tórax hasta una profundidad de 5 a 6 cm		
08	Después de cada compresión, suelta toda la presión sobre el pecho del maniquí permitiendo que el tórax retroceda completamente a su posición inicial		
09	Mantiene el contacto entre las manos y el pecho del maniquí		
10	Repite las compresiones a un ritmo de 100 a 120/minuto con el menor número posible de interrupciones		
<b>PUNTOS</b>			

## Comentarios

### Equipo

Maniquí de cuerpo entero de adulto para la práctica de la reanimación cardio pulmonar (RCP) básica. Ordenador con archivos de cada uno de los mensajes docentes. Listado de números aleatorios o dado estándar de 6 caras. Formulario de verificación descrito más arriba.

### Procedimiento

Tras aceptar voluntariamente participar en el estudio, los alumnos y alumnas firmaron un consentimiento informado, y el investigador asignó a cada uno de ellos de forma individual y aleatoria, uno sólo de los mensajes docentes (factor de estudio), para que adquiriera la habilidad psicomotora y realizara las compresiones torácicas en la reanimación cardio pulmonar sobre un maniquí de RCP adulto, en un escenario de simulación clínica; tras recibir el mensaje, con un tiempo de lectura, audición o visión de aproximadamente un minuto, se le invitó a efectuar la habilidad psicomotora (compresiones torácicas) sobre maniquí durante un tiempo aproximado de dos minutos.

Durante la realización del procedimiento el docente realizó una evaluación práctica administrativa del desempeño del alumno, con el formulario de verificación descrito anteriormente, en un escenario de simulación clínica, en el que presencialmente solo están un participante y el investigador docente, alejados de las miradas de otros alumnos.

### Aspectos éticos y legales

El tratamiento, comunicación y cesión de los datos obtenidos se hizo conforme a lo dispuesto por la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos de carácter personal. Se solicitó autorización al Comité de Ética e Investigación de las universidades implicadas.

En todo momento del estudio, se preservó la intimidad del participante, eliminando todos los elementos que pudieran permitir su identificación, anonimizando las bases de datos y los formularios de evaluación.

Previo a la realización del estudio los alumnos y alumnas fueron informados y dieron su consentimiento para participar mediante la cumplimentación del consentimiento informado.

## Resultados

Se reclutaron un total de 312 alumnos y alumnas, de los que 88 (28,2%) fueron del primer curso de medicina de la Universidad Católica de Valencia (UCV), 72 (23,1%) de primero y segundo curso de medicina de la Universidad de Murcia (UMU), y 152 (48,7%) de primer curso de enfermería de la Universidad de Valencia (UV).

Estos participantes se asignaron aleatoriamente a un grupo distinto: Sin mensaje (0: grupo control), con mensaje de audio (A), con mensaje de texto (T), con mensaje de texto e imagen (T+I), con mensaje de vídeo manual (VM), y con mensaje de vídeo robótico (VR).

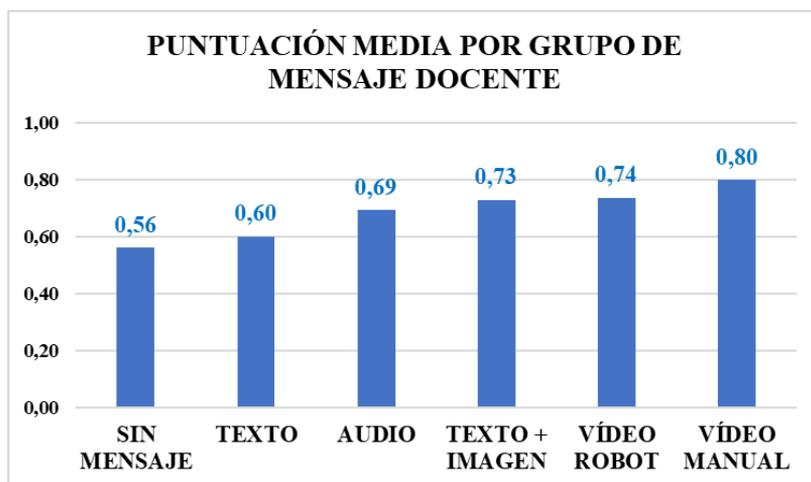
Con el paquete estadístico fStats-UCV se realizó un análisis de la varianza (Anova), con descripción de los grupos. Tabla 4, donde se muestra el número de observaciones, la media y su intervalo de confianza al 95%, la varianza y el efecto del tipo de mensaje (factor) sobre la media de puntuación por grupo (variable respuesta), observando que está por debajo de la media global (0,69) en los grupos sin mensaje (-0,12) y con mensaje de texto (-0,08); está en la zona media (0,01) con el mensaje de audio; y está por encima de la media en los grupos con mensaje de texto e imagen estática (0,05), con mensaje de vídeo robot (0,05) y de

