



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**NUEVA EVIDENCIA EMPÍRICA SOBRE EL  
PAPEL DEL MOVIMIENTO VOLUNTARIO EN  
LA PERCEPCIÓN: ESTUDIO CON BASE EN UN  
DISPOSITIVO DE SUSTITUCIÓN SENSORIAL**

**TESIS**

Para obtener el título de

**Licenciado en Psicología**

**PRESENTA**

Guillermo Ulises Ortiz Garin

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Tom Froese

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2019



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.

# Agradecimientos

El presente trabajo financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) “Explorando los alcances de la auto-organización social: desde la cultura hasta la célula” (IA104717) gracias a la beca de titulación otorgada por el Dr. Tom Froese, por esa razón, creo que sería pertinente agradecer principalmente al él por haberme permitido realizar la tesis que me interesaba: siempre le estaré agradecido por el apoyo y la confianza que les brinda a sus alumnos. Por otra parte, también es necesario mencionar que gracias a su grupo de investigación “4e Cognition”, el cual es un grupo bastante amigable y solidario, es que pude realizar los experimentos de este proyecto. De este grupo, le agradezco al maestro Jorge Iván Campos quien les habló de mi experimento a sus alumnos y me permitió obtener la participación de algunos de ellos; le agradezco a mi compañero Javier Flores, quien en sus servicio social se esforzó bastante en ayudarme a correr los experimentos; a Gabriela Horcasitas y a Martí Medina que sin tener ninguna obligación, me ayudaron a correr algunos experimentos de la mejor manera posible. Cabe mencionar que también otras personas que atienden el seminario o pertenecen al grupo “4e cognition”, participaron de la manera más atenta en los pilotajes del experimento, a todos ellos: se los agradezco mucho.

Me gustaría agradecer al Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la UNAM por haberme permitido guardar mis dispositivos y permitido correr mis experimentos en sus instalaciones. Por otro lado, me gustaría agradecer

a los investigadores y profesores de la facultad de psicología. Al Dr. Antonio Zainos, le agradezco que me permitiera hablar con su grupo para buscar voluntarios en mi experimento, además de los consejos y comentarios que me brindó en su momento; al Dr. Arturo Bouzas, le agradezco que en sus clases siempre nos haya motivado a ser mejores profesionales; también le agradezco por los consejos y observaciones del experimento que realicé. Por último, aunque no tuve el honor de haber tomado alguna de sus clases; le agradezco a la Dra. Azalea Reyes y al Dr. Israel Vaca por las observaciones que me hicieron del presente trabajo.

Agradezco al Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano, por haberme brindado libros para regalar en los experimentos, principalmente, a la Dra. Paola Hernández Chávez que me recibió de la manera más atenta. Por otro lado, la secretaria del IIMAS del cuarto piso Pilar, también me brindo material para regalar: muchas gracias.

Ahora, me gustaría agradecerles a muchas personas por estar presentes en los mejores momentos de mi vida, como a mi hermana, familiares o ciertos amigos. Sin embargo, particularmente les agradezco a mis padres que siempre han estado ahí para mí. Gracias a mi madre Hortensia, a quién quiero mucho y admiro por haber superado las dificultades de su época hasta llegar a ser el principal sostén de nuestra familia; gracias a mi padre que siempre ha estado se ha preocupado por mi hermana y por mí, demostrando que el amor no es algo material. Aunque no siempre se los diga, yo los respeto y quiero mucho.

Le quiero agradecer a la maestra Martha Ortiz, de quién tengo la suerte de ser su sobrino, por hablar con mis padres y hacerles saber que la investigación científica también

es un trabajo interesante e importante. A ella, también le debo el que haya hablado con sus alumnos acerca de mi experimento, lo que me permitió obtener más participantes en mis pruebas. Gracias por siempre preocuparte por tus sobrinos.

Por último, me gustaría agradecer a mis amigos de la carrera por todas las alegrías y experiencias que vivimos a lo largo de este proceso.

A Gabriela Martínez, a quien considero una persona muy linda e inteligente, le agradezco esas risas y momentos divertidos que han fortalecido nuestra amistad a lo largo de estos años.

A Natalia Coca le agradezco que sea una persona que se preocupa por la amistad y que no permite que nos distanciamos mucho, además de ser una muy buena amiga que siempre se preocupa por ti.

Finalmente, le agradezco a Héctor Gómez que sea el tipo de amigo que te empuja a superarte y a ser una persona más culta e informada.

# Resumen

En las últimas décadas, algunos enfoques han resaltado el papel del movimiento en la percepción. La mayoría de estos, describe a la acción como un medio que permite interactuar con la información perceptual del ambiente que nos rodea. Sin embargo, un debate importante ha surgido al tratar de entender el rol del movimiento en la generación y transformación de información perceptual.

La mayoría de la evidencia empírica indica que los movimientos intencionales generan una fuente más rica en información perceptual en comparación al movimiento impuesto. En el siguiente trabajo se parte de esta idea y se intenta replicar un experimento clásico que ha sido mencionado comúnmente en la literatura de la percepción basada en acción, en el cual se demuestra la necesidad del movimiento autogenerado para desarrollar un sistema visomotor normal y realizar tareas de discriminación perceptual. Lo último mencionado es lo que se buscará probar mediante la generación de un experimento que asemeje la configuración original ocupada por Held y Hein (1963). Para realizar esto, fue necesario depender de una técnica que en los últimos años se ha ocupado para estudiar percepción: los sistemas de sustitución sensorial. Además de esto, fue necesario crear otro dispositivo en forma de caja que permitiera que ambos participantes estuvieran expuestos a la misma trayectoria del movimiento e información perceptual, en un espacio y un tiempo limitado. Por otro lado, se creó un dispositivo de registro de conducta que fue integrado a la caja y que permitió el registro de diversos datos, de los cuales, sólo se ocuparon unos cuantos,

principalmente, aquéllos que permitieron contrastar la habilidad de discriminar en la condición de movimiento auto iniciado contra la condición movimiento impuesto.

Con el fin de probar la configuración creada (la caja y el dispositivo de conducta), se realizó una tarea de discriminación perceptual como pilotaje previo al experimento principal y se buscó determinar la anchura de los objetos a discriminar en la tarea. Dicho pilotaje, consistió en un tarea de elección forzada de dos opciones de respuesta y un estímulo contante. Posteriormente, se realizó el experimento principal el cual consistió en pedirle a diadas de participantes, que discriminaran la anchura de dos objetos que se decidieron mediante el pilotaje. La tarea de discriminación perceptual se dividió en dos bloques, lo que derivó en la realización de tres análisis diferentes con los datos registrados. El primer análisis fue utilizado las observaciones del promedio de respuesta del primer bloque, con el fin de contrastar las habilidades de discriminación en ambos grupos: movimiento autoiniciado y movimiento impuesto. Por otra parte, el segundo análisis nos permitió contrastar la habilidad de discriminación cuando la condición del movimiento cambiaba, es decir, después del primer bloque se realizó (o no) un cambio en la generación de movimiento de los participantes para la tarea de discriminación perceptual; se utilizaron los datos de promedio de respuesta. En el último análisis, se utilizaron todas las observaciones de una diada de participantes con el fin de aprovechar la mayor cantidad de datos posibles registrados durante el experimento, y de esta forma, comprender con más detalle la tarea de discriminación perceptual.

Los resultados de primer análisis nos indicaron que no existen diferencias significativas entre ambos grupos: percepción mediante movimiento autoiniciado y percepción mediante movimiento impuesto. Lo que contrasta lo descrito por Held y Hein (1963) y apoya

el supuesto de que el movimiento es sólo es medio instrumental para transformar la información perceptual del ambiente. Por otro lado, en el segundo análisis tampoco se encontraron diferencias significativas mediante un modelo mixto, lo que nos indica que las habilidades perceptuales no se ven afectadas al cambiar la condición perceptual. Sin embargo, al realizar el tercer análisis, encontramos que muchos factores pudieron haber influido en la decisión de los participantes en cada ensayo. Principalmente se encontró que la diferencia entre el objeto grande y el objeto chico no siempre es la misma, y en algunos ensayos, se observa que la diferencia entre ambos objetos es casi nula. Por último, se busca destacar la necesidad de realizar el mismo análisis en todas las observaciones registradas, con el fin de buscar un patrón similar y formular hipótesis que nos permitan comprender las estrategias utilizadas por los participantes.

# Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>8</b>
2.1. Percepción basada en acción . . . . .	8
2.2. El papel del movimiento autoiniciado en percepción . . . . .	13
2.3. Sustitución sensorial: una forma de generar evidencia empírica en percepción.	17
<b>3. Experimento</b>	<b>22</b>
3.1. Método . . . . .	23
3.2. Pilotaje: discriminación de anchuras mediante el dispositivo Enactive Torch	28
3.2.1. Procedimiento . . . . .	30
3.2.2. Instrucciones . . . . .	31

---

3.2.3. Análisis de los datos . . . . .	32
3.2.4. Resultados . . . . .	32
3.3. Experimento principal . . . . .	36
3.3.1. Hipótesis . . . . .	38
3.3.2. Procedimiento . . . . .	39
3.3.3. Instrucciones . . . . .	40
3.3.4. Análisis y resultados . . . . .	42
<b>4. Discusión</b>	<b>55</b>
4.1. Pilotaje: discriminación de anchuras mediante el dispositivo Enactive Torch	56
4.2. Experimento principal . . . . .	60
<b>5. Conclusiones y Trabajo a Futuro</b>	<b>67</b>
5.1. Conclusiones del presente estudio . . . . .	67
5.2. Trabajo a futuro . . . . .	70
<b>Anexo</b>	<b>81</b>
A.1. Curvas psicométricas . . . . .	81

A.2. Histogramas . . . . .	81
A.3. Gráfico de los residuales: ANOVA mixto . . . . .	81
A.4. Suposiciones a cumplir en el modelo lineal . . . . .	81
A.5. Gráfico de interacción . . . . .	81

# Capítulo 1

## Introducción

La relación entre cognición y acción<sup>1</sup> ha sido motivo de un debate extenso en los últimos años, principalmente por el surgimiento de algunos enfoques que defienden la idea de que la cognición y la acción están ligadas de alguna manera (Barsalou, 2008; Beer, 2003; Brooks, 1991; Hurley, 2001; Schütz-Bosbach y Prinz, 2007). La teoría de simulación (Gallese y Goldman, 1998); la teoría de código predictivo (Kilner y cols., 2007); la teoría ideomotora (W. Prinz, 1997); la teoría sensoriomotora (O'Regan y Noë, 2001) y la psicología ecológica (J. Gibson, 1979) son algunos ejemplos de los enfoques mencionados. Muchos de los supuestos defendidos por estos enfoques, están fundamentados en evidencia empírica que liga estructuras de acción con mecanismos cognitivos. Por ejemplo, la modulación motora al realizar ciertas acciones específicas y el comprender las acciones de otros suele depender de mecanismos cerebrales compartidos (Kilner y Lemon, 2013; Rizzolatti y cols., 1996); de la misma forma, se ha encontrado evidencia neuroanatómica

---

<sup>1</sup>Todos los enfoques mencionados más adelante entienden el término “acción” ligado a estructuras motoras o a la generación de movimiento, sin embargo, algunos de ellos (p. ej. Engel y cols., 2013), rechazan la idea de que el movimiento y la acción puedan entenderse como sinónimos.

que señala una superposición de sistemas neurales al ejecutar una acción real o imaginada (Grezes y Decety, 2001). De esta manera, se defiende que la interacción entre acción y mecanismos cognitivos es innegable.

El siguiente trabajo no se centra en un enfoque en particular, ya que la mayoría de éstos son desarrollados en diferentes niveles y con diferencias cruciales tanto en los marcos empíricos y explicativos del control motor, la percepción o las habilidades conceptuales (Gentsch y cols., 2016); abordar estos planteamientos de forma individual requiere un análisis exhaustivo que está fuera del alcance de esta tesis. Sin embargo, la idea de que la acción y la cognición poseen una relación mucha más íntima, permite diferenciar estos enfoques de los tradicionales y por lo tanto abordar los fenómenos cognitivos bajo un diferente marco explicativo.