vídeo manual (0,11). Se observa que la media del grupo sin mensaje está muy por debajo de la media global, ocurriendo lo contrario, en el grupo de vídeo manual.

**Tabla 4.** Puntuación media obtenida por cada uno de los grupos de mensajes docentes, y sus estadísticos principales

Estadísticos principales					IC del 95%	
Mensaje docente	Nº	Media	Efecto	Varianza	Desde	Hasta
Sin mensaje	54	0,56	-0,12	0,04	0,51	0,61
Mensaje de texto	60	0,60	-0,08	0,04	0,56	0,65
Mensaje de audio	44	0,69	0,01	0,03	0,64	0,75
Mensaje de texto e imagen	51	0,73	0,05	0,03	0,68	0,78
Mensaje de vídeo robot	57	0,74	0,05	0,03	0,69	0,78
Mensaje de vídeo manual	46	0,80	0,11	0,01	0,75	0,85
<b>Total / Media global</b>	<b>312</b>	<b>0,69</b>				

La figura 1 muestra la puntuación media alcanzada por todos los alumnos en cada uno de los grupos por mensaje docente recibido.



**Figura 1.** Puntuación media alcanzada por todos los alumnos en cada uno de los grupos por mensaje docente recibido

El análisis realizado con el test ANOVA no balanceado (al ser grupos de distinto tamaño) de una vía se muestra en la tabla 5, donde se compara la variabilidad debida al Factor (tipo de mensaje), también llamada variabilidad entre grupos, con la variabilidad debida al Error (muestreo), también llamada variabilidad intragrupos, mostrando un valor muy superior del MS Factor (0,42) al MS Error (0,03), con una relación entre ambas (F-ratio) muy elevada (13,6665), y claramente superior al valor crítico (F-table, 2,2435), por lo que al superar este valor se rechaza la igualdad de medias (hipótesis nula), obteniendo un p-value significativo de 0,0000.

Tabla 5. Análisis estadístico ANOVA no balanceado de una vía

Source	SS	df	MS	F-ratio	F-table	p-value
Factor	2,11	5	0,42	13,6665	2,2435	0,0000
Error	9,43	306	0,03			
Total	11,53	311	0,04			

Este análisis de la varianza rechaza que las cinco medias sean iguales, y comprueba dónde están las diferencias con los intervalos LSD (Least Significant Difference: diferencia mínima significativa) de todos los grupos, indicando dónde hay solapamiento entre los intervalos.

En la figura 2 se comprueba que hay solapamiento del grupo sin mensaje con el grupo de texto, y de ninguno de estos dos con el resto de grupos; que, si hay solapamiento entre los grupos de audio, texto e imagen y vídeo robot; y que el grupo de vídeo manual no se solapa con ningún otro.

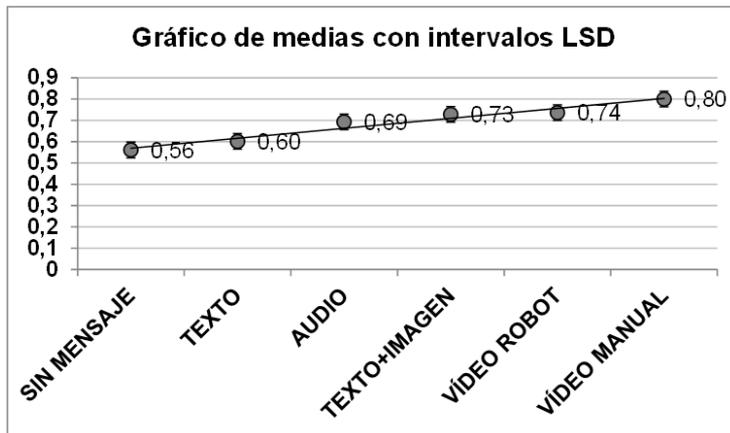


Figura 2. Gráfico de medias con intervalos LSD (diferencia mínima significativa) de todos los grupos