Si la relación entre acción y cognición existe ¿cómo se entiende dicha relación? Por una parte, se ha señalado a enfoques radicales que en sus supuestos tratan de reducir la comprensión de todos los fenómenos cognitivos con base en la generación de estructuras de acción (Barsalou, 2016). Este cambio de paradigma buscaría comprender la raíz de ciertos fenómenos, que comúnmente son aislados como procesos cognitivos independientes, a procesos emergentes de las interacciones motoras con el ambiente (Bovet y Pfeifer, 2005). Así mismo, sus defensores propondrían cambios conceptuales y prácticos en la implementación de protocolos de investigación que permita estudiar ciertos fenómenos cognitivos en un contexto de acción (Engel y cols., 2013). Por otro lado, existen otros enfoques menos radicales que desarrollan sus supuestos en concordancia con la ciencia cognitiva actual. En sus postulados, no buscarían reducir e implementar investigación centrada puramente en las estructuras de acción, sino que buscarían comprender la representación común que

existe entre acción y cognición, la cual se basa en: estados corporales, simulaciones de acciones y la relación con sistemas sensoriomotores (W. Prinz, 1990).

Es importante mencionar que, la presente tesis sólo puede abordar el tema de la cognición basada en la acción, desde un sólo proceso cognitivo: la percepción. A lo largo de esta tesis, se mencionará cierta evidencia que ha sido interpretada bajo el supuesto de que la percepción está basada en acción. Posteriormente se discutirá el rol de esta acción y su relación con la información perceptual, centrándome en un experimento clásico llevado a cabo por Held y Hein (1963), que pese a ser un experimento clásico, en la literatura aún se sigue discutiendo con mucho detalle, siendo uno de los pilares de los argumentos para aquéllos que defienden una relación entre la información perceptual y el movimiento generado (J. Prinz, 2006). Por otra parte, busca resaltar la importancia de dicho experimento para aquellos que estudian percepción y movimiento, así como la necesidad de generar nueva evidencia empírica en humanos en configuraciones similares. Sin embargo, ¿cómo generar experimentos de ese tipo en humanos? Afortunadamente una nueva tecnología ha surgido y se ha implementado en el estudio de la percepción con humanos. A esta tecnología comúnmente se le conoce como sustitución sensorial y aunque el principal objetivo de su desarrollo haya sido para apoyar a personas con déficit visuales, muchos investigadores han tomado ventaja de ésta para realizar experimentos en percepción que involucren movimiento (Bermejo y Arias, 2015), sin embargo, los esfuerzos que buscan su implementación en la población de personas con deficiencias sensoriales visuales, aún continúa (Maidenbaum y cols., 2014).

Por último, cabe destacar que los resultados obtenidos en esta tesis son motivo de una discusión exhaustiva; por lo tanto se propondrán trabajos a futuro que 1) nos ayuden a

comprender con más detalle el proceso de decisión y elección de los participantes (explo-  
tando al máximo todos datos recabados) y 2) la generación de nueva evidencia empírica  
que contraste con configuración utilizada en el presente trabajo.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Percepción basada en acción

Comúnmente se dice que la idea de que la percepción está basada en acción rechaza la visión clásica de procesamiento de información visual y ejecución de acciones (Hurley, 2001). En esta última, los sistemas sensoriales y motores son considerados como dominios cognitivos separados sin, o con poca, interacción. De esta forma, los sistemas sensoriales son “estimulados” por la información perceptual para posteriormente ser procesada por dos sistemas diferentes: el primero se encargará de procesar la información sensorial y el segundo de ejecutar movimientos (Fodor, 1983). Por el contrario, ya sea porque son considerados como parte del mismo dominio (Hommel y cols., 2001; Gallese y cols., 1996) o porque comparten algún mecanismo en el que la información de ambas modalidades interactúa (W. Prinz, 1997), los enfoques de percepción basada en acción, rechazan la concepción clásica de los sistemas perceptuales y motores, por lo que, su objetivo es

generar e interpretar evidencia empírica que apoye sus supuestos.

De acuerdo con Briscoe y Grush (2017) la idea de que la percepción es activa o basada en acción, está lejos de ser ambigua gracias a toda la evidencia teórica y empírica que ha surgido en torno al tema. Los trabajos que van desde la robótica hasta la psicología cognitiva, han arrojado evidencia en este campo bajo la creencia de que el objetivo principal de la percepción es la acción (Creem-Regehr y Kunz, 2010; Seth, 2014), por lo tanto, la investigación que se centra en comprender los sistemas de acción es fundamental para entender los mecanismos que subyacen a la percepción y la generación de movimiento habilidoso<sup>1</sup> (Bovet y Pfeifer, 2005).

La acción se define como un medio que permite adquirir información perceptual sobre el medio ambiente (J. Gibson, 1979). Por ende, lo que se estudia es la interacción de sistemas perceptuales y motores que permiten lograr un objetivo específico (Engel y cols., 2013). La razón de esto último es debido a la definición de acción, que implica la realización o el fallo al intento de alcanzar una meta que requiere cierto grado de control volitivo (Wilson y Shpall, 2016). Por lo tanto, en la literatura se defiende la idea de que la percepción es algo que “hacemos” en vez de algo que nos sucede (O’Regan y Noë, 2001). Lo anterior también implica la existencia de planificación y control de decisiones que nos permitirán sintonizarnos con la información relevante del ambiente (Maye y Engel, 2012). Por ejemplo, si mi objetivo es la recuperación de energía, mi sistema estará sensible a la información ambiental específica que me permita lograr mi meta, esto provocará conducta exploratoria limitada por mis capacidades corporales que me permitirán interactuar con

---

<sup>1</sup>Se dice que generar movimiento habilidoso permite lidiar efectivamente con algo difícil que involucre la generación de movimiento (Ungureanu y Rotaru, 2014). Wolpert (2007), por ejemplo, menciona que si la tarea de la mejor inteligencia artificial fuera ganar una partida de ajedrez, no habría ningún rival humano para ésta. Sin embargo, si la tarea fuera realizar el movimiento de las piezas en el tablero del ajedrez, posiblemente perdería hasta contra un niño.

las características físicas del ambiente. Supongamos que encuentro un árbol de manzanas y para buscar una manzana tengo que rodear el árbol caminando, es decir, mi exploración estará limitada por mis capacidades motoras humanas; si por el contrario yo fuera un ave, en vez de caminar volaría cerca de árbol hasta encontrar una manzana. En ese momento mi sistema atencional estará centrado en las características físicas de la manzana, sin embargo, una vez que la he localizado, la “sintonía” que tenía con la información de sus características físicas (forma o rigidez) y que a su vez provocaron el comportamiento de caminar, ya no estará más: otro tipo de información me será útil para completar mi objetivo principal<sup>2</sup>.

Existe cierta evidencia que describe la relación íntima entre el movimiento y la percepción. Por ejemplo, se ha descrito que el movimiento y la información sensorial interactúan de forma fluida para crear comportamiento motor complejo (Miall y Wolpert, 1996; Paz y cols., 2003), la emergencia de comportamiento resiliente al generar movimiento después de perturbaciones corporales sensoriales (Bongard y cols., 2006) y el papel del movimiento en la explotación de información perceptual para resolver tareas perceptuales (Beer, 2003). Esto ha llevado a la generación de varias hipótesis que buscarían un cambio pragmático en el estudio de los sistemas perceptuales y motores, resaltando la importancia de las metodologías utilizadas al estudiar la percepción (Engel y cols., 2016). Con base en esto, se cree que, si en efecto el movimiento es importante para el proceso perceptual, entonces los experimentos que prueben capacidades perceptuales en condiciones libre de movimiento no serían los más adecuados para abordar el fenómeno perceptual (Barrett

---

<sup>2</sup>El anterior ejemplo buscaría ilustrar como es que la percepción y la acción se complementan cuando hay un objetivo dirigido a metas, sin embargo, también se busca destacar como esta acción motora es limitada por las capacidades corporales que permiten sintonizar con información ambiental. Por ejemplo, en el caso de que el ave fuera la que hiciera la exploración mediante el vuelo, la información ambiental con la que estaría interactuando sería diferente.

y Würsig, 2014). Esto último ha sido el principal motivo del criticismo exhaustivo por parte de la ciencia cognitiva porque sugeriría que mucha evidencia generada desde las neurociencias tendría que ser reinterpretada (O'Regan y Noë, 2001). Por otra parte, los proponentes de estas teorías no son los únicos que sugieren un cambio de paradigma a la hora de estudiar la percepción. Recientemente, expertos en el campo de la visión sugieren un nuevo programa en los protocolos de investigación (Purves y cols., 2015), que permitan superar los “rompecabezas” a los que se enfrentan cuando estudian sistemas visuales<sup>3</sup>.

Por último, es necesario aclarar que el debate acerca de un cambio de paradigma que se centre en comprender las capacidades perceptuales con base en acción, no es un tema de gran relevancia para el presente trabajo. Sin embargo, sí es importante resaltar la necesidad de tomar ventaja de los programas de investigación que han sugerido estos enfoques, es decir, la experimentación donde se involucre movimiento (Barrett y Würsig, 2014; Engel y cols., 2013). Esto permitiría la generación de nueva evidencia empírica que nos ayudaría a entender la relación sensoriomotora que tanto se defiende. Por ejemplo, en las últimas décadas ha surgido una nueva forma de estudiar la inteligencia artificial mediante un paradigma conocido como robótica basada en el comportamiento, la cual enfatiza como los agentes se encuentran en una interacción continua con su entorno y se estudia cómo el agente ajusta continuamente su comportamiento (modificando procesos internos y externos) para lograr sus objetivos (Ibáñez-Gijón y cols., 2013).

Debido a que las investigaciones de la robótica basada en comportamiento no se limitan a comprender las capacidades computacionales del robot, los investigadores centran

---

<sup>3</sup> Purves y cols. (2015) sugieren que la investigación en el campo de la visión debe comenzar a rechazar la suposición de que el objetivo principal de la visión sea recuperar, imperfectamente, las propiedades objetivas del mundo. En vez de esto, se buscaría argumentar que las percepciones generadas por la visión, reflejan una utilidad biológica basada en experiencias pasadas en lugar de características objetivas del entorno.

más su atención en estudiar como diversos patrones en el comportamiento emergen de la interacción sensoriomotora del robot con el ambiente, por lo tanto, la estructura ambiental y las capacidades “corporales” del robot, se vuelven un tema de relevancia para los investigadores (Ziemke, 2003). Algo similar se propone sobre el estudio de la percepción en humanos desde los enfoques de percepción basada en acción. Estos enfoques buscan entender como la interacción continua entre información generada por el organismo y la generada por el ambiente, permiten procesar información perceptual relevante (Beer, 2003).

Es necesario mencionar que han surgido muchas preguntas importantes que ponen en tela juicio los postulados de estos enfoques. Posiblemente la más relevante para este trabajo, es la que cuestiona el papel del movimiento para interactuar con las propiedades perceptuales del ambiente y, por extensión, percibir las, es decir, si las propiedades perceptuales del ambiente son dependientes de la acción ¿Cuál es el rol de esta acción? ¿Cómo el movimiento afecta esta información? Por una parte, se sugiere que el movimiento es un medio instrumental para transformar la información ambiental (J. Gibson, 1979). Por el contrario, se cree que existe una relación más complicada entre la coocurrencia de patrones motores específicos y la estimulación sensorial (Noë, 2004). De hecho, muchas veces se ha ligado esto último al término «sentido de agencia», el cual se refiere al sentimiento de controlar un evento externo mediante nuestras acciones autoiniciadas (Marcel, 2003), por lo que, muchos investigadores han centrado gran parte de su atención en entender la relación que existe entre información aferente, eferente y re-aferente (Bell, 1981; Roy y Cullen, 2003; Philipona y cols., 2004). El desarrollo detallado de este último concepto está fuera del alcance del presente trabajo, sin embargo, se busca resaltar el interés que ha surgido en los últimos años para entender la relevancia del movimiento autoiniciado

en torno a la percepción.

## **2.2. El papel del movimiento autoiniciado en percepción**

Dentro de algunos enfoques mencionados en la sección anterior, se dice que el movimiento nos permite transformar la información sensorial en nuestros entornos (J. Gibson, 1979); que la percepción es el producto de la interacción continua entre patrones motores y sensoriales (W. Prinz, 1990, 1997); que la generación de movimiento nos permiten reducir la incertidumbre al crear modelos internos que predicen estados sensoriales (Donnarumma y cols., 2017) o que la percepción es estrictamente dependiente, o involucra, movimiento físico (Noë, 2004; O'Regan y Noë, 2001). Aunque no hay un acuerdo común en todos estos supuestos, éstos concuerdan en que el movimiento es necesario para lidiar con las propiedades perceptuales del ambiente, sin embargo, la gran diferencia radica en el rol de éste (Mossio y Taraborelli, 2008).