El análisis de la diferencia de medias para dos muestras independientes de cada grupo con los demás comprueba cuál es la distancia entre ellos; sus resultados se muestran en la tabla 6, observando que la puntuación media alcanzada por el grupo que no recibió mensaje es inferior significativamente a todos los demás excepto para el grupo de texto con el que no muestra diferencia; de manera similar la puntuación media de este último también es inferior significativamente a todos los demás. El grupo de audio no muestra diferencias significativas con los grupos de texto e imagen ni con vídeo robot, pero si es significativamente inferior al grupo de vídeo manual. El grupo de texto e imagen no muestra diferencias significativas con el grupo de vídeo robot, pero si es significativamente inferior al grupo de vídeo manual. Finalmente, el grupo de video robot es inferior significativamente que el grupo de vídeo manual.

**Tabla 6.** Diferencia de medias para dos muestras independientes de todos los mensajes docentes analizados por pares

Contraste de mensajes	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Media <sub>1</sub>	Media <sub>2</sub>	P
SM <sub>1</sub> vs T <sub>2</sub>	54	60	0,56	0,60	0,2642
SM <sub>1</sub> vs A <sub>2</sub>	54	44	0,56	0,69	0,0006
SM <sub>1</sub> vs T+I <sub>2</sub>	54	51	0,56	0,73	< 0.0001
SM <sub>1</sub> vs VR <sub>2</sub>	54	57	0,56	0,74	< 0.0001
SM <sub>1</sub> vs VM <sub>2</sub>	54	46	0,56	0,80	< 0.0001
T <sub>1</sub> vs A <sub>2</sub>	60	44	0,60	0,69	0,0133
T <sub>1</sub> vs T+I <sub>2</sub>	60	51	0,60	0,73	0,0004
T <sub>1</sub> vs VR <sub>2</sub>	60	57	0,60	0,74	0,0002
T <sub>1</sub> vs VM <sub>2</sub>	60	46	0,60	0,80	< 0.0001
A <sub>1</sub> vs T+I <sub>2</sub>	44	51	0,69	0,73	0,3090
A <sub>1</sub> vs VR <sub>2</sub>	44	57	0,69	0,74	0,2277
A vs VM <sub>2</sub>	44	46	0,69	0,80	0,0010
T+I <sub>1</sub> vs VR <sub>2</sub>	51	57	0,73	0,74	0,8148
T+I <sub>1</sub> vs VM <sub>2</sub>	60	46	0,60	0,80	< 0.0001
VR <sub>1</sub> vs VM <sub>2</sub>	57	46	0,74	0,80	0,04110

## Discusión

Nuestro grupo ha publicado recientemente sus hallazgos, en un estudio de investigación docente, para la adquisición de habilidades psicomotoras (estrechamente emparentadas con el sistema de neuronas espejo), con empleo de diversos mensajes tanto en el canal auditivo-verbal (que incluye la información escrita), como en el canal visual-pictórico (que incluye la animación) (Höffler, 2007; Mayer, 1990; 2002; 2014); en esta investigación constatamos una clara superioridad para el aprendizaje de las habilidades psicomotoras, con el mensaje animado (vídeo manual) (Tormo-Calandín, 2023); y aunque los resultados, son superponibles a los actuales, el estudio adoleció de ser unicéntrico, tener una población poco numerosa y no realizar ninguna incursión en el mundo de la simulación robótica para el aprendizaje de las habilidades psicomotoras.

En la presente investigación introducimos éste nuevo elemento, para intentar conocer el impacto directo de la simulación robótica en la enseñanza-aprendizaje de las habilidades psicomotoras, e indirectamente comprobar su impacto en el sistema de neuronas espejo.

Las investigaciones neurocientíficas citadas en la tabla 2 se centran en movimientos muy simples, sobre todo de agarre, apertura y cierre de una mano humana o robótica, estimulando-activando el sistema de neuronas espejo con mensaje visual dinámico, unos con emisor humano y robótico físico-presencial (Kilner, 2003; Castiello, 2002; Tai, 2004; Ito, 2004); otros con emisor sólo humano (Shimada, 2010 y 2012); a través de pantalla de computador (Press, 2005; Gazzola, 2005; Oberman, 2007; Shimada, 2010 y 2012), y otro con emisor robótico físico y también por pantalla de computador (Goh, 2012).

En esas investigaciones, tras estimular el sistema de neuronas espejo, con los mensajes precedentes, se evaluó su activación con diferentes procedimientos, empleando técnicas muy sofisticados y contrastadas científicamente, como la cinemática del movimiento realizado por el observador (Kilner, 2003; Castiello, 2002), con pruebas de imagen como la tomografía por emisión de positrones (Tai, 2004), o la resonancia magnética funcional (Gazzola, 2005), con espectroscopia de infrarrojo cercano (Shimada, 2010 y 2012; Goh, 2012); con pruebas bioeléctricas como la electromiografía del primer músculo interóseo de la mano derecha (Press, 2005), o la electroencefalografía con supresión de las ondas “mu” (Oberman, 2007); y con

evaluación de las interacciones imitativas entre un usuario y un robot humanoide provisto de una red neuronal dinámica con un sistema de espejos (Ito, 2004).

Todas estas investigaciones neurocientíficas se realizaron con poblaciones muy pequeñas en número (menor de 20 reclutados), ninguna sobre neurodocencia, y a pesar de su elevado y complejo nivel procedimental, condujeron a resultados ambiguos, ya que algunos autores encontraron que el SNE del observador responde tanto a los movimientos robóticos como humanos (Press, 2005; Gazzola, 2005; Shimada, 2010 y 2012; Goh, 2012; Ito, 2004), y otros autores encuentran que el SNE del observador no responde a los movimientos robóticos y si a los humanos (Kilner, 2003; Castiello, 2002; Tai, 2004; Oberman, 2007).

En la presente investigación los movimientos realizados por el alumno-observador son mucho más complejos, ya que requieren la coordinación de todo el cuerpo, manos brazos y piernas; la estimulación del SNE se realizó con procedimientos similares a los descritos en las investigaciones neurocientíficas (visual estático y dinámico), y la respuesta se midió con un sencillo formulario de verificación, sin emplear costosos procedimientos de laboratorio o de imagen. Finalmente, las poblaciones que estudiamos fueron muy numerosas para cada uno de los mensajes-estímulo (44-60 por grupo), lo que confiere una mayor solidez a los resultados obtenidos, en los que se muestra toda una escala incremental, en del desempeño de los alumnos y alumnas, con el estímulo de los diferentes mensajes docentes: texto, audio, texto e imagen, vídeo mecánico y vídeo manual; resultados que muestran con claridad que la estimulación robótica si es capaz de activar el SNE, aunque con menor intensidad que la estimulación humano-humano con movimientos fluidos y acompasados, lo que concuerda con lo descrito por otros autores (Tai, 2004; Castro, 2014 y 2015).

Es interesante el hallazgo descrito en la literatura científica que sostienen que el SNE se activa con más intensidad cuando el movimiento de respuesta requerido está en el repertorio motor del propio observador, en comparación con una acción que no lo está (Shimada, 2012); en nuestra investigación los sujetos seleccionados lo fueron por no disponer de ese repertorio motor, y sin embargo el SNE fue activado con gran eficacia por los diferentes mensajes docentes.

Este es el primer proyecto de investigación docente para la adquisición de habilidades psicomotoras por alumnos de ciencias de la salud, mediante simulación clínica, en el que se analiza la estimulación robótica del SNE, en el seno de otros mensajes no mecánicos, comparando la eficacia de cada uno de ellos.

Los resultados del estudio revelan una clara superioridad para el aprendizaje de las habilidades psicomotoras con el empleo de mensaje dinámicos (vídeo), que muestran una persona realizando la habilidad motora, con una acción fluida y congruente, hallazgos que coinciden con las conclusiones de un metaanálisis, en el que se confirma que las animaciones son especialmente efectivas para adquirir conocimiento procedimental-motor (Höffler, 2007).

El presente estudio también comprueba la eficacia en el aprendizaje de las habilidades psicomotoras complejas con el empleo de un mensaje de vídeo que muestra un brazo robótico realizando esa habilidad, en consonancia con otros autores (Ito, 2004; Press, 2005; Gazzola, 2005; Goh, 2012), aunque en un nivel inferior al anterior al aprendizaje humano-humano.