Un buen ejemplo, en torno a la discusión sobre el papel del movimiento, la encontramos en el experimento clásico llevado a cabo por Held y Hein (1963). En su experimento, se pusieron a parejas de gatos en una góndola a realizar movimientos exploratorios mientras se proporcionaba información visual. Ambos gatos fueron expuestos a la misma información visual y mismo movimiento, sin embargo, al primer gato se le permitió hacer movimientos intencionales en la góndola, mientras los movimientos del segundo gato eran impuestos por los movimientos del primero. Después de dicha exposición, sus capacidades

fueron probadas en algunas tareas que involucraban coordinación visomotora. Los autores describen que las capacidades visomotoras de los gatos que estuvieron en la condición libre de movimiento activo, se desarrollaron de forma normal. Contrariamente, los gatos a los que se les fue impuesto el movimiento, mostraron un déficit en las capacidades mencionadas anteriormente. De hecho, pareciera que los gatos que fueron movidos de forma “pasiva”<sup>4</sup>, carecen de la capacidad de discriminar profundidad (Held y Hein, 1963).

Comúnmente, en la literatura se defiende que los resultados encontrados por Held y Hein (1963), demuestran que para desarrollar una percepción visual normal, es necesario aprender cómo las salidas motoras producen cambios en las entradas visuales y esto sólo es posible mediante el movimiento autoiniciado (Briscoe y Grush, 2017). Por otro lado, también sugiere que la idea de las propiedades perceptuales, dependientes de transformaciones motoras y que nos permiten percibir, no es correcta. Si en efecto la relación entre información perceptual y movimiento fuera puramente instrumental, es decir, que el generar cualquier tipo de componente motor en el ambiente permite acceder a la información perceptual, entonces los gatos a los que no se les permitió moverse intencionalmente, hubieran sido capaces de discriminar profundidad, ya que las transformaciones motoras realizadas por el otro gato, hubieran sido suficiente para percibir la información del ambiente.

Las interpretaciones en torno al experimento de Held y Hein (1963) y su relación con la percepción, han desatado muchas críticas. Por ejemplo, J. Prinz (2006) cree que los gatos a los que les fue impuesto el movimiento, no es que no puedan discriminar información de

---

<sup>4</sup>Por movimiento pasivo me refiero al movimiento que no es autoiniciado o intencional. En el experimento original de Held y Hein (1963) se refieren al gato que produce el movimiento intencional como movimiento activo; al gato al que le fue impuesto el movimiento, lo llaman pasivo.

profundidad, más bien, defiende que debido a la configuración del experimento que obligaba a los gatos “pasivos” a estar colgando de un arnés y les impedía hacer contacto con el piso, hizo que los gatos no desarrollaran suficiente experiencia para caminar en bordes y anticipar información visual que permita la coordinación de su cuerpo en superficies sólidas. Esto explicaría porque los gatos no fueron eficientes cuando se realizó la prueba de abismo visual. Otra interpretación, por parte de Gentsch y cols. (2016), sugiere que incluso si esto prueba que para discriminar profundidad, es necesario el movimiento autoiniciado, entonces esto dependería de adquirir la habilidad de discriminar profundidad. Ellos creen que si se repitiera el mismo experimento en los gatos que ya han explorado en forma activa, con la diferencia de que ahora se impusiera el movimiento en ellos, sus capacidades perceptuales se mantendrían intactas ya que la habilidad de percibir profundidad ya ha sido adquirida en el pasado y no depende más del movimiento autoiniciado. Lo anterior implicaría que en un inicio la relación entre movimiento y percepción no es meramente instrumental, es decir, hay una relación más complicada en la generación de comandos motores y el procesamiento de la información sensorial, sin embargo, una vez que se aprende a explotar la información perceptual dependiente del movimiento autoiniciado, la relación entre movimiento e información perceptual es puramente instrumental o incluso innecesaria. Por último, una interpretación interesante viene del estudio llevado a cabo por Walk y cols. (1988), ellos buscaron replicar el estudio de Held y Hein (1963) teorizando que los déficits encontrados en los gatos libres de movimiento intencional fueron causados por una falta de atención a la información visual proporcionada. Similar a lo argumentado por J. Prinz (2006), esto es debido a la configuración del experimento, sin embargo, en este caso se debe a la poca relevancia de la información perceptual presentada al animal. En su experimento presentaron lo que ellos argumentan como información

más relevante para el animal<sup>5</sup> y, contrariamente a lo reportado por Held y Hein (1963), ellos no encontraron diferencias significativas entre los gatos “pasivos” y gatos “activos” al realizar la tarea de abismo visual. Lo anterior implicaría que en el experimento original, los gatos “pasivos” no prestaron la misma atención a la información del ambiente, posiblemente, debido al estrés que les causaba estar colgados del arnés.

Fácilmente, uno puede notar la relevancia que tuvo el experimento de Held y Hein (1963) para aquellos que defienden la relación entre movimiento y percepción. Desafortunadamente, se ha explotado mucho la interpretación teórica en relación a sus resultados sin que hasta el momento alguien se haya preocupado de hacer experimentos en configuraciones similares. Sólo pocos experimentos han utilizado una metodología similar a la de dicho experimento (p.ej. Suzuki y cols., 2005).

Otro punto destacable, es la generación de experimentos relevantes de este tipo en humanos, por ejemplo, hay una gran evidencia en robótica en la que se prueban hipótesis similares y se obtienen conclusiones parecidas (p.ej. Suzuki y cols., 2005, 2009), pero en humanos, parece seguir faltando maneras de generar evidencia de este tipo. En los últimos años, la neurociencia y la psicología experimental han buscado formas de superar lo mencionado anteriormente, sin embargo, ciertos experimentos no son capaces de realizar un control experimental adecuado para defender que en efecto el movimiento ha sido el único factor que influyó en sus resultados, o no se preocupan por exponer a ambos participantes al mismo tiempo (p.ej. Díaz y cols., 2012). Por la tanto, para el presente trabajo se argumenta que es importante realizar un experimento con una configuración

---

<sup>5</sup>En su experimento pusieron una pista de carreras de coches de juguetes en frente de los gatos: al presentar los coches moviéndose por la pista, los autores buscaron asemejar a los animales que comúnmente los felinos cazan.

similar a la de Held y Hein (1963) en participantes humanos teniendo en consideración las críticas que se expusieron anteriormente. De esta manera, se buscaría asegurar que ambos participantes estén expuestos a los mismos movimientos e información perceptual para probar sus capacidades de discriminación. Ahora, la duda sería ¿cómo hacer esto? Por ejemplo, en un experimento con robots podemos limitar el movimiento simplemente imponiendo restricciones en sus comandos (Suzuki y cols., 2005); podemos agregar y eliminar sensores o actuadores (Prokopenko y cols., 2009), o, podemos simular agentes artificiales que realicen tareas de este tipo (Buhmann y cols., 2013). Sin embargo, con los seres humanos es más complicado y más dependiente de los recursos a los que puedas acceder (p.ej. experimentos con EEG). Afortunadamente, en los últimos años un nuevo desarrollo tecnológico está ganando popularidad en el estudio de la percepción. Me refiero a los sistemas de sustitución sensorial (Bach-y Rita y Kercel, 2003), los cuáles nos permiten estudiar las capacidades perceptuales al (re) aprender a percibir mediante diferentes modalidades.

### **2.3. Sustitución sensorial: una forma de generar evidencia empírica en percepción.**

El término sustitución sensorial, se describe como la forma en la que, mediante artefactos tecnológicos, podemos trasladar información sensorial que está disponible para cierta modalidad sensorial, a otra de interés (Lenay y cols., 1997). Algunos consideran que la lectura en braille es el primer sistema estructural de sustitución sensorial que ha existido (Maidenbaum y cols., 2014; Wall y Brewster, 2006). Esta técnica permite a las personas

ciegas, leer mediante la substitución de los símbolos visuales a símbolos táctiles mediante movimientos exploratorios. Con la substitución sensorial se buscaba algo similar a esto, ya que los primeros esfuerzos generados en este campo, fueron para crear tecnología que ayudara a las personas con discapacidades visuales (Lenay y cols., 2003).

En la década de los 60's, Bach-y-Rita desarrolló el primer sistema de substitución sensorial visual-táctil, el cual consistía de una cámara de video montada, una computadora, y una silla con 400 estimuladores neumáticos (Bach-y Rita y cols., 1969). Mientras el participante ciego estaba sentado en la silla, podía manipular la cámara y escanear los objetos que se encontraban frente a él. Cuando la cámara detectaba un objeto, la computadora traducía las imágenes visuales a patrones hápticos en la espalda del participante. Los autores informan que después de semanas de entrenamiento, los participantes ciegos eran capaces de discriminar formas, sombras y profundidad (Bach-y Rita, 1972). No sólo eso, sino que cuando los participantes no exploraban de forma activa con el dispositivo (girando la cámara o haciendo zoom), no eran capaces de reconocer los objetos presentados y sólo reportaban sensaciones en la piel (Bach-y Rita, 1983). A partir de esto, muy comúnmente en la literatura de substitución sensorial se argumenta que la información perceptual obtenida mediante estos dispositivos es contingente a la acción realizada<sup>6</sup> (Lobo, 2017). Por otra parte, es normal encontrar en la literatura de substitución sensorial que estos dispositivos son eficientes para permitir detectar e interactuar con objetos, sin embargo, como dispositivo de ayuda para personas con problemas visuales, no parece ser adecuado, ya que los usuarios muestran cierta apatía en su uso, principalmente, por su practicidad en situaciones de la vida real (Bach-y Rita y Kerckel, 2003).

---

<sup>6</sup>Esto no es único de participantes con ceguera congénita, ya que existen estudios en substitución sensorial en los que se han encontrado resultados similares a los descritos, por ejemplo, Siegle y Warren (2010).

El trabajo de Bach-y-Rita alentó a más investigadores a desarrollar sus propios dispositivos de sustitución sensorial, con la esperanza de crear un buen dispositivo que las personas con discapacidades visuales pudieran aprovechar, por lo que, la variedad de éstos ha crecido en los últimos años. Actualmente, los más desarrollados son los de calidad háptica y auditiva<sup>7</sup> (Striem-Amit y cols., 2012), sin embargo, su aceptación aún es baja en la comunidad de personas ciegas (Maidenbaum y cols., 2014; Spence, 2014). Debido a esto, el uso de estos dispositivos se ha centrado más en una forma de generar evidencia empírica para el estudio de ciertos paradigmas cognitivos (Lenay y cols., 1997). Por extensión, se defiende que estos dispositivos son una excelente herramienta para estudiar percepción y acción en humanos (Bermejo y Arias, 2015; Wall y Brewster, 2006).

Es necesario resaltar que aún existe un debate importante en relación al estudio de la percepción con dichos dispositivos. Por una parte, la idea de “sustituir” no parece ser el mejor termino, principalmente por las diferencias que existen en las modalidades perceptuales (Auvray y Myin, 2009). De la misma manera, se cuestiona la idea de que percibir a través de dispositivos de sustitución sensorial, pueda considerarse como una forma de “ver” (Lenay y cols., 2003). Sin embargo, sus defensores argumentan que si nuestra definición de percibir es la capacidad de crear representaciones mentales de formas y propiedades ambientales que nos permiten interactuar con los objetos circundantes como las personas normales lo hacen (Bach-y Rita, 1972; Maidenbaum y cols., 2014), entonces por supuesto que percibir con estos dispositivos puede considerarse como ver. El punto anterior sería corroborado, ya sea por la pro-eficiencia que muestran los participantes al realizar tareas perceptuales (Bermejo y cols., 2015) o por la experiencia subjetiva que reportan las personas que han usado dichos dispositivos durante un periodo de tiempo

---

<sup>7</sup>Estos dispositivos traducen patrones visuales a patrones de sonidos que permiten detectar e interactuar con objetos.

extenso (Guarniero, 1974).

También, existe cierta evidencia en neurociencia que respaldaría la idea de “ver”, cuando se percibe con estos dispositivos. Por ejemplo, los sujetos con ceguera tardía muestran una activación significativa de las áreas visuales del cerebro cuando ocupan dichos dispositivos (Kupers y Ptito, 2014; Nau y cols., 2015). Esto indicaría que el percibir objetos con estos dispositivos genera patrones de actividad similares a los visuales. Sin embargo, si el estudio de percepción en humanos con sustitución sensorial es lo más adecuado, o no, es un tema que necesita un análisis mucho más detallado desde diferentes disciplinas, por lo tanto, está fuera del alcance del presente trabajo. Lo que sí se busca resaltar, es el potencial que tienen estos dispositivos para generar evidencia empírica en humanos al realizar tareas que involucran movimiento y percepción. Estos dispositivos nos permiten realizar experimentos flexibles en los que se puedan tener configuraciones similares a las que se tienen en experimentos con animales o con robots, procurando seguir las normas éticas que un psicólogo experimental debe respetar.

Por último, es necesario mencionar que son pocos los estudios en los que se ha utilizado cierta metodología rigurosa en experimentos psicológicos con sustitución sensorial (p.ej. König y cols., 2016). No es de extrañarse que la utilización de técnicas en psicofísica, en tareas con estos dispositivos, no sea algo muy común. Por otra parte, existen algunos estudios en los que los investigadores prueban las capacidades perceptuales de discriminación con sus dispositivos hápticos (Wall y Brewster, 2006), sin embargo, la idea en la mayoría de esos estudios reside en la estimulación de ciertas partes de la piel para conocer la intensidad en que dos objetos puedan ser apenas diferenciables (Hatzfeld y Werthschützky, 2012), es decir, lo que la mayoría hace, es poner a diferenciar intensidades de estimulación

en la piel a participantes mientras los ambientes son controlados de forma exhaustiva y muchas veces impide una interacción dinámica. Debido a esto y de acuerdo a lo expuesto en secciones anteriores, la idea de brindar la información a discriminar de forma aislada y libre de movimiento, no es lo más adecuado para una tarea con dispositivos de sustitución sensorial, ya que en estas no se busca la discriminación de sensaciones en la piel, sino la habilidad de detectar e interactuar con objetos del ambiente (Lobo, 2017). Para el experimento principal, era necesario que los participantes supieran interpretar los patrones vibratorios que surgen de la interacción dinámica con el dispositivo y los objetos a discriminar, por lo que, el utilizar cierta metodología que permita evaluar las capacidades perceptuales al realizar tareas de discriminación, con estos dispositivos, se vuelve esencial (Brayda y Campus, 2012; Díaz y cols., 2012; Melder y Wann, 2004; Schorr y cols., 2013).

## Capítulo 3

# Experimento

Se realizó un experimento en humanos que tuviera una configuración similar a la de Held y Hein (1963), para probar las capacidades perceptuales de los usuarios utilizando dispositivos de sustitución sensorial en una tarea de discriminación. Para lograr esto, se necesitó crear una configuración en la que ambos participantes estuvieran expuestos a la misma trayectoria e información perceptual. Esto llevó a la creación de un dispositivo en forma de caja que contuviera los dispositivos de sustitución sensorial utilizados y que permitiera realizar movimientos en un rango determinado (Figura 3.2). También se creó un dispositivo de registro de respuesta que se adhirió a la caja y que permitió registrar datos de la tarea.

Una vez construida la caja, se realizó un pilotaje para determinar cuáles serían los objetos que se van a discriminar en el experimento principal. La idea fue utilizar parte de la metodología en psicofísica para asegurar que los participantes no estuvieran respondiendo al azar. Debido a esto último, el pilotaje constó de una tarea de discriminación de an-

chura mediante elección forzada, con dos opciones de respuesta y un estímulo constante. Basado en lo que se obtuviera de este resultado, se utilizarían los objetos más adecuados para la tarea principal.

### 3.1. Método

Para el presente experimento utilizamos el dispositivo de sustitución sensorial de cualidad háptica denominado «Enactive Torch» (Froese y cols., 2012). El dispositivo traduce la información detectada por los sensores a vibración mecánica. Cuando un objeto sólido es detectado, genera un patrón vibratorio en la piel que le indica al participante que “hay algo ahí”. Por otra parte, se creó otro dispositivo que permitiera poner a los participantes en una configuración similar a la realizada por Held y Hein (1963) utilizando los dispositivos «Enactive Torch» (ET; Figura 3.1).

La tarea consistió en poner a diadas de participantes a detectar y discriminar la anchura de dos objetos, utilizando la información brindada por los dispositivos ET. La información de los dos objetos sólo estaba disponible cuando se realizaban movimientos, y como era necesario controlar que ambos participantes tuvieran el mismo movimiento e información perceptual, se creó un aparato en forma de caja (Figura 3.2) en el cuál se colocaron los dispositivos ET. La caja permitía mover horizontalmente los dispositivos de izquierda a derecha y viceversa, en un rango de cincuenta y cinco centímetros (Figura 3.2). Los participantes tenían que colocar su mano derecha dentro de la caja para alcanzar el dispositivo ET, el cual reposaba sobre una barra de madera que conectaba a ambos

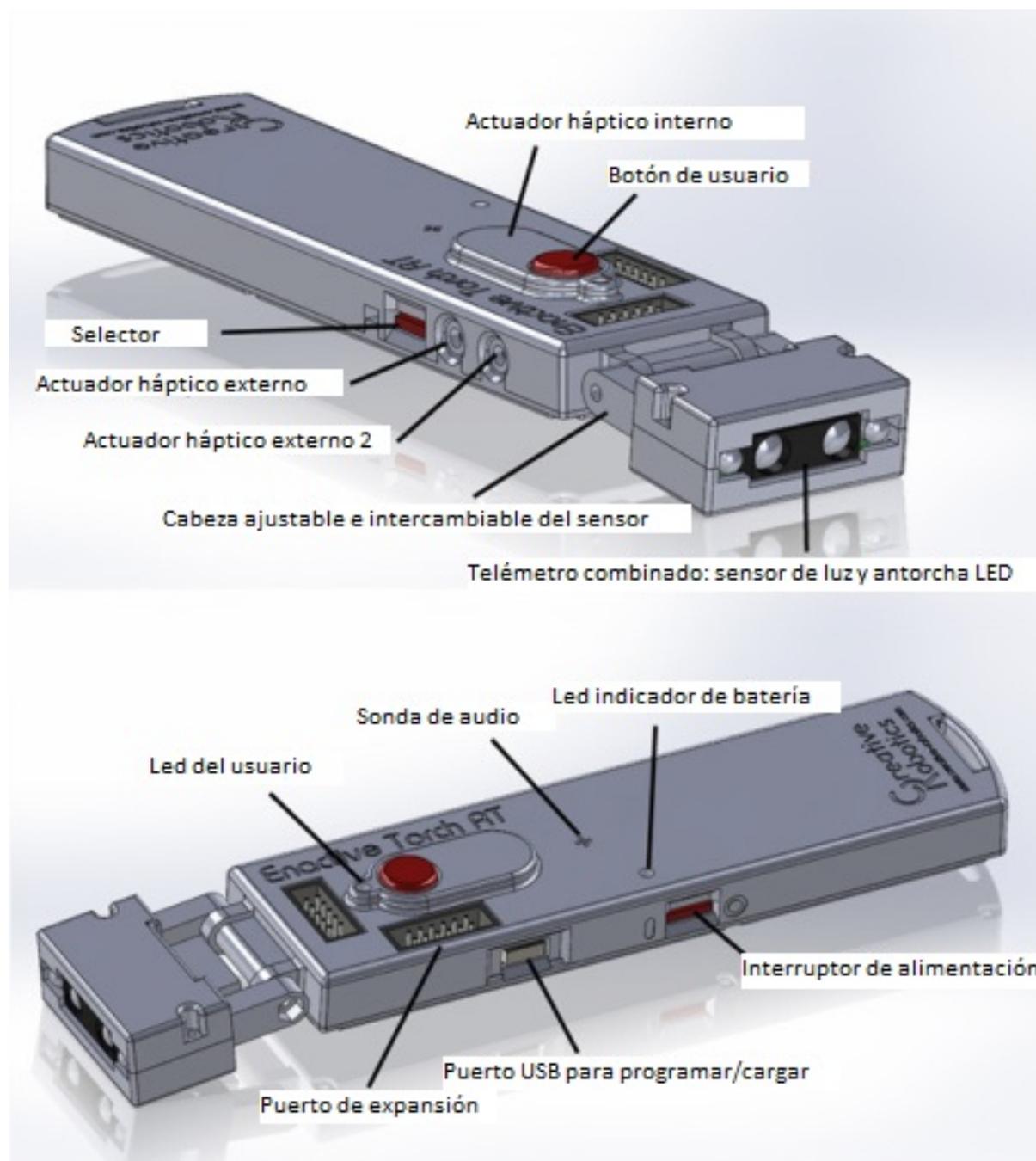


Figura 3.1: Esquema del dispositivo Enactive Torch. El dispositivo tiene un actuador interno que produce vibración mecánica cuando los sensores detectan un objeto; también se le pueden añadir actuadores externos. Por otra parte, al dispositivo se le pueden programar dos funciones diferentes y seleccionarlas mediante un interruptor selector. Los leds sólo son indicativos de que el dispositivo está prendido o que está en modo envío de datos; la sonda de sonido indica cuando se enciende el dispositivo. Por último, uno de los puertos es para cargar o programar el dispositivo; el puerto de expansión sirve para conectar dispositivos externos al aparato. Imagen obtenida y modificada de <https://enactivetorch.wordpress.com>.

participantes. Al conectar ambos participantes el movimiento fue el mismo para ambos, como en el experimento de Held y Hein (1963).

Gracias a las características ergonómicas de los dispositivos ET, los sensores se podían doblar. Esto permitió presentar ambos objetos en la parte superior de la caja, en vez de enfrente de los participantes, lo que ahorró espacio en las dimensiones de la caja. Cuando alguno de los participantes se movía, los sensores de ambos dispositivos encontraban al primer objeto y el dispositivo comenzaban a vibrar, brindando háptica a la mano de ambos participantes. Al seguir moviéndose en la misma dirección, se encontraban con un espacio vacío (por lo que no había vibración) y posteriormente se encontraban con el segundo objeto para finalmente alcanzar los límites de la caja en donde también había un espacio vacío. Los espacios vacíos permitían al participante saber en dónde comenzaba el objeto y donde terminaba (ver Figura 3.2a).

Al aparato se le añadieron otros dispositivos externos que permitieron el registro de los datos. En su forma más básica, el dispositivo de registro de respuesta constaba de tres botones conectados a un microcontrolador Arduino UNO y una computadora (Figura 3.3a). Esta última, registraba los datos mediante el software por defecto de Arduino y permitía almacenarlos en un archivo de texto. Dos de los botones, los cuales estaban colocados en un panel (uno a la izquierda y el otro a la derecha del usuario) registraban la respuesta del participante, mientras que un tercero permitía controlar el inicio y finalización de los ensayos, por lo que sólo es el experimentador podía presionar este último.