Finalmente se debe tener en cuenta que el mensaje de texto e imagen estática, también favorece la adquisición de las habilidades psicomotoras, tal como está descrito (Mayer, 1990; 2002; 2014), y que en la presente investigación este mensaje es significativamente muy superior al de texto aisladamente, y al mismo nivel que el mensaje de vídeo robótico, con el que no muestra diferencias significativas.

## Conclusiones

La competencia para realizar diferentes habilidades psicomotoras es imprescindible en las ciencias de la salud. Estas habilidades se adquieren mediante la observación e imitación, procesos directamente relacionados con la función de las neuronas en espejo que, habitualmente se estimulan con diferentes mensajes docentes estáticos (audio, texto, texto con imagen) o dinámicos con representación humana (vídeo).

En la industria y servicios el empleo de mecanismos automatizados (robots) es cada vez más frecuente con más interacción humano-robot, y aunque se ha investigado la activación del sistema de neuronas espejo con estimulación humana o robótica por acciones simples (apertura y cierre de mano o movimiento de brazo), no se ha comprobado su activación para la enseñanza-aprendizaje de habilidades complejas.

El presente estudio comprueba la superioridad para la enseñanza-aprendizaje de una habilidad psicomotora compleja (compresiones torácicas en la RCP del adulto), empleando un mensaje animado con representación humana, seguido del mensaje animado robótico, que está al mismo nivel que el estático de texto e imagen, quedando en inferioridad los mensajes docentes de texto y audio.

## Referencias

- Bautista, J., & Navarro, J.R. (2011). Neuronas espejo y el aprendizaje en Anestesia. *Revista Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia*, 59 (4): 339-51.
- Béjar, M. (2014). *Neuroeducación. Padres y Maestros*, 355: 49-53.
- Blakemore, S.J., & Frith U. 2007. *Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación*. Editorial Ariel. Barcelona.
- Buccino, G., Binkofski, F., & Riggio, L. (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain and Language*, 89 (2): 370-376.
- Bueno i Torrens, D. (2021). *Neurociencia para educadores*. Editorial Octaedro, 8ª ed. Barcelona. España.
- Campos, A.L. (2010). *Neuroeducación: Uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano*. Asociación Educativa para el Desarrollo Humano (ASEDH).
- Camón Julián, L. (2016). *Las neuronas espejo y la imitación (Revisión bibliográfica)*. Trabajo de Fin de Grado en Biología. Universidad de Salamanca.
- Carballo Márquez, A., & Portero Tresserra, M. (2019). *10 ideas clave. Neurociencia y educación. Aportaciones para el aula*. Editorial Graó 2ª reimpresión. Barcelona. España.
- Castiello, U., Lusher, D., Mari, M., Edwards, M. & Humphreys G.W. (2002). Observing a human and a robotic hand grasping an object: differential motor priming effects. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action, Attention and performance XIX*. New York: Oxford University Press, 2002.
- Castro-Alonso, J.C., Ayres, P. & Paas, F. (2014). Dynamic visualizations and motor skills, In Huang W. *Handbook of Human Centric Visualization*. New York: Springer, 551-80.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7485-2\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7485-2_22)
- Castro-Alonso, J.C., Ayres, P. & Paas, F. (2015). Animations showing Lego manipulative tasks: Three potential moderators of effectiveness. *Computers and Education*, (85), 1-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.12.022>