Cuando un ensayo estaba a punto de iniciar, el experimentador presionaba el botón de «inicio» y un tono era enviado mediante unos audífonos a ambos participantes. El tono

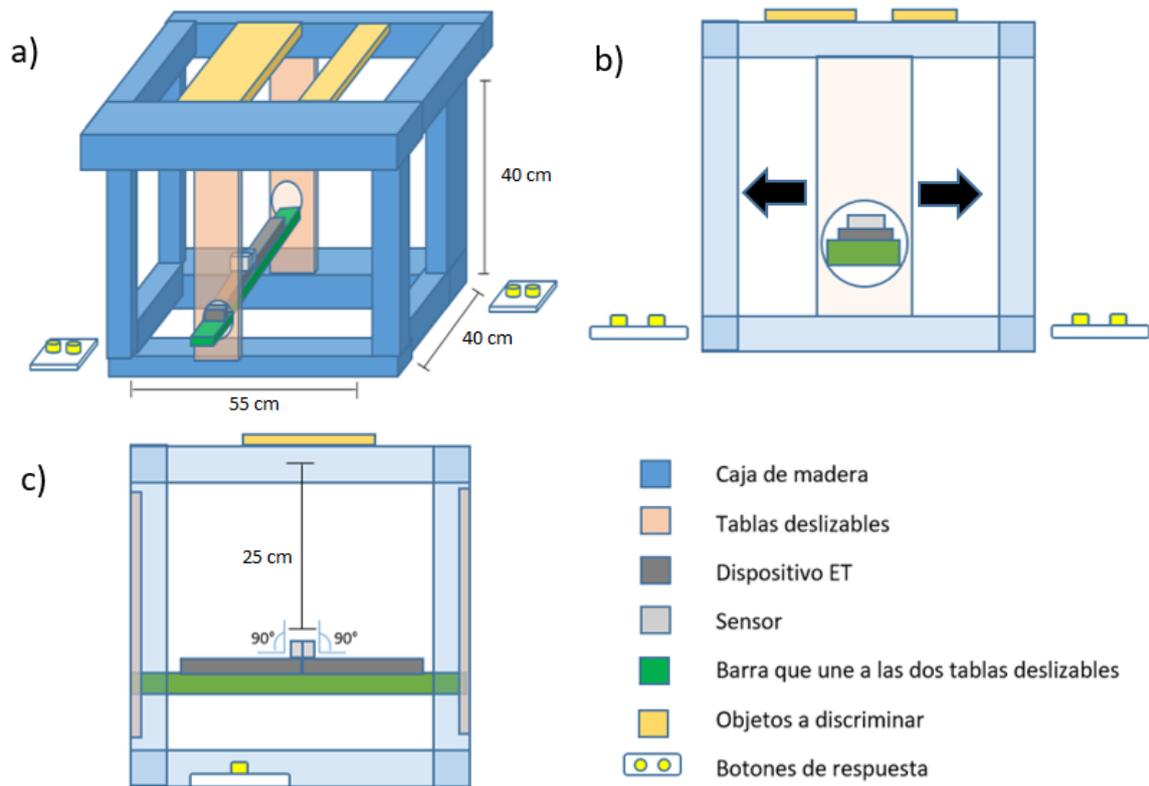


Figura 3.2: a) Representación gráfica de la caja diseñada para el experimento con sus respectivas dimensiones. Nótese que ambas tablas deslizables están unidas por una barra de madera en donde reposan los dispositivos ET. b) Vista frontal de la caja. A las tablas deslizables se les hizo un hoyo para que los participantes pudieran meter la mano y alcanzar el dispositivo; las flechas indican hacia qué dirección se podían mover. c) Vista lateral de la caja. Los sensores de ambos dispositivos estaban a  $90^\circ$ , por lo tanto, detectaban los objetos que se colocaban en la parte posterior de la caja.

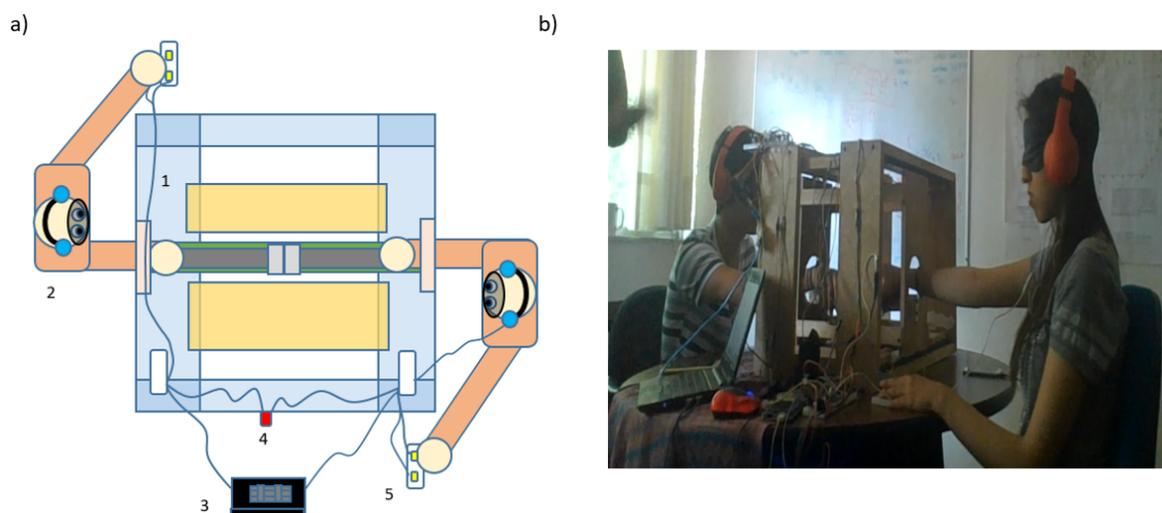


Figura 3.3: a) Representación gráfica de la configuración del experimento. (1) Caja descrita en la figura 3.2. (2) Participante con ojos vendados y con audífonos. (3) Computadora. (4) Botón de inicio: nótese que al presionarlo, le indica a ambos participantes. (5) Circuito eléctrico que incluye el microcontrolador Arduino: nótese que éste está conectado a la computadora para registrar los datos. b) foto de dos participantes en la configuración mencionada.

les indicaba que el ensayo había comenzado, sin embargo, de formas diferentes. Por una parte, al primer participante le indicaba que podía comenzar a moverse, mientras que al segundo le indicaba que el aparato comenzaría a moverse, las instrucciones se describen con más detalle en la sección 3.3.3 del experimento principal. Por otra parte, la base del aparato de registro de conducta se mantuvo durante todas las pruebas, sin embargo, varias modificaciones fueron surgiendo a lo largo del tiempo con el fin de mejorar y aumentar el mayor registro de datos posibles en el experimento principal, por ejemplo, el tiempo de reacción entre ensayos.

Para el pilotaje sólo fue necesaria la función base del registro de conducta, que, como se ha dicho, constaba del botón de inicio y los dos botones de respuesta. Al igual que el botón de inicio, ambos botones generaban un tono, sin embargo, era diferente y sólo servía para darle retroalimentación al participante de que su respuesta había sido registrada.

Por último, un mensaje diferente fue asignado a cada botón mediante la programación del microcontrolador Arduino, por lo que, dependiendo del botón que se presionara, se imprimiría un mensaje diferente. Por ejemplo, si se presionaba el de inicio, un «start» se imprimía, de la misma forma un mensaje de «izquierda» o «derecha» se imprimía cuando el participante respondía. Todos los datos registrados eran copiados desde el software por defecto de Arduino y eran pegados en un archivo «Excel».

A continuación se describe el experimento tipo pilotaje que nos permitió fijar una curva y decidir los dos objetos a utilizar en la tarea de discriminación del experimento principal.

## **3.2. Pilotaje: discriminación de anchuras mediante el dispositivo Enactive Torch**

Para esta prueba no fue necesario poner a diadas de participantes, ya que el movimiento autoiniciado era necesario, es decir, se colocaron individualmente a los participantes con los ojos vendados en la configuración mencionada anteriormente, para realizar esta tarea. Se utilizaron seis estímulos físicos diferentes (tiras de madera), los cuales fueron espaciados linealmente por un centímetro de diferencia en anchura, en relación al estímulo de referencia que medía cinco centímetros de ancho, es decir, se utilizaron estímulos de seis hasta once centímetros de anchura (Figura 3.4). La razón de no haber creado estímulos de menor anchura en el experimento, se aborda en la sección 4.1 de la discusión.

En cada ensayo se presentó al azar uno de los seis diferentes estímulos (sin contar

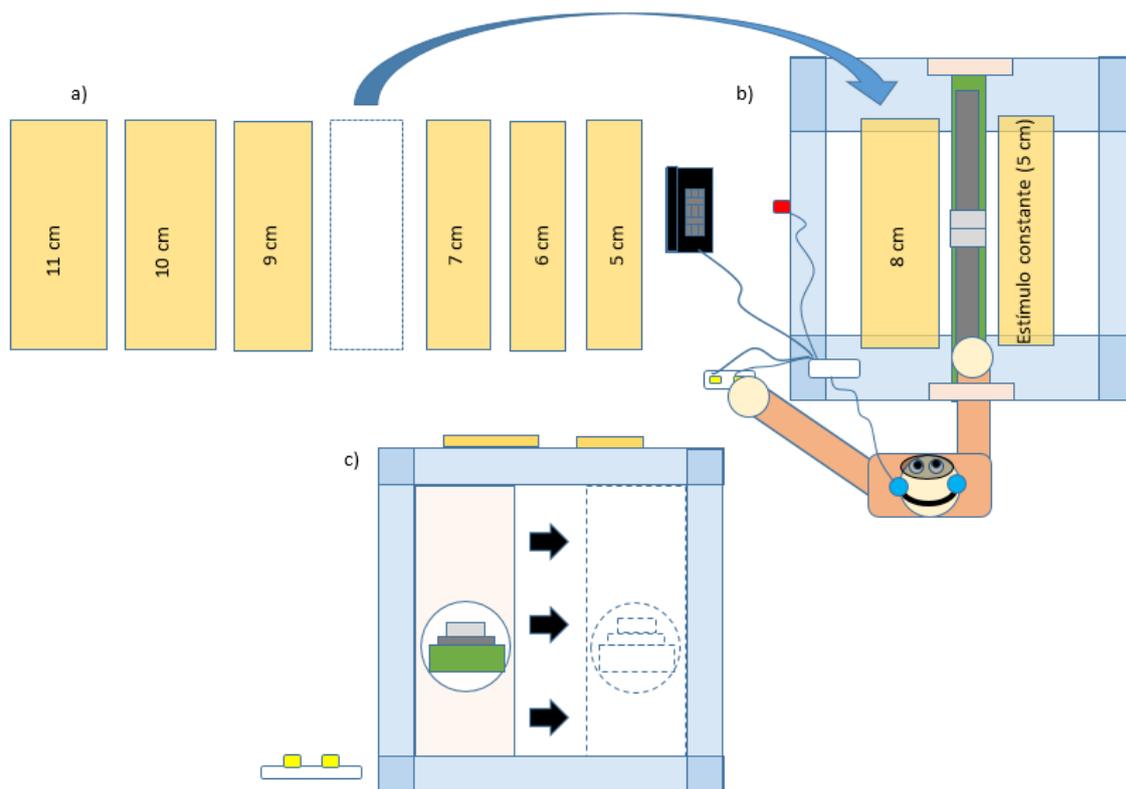


Figura 3.4: Representación gráfica del pilotaje. a) Siete diferentes anchuras del estímulo variado que fue presentado junto al constante; nótese que también hay uno que mide lo mismo que el estímulo de referencia. b) Caja descrita en la Figura 3.2. El objeto ancho era presentado en la parte posterior y su posición podía ser derecha o izquierda: nótese que sólo hay un participante realizando esta prueba, mientras que el otro lado permanece vacío, aunque, también se mueve. c) Vista frontal de la caja: todos los ensayos empezaban desde el lado izquierdo y terminaban del lado derecho (líneas punteadas).

al que media lo mismo que el de referencia) junto al estímulo constante en la parte superior de la caja. La tarea consistía en mover el aparato (siempre de izquierda a derecha) para detectar ambos objetos y decidir cuál era el objeto más ancho. La posición de los estímulos (izquierda o derecha) dependía de la aleatorización que se había realizado previo al experimento. Cada estímulo fue presentado un total de 17 veces en diferentes posiciones y tiempos como se explicó anteriormente, por lo que el total de ensayos para cada participante fue de 119 (7 estímulos  $\times$  17 ensayos)

Al haber llegado a los límites de la caja, es decir, a la pared derecha de la caja (Figura 3.4c), al participante se le pedía responder cuál de los dos objetos le pareció más ancho: el de la izquierda o el de la derecha. Una vez que había respondido, el experimentador volvía a colocar al participante en la posición en la que inició, es decir, de lado izquierdo. Dieciséis alumnos de la UNAM realizaron la prueba: nueve hombres y siete mujeres de entre 20 a 36 años de edad con una media de  $26.94 \pm 4.48$ . La participación en el experimento fue completamente voluntaria.

### 3.2.1. Procedimiento

El procedimiento se puede describir en cuatro pasos: 1) al participante se le pedía leer y firmar una hoja de consentimiento informado, en donde se daba una breve explicación de la tarea y de los aparatos a utilizar. 2) Se les explicaba con detalle cómo funcionaba el dispositivo «Enactive Torch». Una vez explicado esto, se le vendaban los ojos y se metía a la persona al cuarto en donde estaba la caja. 3) Se colocaba el dispositivo ET en la caja y se acomodaba al participante en una silla mientras se le explicaban los detalles de la caja y el espacio dónde se podía mover; se le explicaba cómo debía emitir su respuesta, es decir, los botones que debía presionar. 4) Se realizaba un ensayo de prueba y se respondían todas las dudas antes de empezar la prueba, posteriormente a esto, la tarea iniciaba.

En todos los ensayos el experimentador colocaba los estímulos en la parte posterior de la caja, según la posición generada aleatoriamente, estos eran colocados de tal forma que no estimularan los sensores antes de que comenzara el movimiento. El/la participante tenía que escoger mediante dos botones cuál era el objeto más grande (izquierda o

derecha).

### 3.2.2. Instrucciones

La instrucción verbal fue la siguiente:

“En frente de ti se encuentra la caja en donde se te presentarán ambos objetos, tu tarea es utilizar el dispositivo que se te presentó anteriormente, el cuál ahora está fijo en la caja y sólo te permitirá mover en un eje horizontal. Al realizar el movimiento detectarás dos objetos: uno a la izquierda, o, el primero y otro a la derecha, o, el segundo. En algún punto llegarás a los límites de la caja y por lo tanto chocarás con una pared. El chocar con esa pared te indicará la finalización del movimiento. Una vez detectados los objetos y haber chocado con la pared, te tendrás que detener y decidir cuál objeto te pareció más ancho. Podrás emitir tu respuesta con tu mano libre, mediante dos botones que se han colocado en la mesa, uno a la izquierda y otro a la derecha. Cuando veamos tu respuesta registrada en la computadora, te colocaremos de nuevo en el punto de partida para que inicie el siguiente ensayo. Como ya habrás leído en la hoja que se te dio al inicio, el experimento consta de 119 ensayos en total y en todos tienes que emitir una respuesta, es decir, siempre tienes que decidir cuál es el más ancho. A continuación tomaré tu mano derecha y la colocaré en el dispositivo, tu mano libre la colocaré en donde se encuentran los botones de respuesta y a continuación realizaremos un ensayo de prueba”.

El comienzo del ensayo era marcado por el experimentador, sin embargo, la finalización de éste dependía de la velocidad de explotación del participante, por lo que no había límite de tiempo para completar la tarea. Al final del experimento, se le dio las gracias al participante y se le compensó con un libro por su participación.

### 3.2.3. Análisis de los datos

El siguiente análisis fue realizado en el lenguaje de programación de software libre «R» con el paquete de estadístico «stats» (R Core Team, 2018), con el fin de obtener una curva que nos permitiera decidir cómo el promedio de respuesta cambia en función de la diferencia de anchura entre el estímulo constante y el estímulo que variaba de anchura. Debido a que el número ensayos por estímulo (diecisiete) fue demasiado bajo para cada participante, se fijó una curva con los datos combinados de todos los participantes, como lo hicieron Díaz y cols. (2012); Melder y Wann (2004) y Schorr y cols. (2013). Dicha curva fue creada mediante un modelo logístico.

### 3.2.4. Resultados

En la tabla 3.1 se muestra el resumen y la estadística descriptiva de los datos en el pilotaje: los valores originales del promedio de las respuestas fueron normalizados para cambiar la escala de visualización. La figura 3.5 muestra lo anteriormente mencionado mediante un diagrama de cajas.

En la figura 3.6 se observa la representación, en una escala logarítmica, de la curva

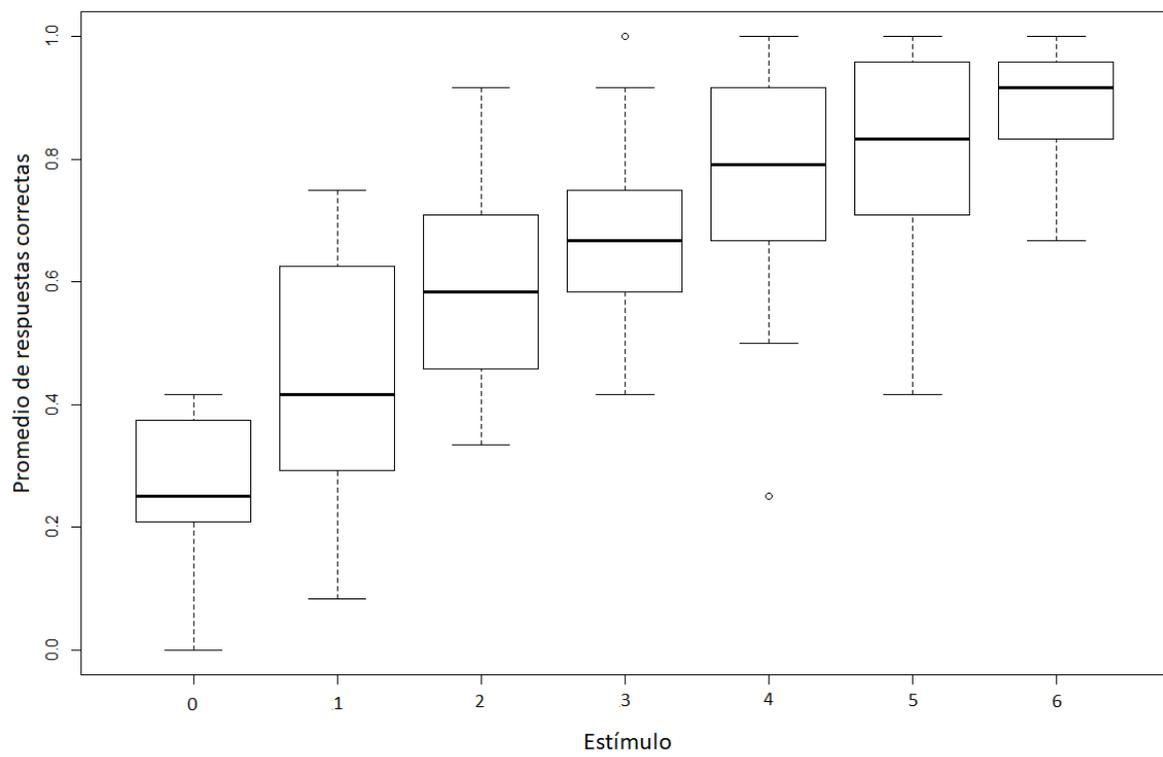


Figura 3.5: Diagrama de cajas con todas las observaciones en relación a la probabilidad y el número de estímulo.

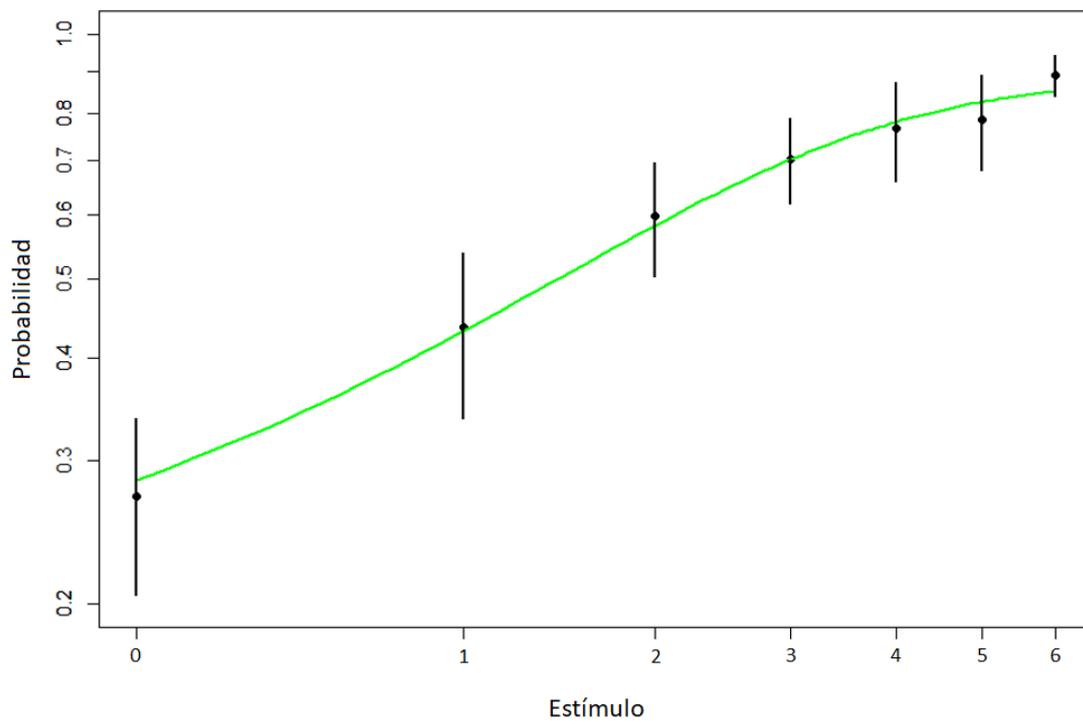


Figura 3.6: Curva del modelo logístico fijado con todas las observaciones. La gráfica fue ajustada en una escala logarítmica. Las líneas verticales de cada punto indican los intervalos de confianza al 95%.

Tabla 3.1: Resumen de los datos

$N_{estim}$	$N_{obs}$	Media	Mediana	DE	Min	Max	$IC_{inf}$	$IC_{sup}$
1	16	0.271	0.250	0.124	0	0.417	0.205	0.337
2	16	0.438	0.417	0.189	0.083	0.750	0.337	0.538
3	16	0.599	0.583	0.178	0.333	0.917	0.504	0.694
4	16	0.703	0.667	0.158	0.417	1	0.619	0.787
5	16	0.766	0.792	0.198	0.250	1	0.660	0.871
6	16	0.786	0.833	0.187	0.417	1	0.687	0.886
7	16	0.891	0.917	0.095	0.667	1	0.840	0.941

Prc: Promedio de respuestas correctas.

$N_{estim}$ : Número del estímulo.

$N_{obs}$ : Número de observaciones.

$IC$ : Intervalo de confianza inferior y superior.

fijada por el modelo logístico, en donde se pueden observar las medias con sus respectivos intervalos de confianza al 95 %. Al realizar la predicción, con base en el modelo de la curva, se encontró que un estímulo de 8.55 centímetros de anchura es elegido de forma correcta un 75 %, es decir, se estima que los participantes responden un 75 % de forma correcta cuando un estímulo de este tamaño se presenta junto al de 5 centímetros. Con base en esto, se decidió utilizar el objeto que medía 8 centímetros de anchura (estímulo 4) para el experimento principal.

Es necesario dejar en claro que esta prueba sólo fue realizada para decidir qué objetos utilizar en la tarea principal, por lo que estrictamente no se puede hablar de umbrales ni parámetros como comúnmente se hace en experimentos de psicofísica. En la discusión se aborda el tema de una forma más detallada, así como las limitaciones e interpretaciones que se le puede dar a los resultados obtenidos de este pilotaje.

### 3.3. Experimento principal

Este experimento fue hecho posteriormente de haber decidido los objetos a utilizar en la prueba con ambos participantes, y la finalidad del experimento, fue generar evidencia que se pueda interpretar bajo las suposiciones de movimiento autoiniciado desde las teorías en percepción basada en acción. Para la prueba se utilizaron diadas de participantes que fueron asignadas aleatoriamente a dos condiciones: movimiento autoiniciado (activo) y movimiento impuesto (pasivo)<sup>1</sup>. En la condición activa, al participante se le permitió moverse libremente durante cinco segundos para detectar dos objetos; el participante pasivo detectó los mismos objetos mediante el movimiento del participante activo, en la sección 3.3.3 se describe con detalle las instrucciones para cada condición. La tarea fue de discriminación con elección forzada, es decir, a los participantes se les pedía decidir cuál de los dos objetos era más ancho y siempre tenían que emitir una respuesta, tal y como se describió en la sección 3.1.

A diferencia del pilotaje, en esta ocasión al participante activo se le permitió hacer movimientos libres durante un intervalo de tiempo (cinco segundos), es decir, el participante podía hacer más de un barrido mediante el dispositivo para detectar ambos objetos: aunque a los participantes se les recomendaba nunca dejar de moverse, la gran mayoría sólo realizaron un sólo barrido<sup>2</sup>. Se utilizaron los estímulos de 8 centímetros y 5 centímetros en todos los ensayos. En total se presentaron 120 ensayos divididos en dos bloques de 60. En el primer bloque todos los participantes fueron sometidos al mismo

---

<sup>1</sup>Aunque los términos “activo” y “pasivo” no sean los más adecuados, en el presente trabajo se utiliza sólo como una forma de etiquetar las condiciones a las que fueron expuestos los participantes.