- Carretero Casado, M. J., Fontanals, J., Arguis, M.J., Martínez-Ocón, J., Ruíz, A., Ríos, J. (2014). Reanimación con cardiocompresores : comparación de los efectos hemodinámicos entre LUCAS y AutoPulse en un modelo porcino. *Emergencias*, (26), 459-63.
- De La Barrera, ML., & Donolo, D. (2009). Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje. *Revista Digital Universitaria*, 10 (4): 1-17.
- Fabri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror Neurons and Mirror Systems in Monkeys and Humans. *Physiology*, 23: 171-179.
- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & 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 (8): 1703-14.
- Gaba, D.M. (2007). The future of simulation in healthcare. *The Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 2(2), 126-35. <https://doi.org/10.1097/01.sih.0000258411.38212.32>
- García Risco, R. (2020). Valoración de la calidad de la RCP mediante el empleo de simuladores electromecánicos. Trabajo fin de grado para optar al título de “grado en medicina”. Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.
- Gazzola, G., Rizzolatti, B., Wicker, C., Keysers. (2005). The anthropomorphic brain: The mirror neuron system responds to human and robotic actions. *NeuroImage*, 35,(4), 1674-84.
- Gopar Rodríguez, E. (2019). La Neuroeducación. Trabajo fin de grado de Maestro de Educación Primaria. Facultad de Educación. Universidad de la
- Goh, M., Kanda, T., Ishiguro, H., Hiraki, K. (2012). A Humanoid Robot Activates the Human Mirror Neuron System. *Cognitive Studies*. 19(4),434-44.
- Höffler, T.N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-38. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013>
- Ito, M., & Tani, J. (2004). On-line imitative interaction with a humanoid robot using a dynamic neural network model of a mirror system. *Adaptive Behavior*, 12(2), 93-115.
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., & Blakemore, S.J. (2003). An interference effect of observed biological movement on action. *Current Biology*, 13(6), 522e25.
- Mayer, R.E. & Gallini, J.K. (1990). When Is an Illustration Worth Ten Thousand Words?. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-26. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.4.715>
- Mayer, R.E. & Moreno, R. (2002). Animation as an Aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, (14), 87-99. <https://doi.org/10.1023/A:1013184611077>
- Mayer, R.E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press. Second edition. Cambridge University Press, 43-71. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139547369.005>
- Mora Teruel, F. (2002). *Cómo funciona el cerebro*. Alianza editorial SA. 1ª ed. Madrid.
- Mora Teruel, F. (2021). *Neuroeducación. Solo se puede aprender aquello que se ama*. 3ª Ed. Alianza Editorial. Madrid. España.
- Oberman, L.M., McCleery, J.P., Vilayanur S. Ramachandran, V.S., Pineda, J.A. (2007). EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*. 70(13–15), 2194-203.
- Olasveengen TM., Semeraro F, Ristagno., et al. (2021). European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. *Resuscitation*, 2021, 161: 98-114.
- Press, C., Bird, G., Flach, R., & Heyes, C. (2005). Robotic movement elicits automatic imitation. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 632-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.08.020>.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (1999). Resonance behaviours and mirror neurons. *Archives Italiennes de Biologie*, 137: 85-100.

- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2007). Mirror neurons and motor intentionality, *Functional Neurology*, 22 (4): 205-10.
- Rizzolatti, G., Fabri-Destro, M., & Cattaneo, L. (2009). Mirror neurons and their clinical relevance. *Nature Clinical Practice Neurology*, 5 (1): 24-34.16.
- Shimada, S. (2010). Deactivation in the sensorimotor area during observation of a human agent performing robotic actions. *Brain and Cognition*. 72,(3), 394-9.
- Shimada, S., & Oki, K. (2012). Modulation of motor area activity during observation of unnatural body movements. *Brain and Cognition*, 80(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2012.04.006>.
- Steen, S., Liao, Q., Pierre, L., Paskevicius, A., Sjöberg, T. (2002.) Evaluation of LUCAS, a new device for automatic mechanical compression and active decompression resuscitation. *Resuscitation*, 55(3), 285-99. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030095720200271X>
- Tai, Y.F., Scherfler, C., Brooks, D.J. Sawamoto, N. & Castiello, U. (2004). The human premotor cortex is 'mirror' only for biological actions. *Current Biology*, 14: 117-120.
- Tormo-Calandín, C. Hernández-Vargas, C.I., Ruíz-López, J.L., Tapia-Jurado, J., Prats-Martínez, V. (2022) Teleformación mediante simulación clínica con avatares humanos: raíces docentes y neurobiológicas. *Revista Mexicana de Educación Médica*, 9(2), 53-6.
- Tormo-Calandín, C., Ruíz-López, J.L., Casaña-Mohedo, J., Casal-Angulo, C., Adánez-Martínez, G., García-Bermejo, P., Sinisterra Aquilino, J.A., Prats-Martínez, V. y Martínez Gimeno, A. (2023). Aprendizaje de las habilidades psicomotoras en simulación clínica: Metodología docente y resultados preliminares. *Revista Colección Congresos Universidad Politécnica de Valencia. In-Red 2023 - IX Congreso Nacional de Innovación Educativa y Docencia en Red*.