<sup>2</sup>Es posible saber con exactitud qué participantes realizaron más de un barrido, y en cuántos ensayos hicieron esto, haciendo un análisis detallado de los datos registrados, sin embargo, para esta tesis no se tomó en cuenta esa variable.

procedimiento (p. ej. asignación aleatoria de la condición e instrucciones), sin embargo, en el segundo bloque se les permitió cambiar (o no) la condición de movimiento en la que comenzaron la tarea, es decir, si el participante había realizado la tarea en condición pasiva podía cambiar a la condición activa y viceversa.

La pregunta principal se respondió con los primeros 60 ensayos de la tarea, es decir, con el primer bloque. Los ensayos restantes fueron analizados mediante la generación de un modelo mixto, para entender cómo se comportaban los participantes cuando se les permitía cambiar de condición (y a los que no se les permitió) en relación a la condición en la que iniciaron. Por último, un tercer análisis se realizó al utilizar todos los datos registrados en una observación: el haber utilizado una observación, se discute en la sección 3.3.4. Se realizó un modelo de regresión lineal utilizando datos del tiempo de reacción en los ensayos<sup>3</sup> y la serie de tiempo registrada por los sensores del dispositivo ET. Este análisis, busca ejemplificar el potencial que tienen los datos registrados en el experimento, los cuales, por falta de tiempo, no se explotaron al máximo.

En total 70 (35 parejas) alumnos de la UNAM: 32 hombres y 38 mujeres entre 19 y 32 ( $21.48 \pm 2.59$ ) años de edad realizaron esta prueba, la participación fue voluntaria y a los participantes se les recompensó con un libro, por su participación.

---

<sup>3</sup>Registrar los datos del tiempo de reacción, fue posible en más de la mitad de las diadas de participantes, sin embargo, debido a la programación de dispositivo de registro de conducta, los datos no son sencillos de limpiar.

### 3.3.1. Hipótesis

La variable dependiente del presente análisis es el promedio de respuestas correctas, mientras que la variable independiente es la condición en la que realizaron los movimientos.

Para el primer análisis la hipótesis nula fue la siguiente:

$$H_0 : \mu_{Prc} \text{ del grupo activo} = \mu_{Prc} \text{ del grupo pasivo.}$$

Por el contrario, la hipótesis alternativa fue:

$$H_1 : \mu_{Prc} \text{ del grupo activo} \neq \mu_{Prc} \text{ del grupo pasivo.}$$

En donde  $\mu_{Prc}$  representa la media del promedio de respuestas correctas.

Para el segundo análisis (mediante las observaciones del primer y segundo bloque) la variable dependiente fue la misma que en el primero, sin embargo, debido a que se realizó un análisis de medidas repetidas, los grupos se dividieron en cuatro: los que iniciaron pasivo y en el segundo bloque fueron activos; los que iniciaron activos y en el segundo bloque cambiaron a pasivo; los que iniciaron activo y en el segundo bloque se mantuvieron igual y los que iniciaron pasivo y en el segundo bloque se mantuvieron igual. Por lo tanto, para la variable independiente, el factor intra-sujetos fue el bloque, mientras que el factor inter-sujetos fue la condición.

La hipótesis nula fue la siguiente:

$$H_0 : \text{No existen diferencias significativas entre el primer y el segundo bloque para}$$

ninguno de los grupos.

Por el contrario, la hipótesis alternativa fue:  $H_1$  : Al menos una de las medias en los grupos es significativamente diferente entre el primer y segundo bloque.

Por último, debido a que en el tercer análisis sólo se utilizó una observación, se considera más como un análisis exploratorio de los datos registrados en el experimento, por lo tanto, no hubo una hipótesis en concreto. Sin embargo, se buscó indagar en la relación del tiempo de reacción de la respuesta, y la información brindada a los participantes mediante el dispositivo ET en los 120 ensayos.

### 3.3.2. Procedimiento

El procedimiento para los participantes consistió en: 1) leer y firmar una hoja de consentimiento informado en donde se daba una breve explicación de la tarea; 2) explicar con detalle a ambos participantes el funcionamiento de los dispositivos ET, posteriormente, se le vendaban los ojos (con un antifaz) y se metían a ambas personas al cuarto donde se encontraba la caja: era muy importante que no vieran la caja, ya que, si veían el mecanismo de ésta, sabrían que ambos participantes estaban uno enfrente del otro y que uno movía el aparato mientras el otro no. Al entrar al cuarto, se sentaba a ambos participantes en dos sillas, una en frente de la otra como se describe en la Figura 1a; 3) mientras a uno de los participantes se le explicaba con detalle la configuración de la caja y de cómo emitir su respuesta, al segundo, se le colocaban audífonos que transmitían ruido marrón de fondo: ya que la instrucción era diferente para ambos. Por una parte, al participante activo se le decía que podía moverse de izquierda a derecha o viceversa en el intervalo

de tiempo del ensayo (no se decía cuanto iba a durar el ensayo) y se le recomendaba que no dejara de moverse hasta que terminara el ensayo. Al participante pasivo se le decía que el experimentador movería el aparato que le permitirían detectar los dos objetos y se le recomendaba que no pusiera resistencia a los movimientos del dispositivo. 4) se le colocaban los audífonos que transmitían ruido marrón de fondo a ambos participantes y se realizaba un ensayo de prueba, posteriormente, comenzaba la tarea.

### 3.3.3. Instrucciones

La instrucción verbal para los participantes activos fue la siguiente:

“En frente de ti se encuentra la caja en donde se te presentarán ambos objetos, tu tarea es utilizar el dispositivo que se te presentó anteriormente, el cuál ahora está fijo en la caja y que sólo te permitirá mover en un eje horizontal. Al realizar el movimiento detectarás dos objetos: uno a la izquierda, o, el primero y otro a la derecha, o, el segundo. Al moverte notarás que tu espacio es limitado, es decir, la caja sólo te permite moverte en cierto rango. Tú puedes realizar movimientos de izquierda a derecha o viceversa las veces que quieras siempre y cuando sea dentro del intervalo de tiempo, se te recomienda nunca dejarte de mover y hacerlo en una velocidad constante. El intervalo de tiempo es marcado por un tono que te indicará que el ensayo acaba de comenzar. Después de cierto tiempo, ese mismo tono volverá a sonar, sin embargo, esta vez te indicará la finalización del ensayo. Cuando esto suceda, te tendrás que detener e irte a la esquina más cercana. Tu tarea será responder cuál de los dos

objetos te pareció el más ancho. Podrás emitir tu respuesta con tu mano libre mediante dos botones que se han colocado en la mesa, uno a la izquierda y otro a la derecha. Cuando veamos tu respuesta registrada en la computadora y estemos listos para comenzar el siguiente ensayo, volverás a escuchar el tono de inicio. Como ya habrás leído en la hoja que se te dio al inicio, el experimento consta de 120 ensayos en total y en todos tienes que emitir una respuesta, es decir, siempre tienes que decidir cuál es el más ancho. A continuación tomaré tu mano derecha y la colocaré en el dispositivo, tu mano libre la colocaré en donde se encuentran los botones de respuesta y a continuación realizaremos un ensayo de prueba”.

La instrucción para los participantes pasivos fue la siguiente:

“En frente de ti se encuentra la caja en donde se te presentarán ambos objetos, tu tarea es utilizar el dispositivo que se te presentó anteriormente, el cuál ahora está fijo en la caja que sólo permite movimiento en un eje horizontal de izquierda a derecha. El dispositivo se comenzará a mover y te permitirá detectar dos objetos: uno a la izquierda, o, el primero y otro a la derecha, o, el segundo. El movimiento será dentro de un intervalo de tiempo y puede que no siempre sea el mismo. El intervalo del tiempo es marcado por un tono que te indicará que el ensayo acaba de comenzar. Después de cierto tiempo, ese mismo tono volverá a sonar, sin embargo, esta vez te indicará que la finalización del ensayo. Cuando esto suceda, el aparato se detendrá. Tu tarea será responder cuál de los dos objetos te pareció el más ancho. Podrás emitir tu respuesta con tu mano libre, mediante dos botones que se han colocado en

la mesa, uno a la izquierda y otro a la derecha. Cuando veamos tu respuesta registrada en la computadora y estemos listos para comenzar el siguiente ensayo volverás a escuchar el tono de inicio. Como ya habrás leído en la hoja que se te dio al inicio, el experimento consta de 120 ensayos en total y en todos tienes que emitir una respuesta, es decir, siempre tienes que decidir cuál es el más ancho. A continuación tomaré tu mano derecha y la colocaré en el dispositivo, tu mano libre la colocaré en donde se encuentran los botones de respuesta y a continuación realizaremos un ensayo de prueba”.

Cabe resaltar que a ninguno de los dos participantes se les comentó que la tarea constaría de dos bloques. Sólo se les decía que serían 120 ensayos en total. Sin embargo, hubo descansos cada 30 ensayos y después del ensayo 60 hubo (o no) un cambio de condición. Es decir, el participante que hizo la tarea en forma activa ahora sería pasivo, mientras que el que inicio de forma pasiva, ahora sería activo.

#### **3.3.4. Análisis y resultados**

Todos los análisis fueron realizados mediante el software de uso libre «R». A continuación se describen con detalle los tres análisis realizados.

### **Primer análisis: probando la hipótesis de percepción y movimiento auto iniciado**

Para este análisis se ocuparon las observaciones del primer bloque, es decir, los primeros 60 ensayos en donde todos los participantes fueron sometidos a la misma metodología descrita anteriormente (aleatorización de grupo, instrucciones, familiarización de los dispositivos, etc.). Se comparó el promedio de respuestas correctas de los pares de participantes mediante una *t* pareada con un nivel de confianza del 95 %. La razón de asumir a ambos grupos (pasivo y activo) como pareados, fue que ambos participantes detectaban el mismo objeto a la misma velocidad y tiempo, por lo tanto, la información sensorial y propioceptiva era la misma para ambos. Por otra parte, los histogramas de ambos grupos demuestran que la media es un valor confiable con todas las observaciones del primer bloque, en comparación a utilizar todas las observaciones de ambos bloques (Figura 2 del apéndice).

### **Resultados**

En la tabla 3.2 se puede observar el resumen de la estadística descriptiva para ambos grupos. A simple vista se puede notar que las diferencias entre las medias del promedio de respuesta correctas son nulas. Esto lo confirmó la prueba *t* para grupos pareados ya que se falló en rechazar la hipótesis nula, es decir, las diferencias en los promedios de respuestas correctas no fueron significativas entre el grupo pasivo ( $M = 0.708 \pm 0.10$ ) y el activo ( $M = 0.721 \pm 0.08$ );  $t(34) = -0.74734$ ,  $p = 0.46$ . En la Tabla 3.3 se resume esta información.

Tabla 3.2: Resumen estadístico de los datos

	Grupo	$Media_{Prc}$	$Mediana_{Prc}$	$DE_{Prc}$	$Min_{Prc}$	$Max_{Prc}$
1	Activo	0.708	0.717	0.102	0.500	0.917
2	Pasivo	0.721	0.717	0.081	0.517	0.867

Prc: Promedio de respuestas correctas.

Tabla 3.3: Resumen prueba t pareada

$\mu_a - \mu_p$	Valor t	Grad. de libertad	Valor P > 0.05
-0.013	-0.74734	34	0.46

$\mu_a$ : media del grupo activo.

$\mu_p$ : media del grupo pasivo.

### Segundo análisis: datos como medidas repetidas

Asumiendo que no existen diferencias significativas entre percibir activamente y pasivamente, en esta ocasión, no interesaban las diferencias entre estos dos grupos. En vez de esto, interesaba saber si existen diferencias cuando al participante se le pide cambiar de condición o cuando se mantiene en la misma.

Se utilizaron los datos del análisis previo y se compararon con la segunda medición, la cual es la repetición de la misma prueba, sólo que cambiando (o no) la condición del movimiento. Lo anterior quiere decir que ahora tenemos cuatro grupos independientes, es decir, los que iniciaron pasivo y en el segundo bloque fueron activos; los que iniciaron activos y en el segundo bloque cambiaron a pasivo; los que iniciaron activo y en el segundo bloque se mantuvieron igual y los que iniciaron pasivo y en el segundo bloque se mantuvieron igual.

Por último, se generó un modelo mixto mediante el paquete estadístico «nlme» (Pinheiro y cols., 2018), con los datos del promedio de respuesta de todos los grupos y bloques,

para saber si en efecto existe diferencias al cambiar (o no) la condición en la que se realiza la tarea de discriminación. La fórmula fue la siguiente:

$$\text{Promedio} \sim \text{Grupo} + \text{Bloque} + \text{Grupo} \times \text{Bloque} + \epsilon$$

Donde  $\epsilon$  fue nuestro “término de error” para representar las desviaciones de nuestras predicciones debido a factores aleatorios que no se pudieron controlar experimentalmente.

## Resultados

La tabla 3.4 muestra la estadística descriptiva para los cuatro grupos en ambos bloques. Mediante el ANOVA realizado al modelo mixto, se falló en rechazar la hipótesis nula: el diseño mixto ANOVA con bloque (primero y segundo) como factor intra-sujetos y grupo (activo a pasivo; activo sin cambio; pasivo a activo y pasivo sin cambio) como factor inter-sujetos no reveló ningún efecto principal en el factor bloque,  $F(1, 66) = 0.54$ ,  $p = 0.46$ , ni en el factor grupo,  $F(3, 66) = 1.25$ ,  $p = 0.30$  o en la interacción de ambos factores,  $F(3, 66) = 0.675$ ,  $p = 0.57$ . En la tabla 3.5 se resume la información del ANOVA mixto.

Dado el resultado, se falla en rechazar la hipótesis nula, es decir, no existe diferencia en términos del promedio de respuestas correctas, cuando se cambia de un modo de percibir (p. ej. Activo) a otro (p. ej. Pasivo). Los supuestos de normalidad de dicho modelo también fueron probados mediante un gráfico de residuales (Figura 3 del apéndice).

Tabla 3.4: Estadística descriptiva ANOVA Mixto

Grupo	Bloque	$Media_{Prc}$	$Mediana_{Pcr}$	$DE_{Pcr}$	$Min_{Pcr}$	$Max_{Pcr}$
AtoA	Primer Bloque	0.73	0.72	0.10	0.53	0.92
AtoA	Segundo Bloque	0.71	0.70	0.09	0.55	0.88
AtoP	Primer Bloque	0.69	0.68	0.10	0.50	0.85
AtoP	Segundo Bloque	0.70	0.68	0.11	0.53	0.92
PtoA	Primer Bloque	0.71	0.72	0.09	0.52	0.85
PtoA	Segundo Bloque	0.73	0.72	0.09	0.57	0.92
PtoP	Primer Bloque	0.74	0.74	0.07	0.62	0.87
PtoP	Segundo Bloque	0.76	0.77	0.11	0.60	0.93

Prc: Promedio de respuestas correctas.

AtoA: Activo en ambos bloques; AtoP: cambió a pasivo.

PtoP: pasivo en ambos bloques; PtoA: cambió a activo.

Tabla 3.5: Tabla ANOVA Mixto

	numGL	GL	Valor F	Valor P
(Intercepto)	1	66	5334.71	0.0001
Grupo:	3	66	1.25	0.3005
Bloque	1	66	0.54	0.4637
Grupo:Bloque	3	66	0.68	0.5704

GL: Grados de libertad.

### Tercer análisis: análisis profundo de una observación

El presente análisis permite observar lo que pudo haber influido en la tarea de elección forzada. Este análisis fue el resultado de ocupar la mayoría de los datos que fueron registrados durante el experimento principal. Los datos son sólo de una observación, es decir, de una diada de participantes. La razón de esto, fue debido a la dificultad y tiempo que se llevó al limpiar tanto los datos del dispositivo ET, como los datos registrados mediante el dispositivo de registro de conducta.

Con base en los resultados de los dos análisis previos, se decidió utilizar los 120 ensayos de esta diada, es decir, los del primer y segundo bloque<sup>4</sup>, y de esta forma, generar un

<sup>4</sup>En el caso de esta diada, los participantes cambiaron de condición, es decir, el pasivo a activo y el activo a pasivo.

modelo lineal que nos explique qué relación hay entre el tiempo de reacción, en la respuesta de los participantes, y los valores del sensor del dispositivo ET.

A diferencia del dispositivo de registro de conducta creado, el dispositivo ET comienza a registrar datos desde que se enciende. Entre todos los datos que registra el dispositivo, los valores del sensor permiten saber el momento en el que el dispositivo detectó un objeto sólido y por extensión, el dispositivo ET comenzó a vibrar. De esta forma, se identificaron todos los ensayos en el que los participantes detectaron a ambos objetos.

Lo que se hizo con los datos del sensor del dispositivo ET, fue ubicar todos “picos” que nos indicaban que un objeto había sido detectado con el dispositivo. Eso valores se transformaron de tal forma que nos indicaban cuánto tiempo duró encendido el sensor al detectar el primer y segundo objeto. Como en esta observación los participantes realizaron, en su mayoría, un sólo barrido para detectar ambos objetos (en casi todos los ensayos): todos los ensayos tendrían que ser distinguibles por tener un pico ancho y otro más estrecho, ya que en todos los ensayo se presentaban dos objetos de diferente anchura<sup>5</sup>. Sin embargo, al observar la serie de tiempo del sensor, se encontró que la diferencia entre los dos picos no siempre es la misma. De tal forma que, no es tan fácil distinguir cuál es el pico ancho y el estrecho ¿por qué es importante esto? Una de las instrucciones remarcables en el experimento fue que ignorarán la información de profundidad, ya que ambos objetos estaban a la misma altura, por lo tanto, la información que tenían que explotar sería: el momento en que el dispositivo ET comenzara a vibrar y el momento en el que esta vibración se detenía. Dicha estrategia fue confirmada por la mayoría de los participantes cuando fueron entrevistaron después de la prueba. Ahora, si en efecto esa

---

<sup>5</sup>Se excluyeron quince ensayos en los que los participantes hicieron más de un barrido.

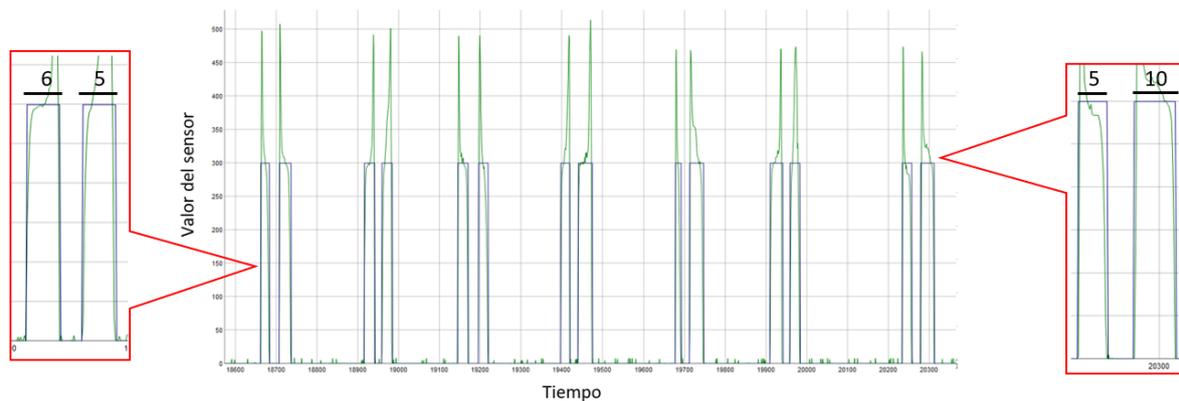


Figura 3.7: Serie de tiempo del sensor del dispositivo ET. En la gráfica se puede observar que hay dos picos que se superponen: uno azul y otro verde. El primero es el valor transformado y el segundo el valor real. Cada ensayo es representado por los dos picos cercanos, el sensor detectó un objeto ancho y otro estrecho. Las ampliaciones, muestran a dos diferentes ensayos en donde las diferencias de los objetos detectados, no es igual.

fue la estrategia ¿cómo afectó esto al tiempo de reacción de respuesta? Para responder la pregunta anterior, se realizó un modelo lineal en el que se incluyeron ciertos factores que pudieron haber influido en la relación del tiempo de reacción y la información enviada por los sensores del dispositivo. Posteriormente se utilizó el Criterio Akaike de Información<sup>6</sup>, mediante la librería estadística «MASS» (Venables y Ripley, 2002) para filtrar sólo aquéllos factores que afectan al modelo de forma significativa.

**Datos del análisis:** Los tiempos de reacción se obtuvieron del microcontrolador, el cual estaba programado para que, después de los cinco segundos del inicio del ensayo, un mensaje «end» se imprimiera en la pantalla del ordenador. Posterior a este mensaje, un contador iniciaba: la frecuencia de muestreo era diez datos por segundo. El contador se detenía cuándo el participante emitía una respuesta, ya sea que presionara izquierda o presionara derecha. Por otra parte, como se mencionó anteriormente, los dispositivos

<sup>6</sup>Esta técnica, permite comparar diferentes modelos con diferentes predictores, mediante penalizaciones por el número de predictores utilizados, de tal forma, que permite elegir sólo los predictores que aportan significativamente al modelo. Los detalles y las formulas se discuten Sakamoto y cols. (1986).

ET están programado para registrar datos desde el momento en que se enciende. Sin embargo, a diferencia del dispositivo de registro de conducta, la frecuencia de muestreo de los dispositivos ET es de dieciocho datos por segundo.

En la figura 3.7 se observa un gráfico de los valores del sensor en algunos ensayos; a los costados se observan dos ampliaciones de dos diferentes ensayos. Como se menciona en la gráfica, cada ensayo está representado por dos picos juntos: un pico ancho y otro estrecho. Sin embargo, en las ampliaciones de los costados de la figura 3.7 se puede apreciar que la diferencia entre el pico ancho y el pico estrecho, es casi nula en algunos casos. Lo anterior es importante, ya que se esperaría que en todos los ensayos se pudiera distinguir cuándo el sensor detectó el objeto grande y el objeto chico, ya que, a diferencia del pilotaje, en todos los ensayos el objeto grande (8 cm) fue tres centímetros más ancho que el chico (5 cm). Esto pudo haber sido causado debido a que la velocidad de desplazamiento no siempre fue la misma en todos los ensayos<sup>7</sup>, lo que pudo haber causado sesgos en las respuestas de los participantes.

La ampliación del lado izquierdo de la figura 3.7 muestra que el sensor mandó seis datos al detectar al objeto grande, esto quiere decir que se encendió por aproximadamente 0.33 segundos ( $6 \div 18$ ) y luego se apagó. Por otra parte, cuando detectó al objeto chico, el sensor mandó cinco datos, lo que quiere decir que se encendió por aproximadamente 0.27 segundos ( $5 \div 18$ ). De la misma forma, en el ensayo ampliado a la derecha, se observa que al detectar el objeto chico se mandaron 5 datos (0.27 s) y al detectar el grande se mandaron 10 (0.55 s). Se obtuvieron los valores absolutos de la diferencia entre los tiempos que duró

---

<sup>7</sup>Es posible sacar un perfil de velocidad de cada ensayo utilizando los valores registrados por los acelerómetros del dispositivo ET, sin embargo, filtrar y analizar esos datos, requiere de conocimientos más avanzados en estadística.

encendido el sensor cuando detectó al objeto chico y cuándo detectó al objeto grande. Tomando en cuenta el ejemplo anterior, la diferencia de tiempo para el ensayo de la izquierda es de aproximadamente 0.05 ( $|5 - 6| \div 18$ ) segundos y de aproximadamente 0.27 ( $|5 - 10| \div 18$ ) segundos para el ensayo del lado derecho. Esto nos indica que hubo ensayos en donde la diferencia entre ambos objetos fue casi nula, lo que pudo haber afectado el proceso de decisión de los participantes. De hecho, hubo participantes que preguntaron al final del experimento, si en efecto siempre presentó un objeto grande y un objeto chico, ya que, a su parecer, hubo ensayos en donde respondieron creyendo que ambos objetos tenían el mismo tamaño.

En el caso de tiempos de reacción en la respuesta, los datos se dividieron entre diez, ya que nuestro dispositivo de registro de conducta mandaba diez datos por segundo. Por ejemplo, si se imprimieron trece datos, quiere decir que el participante se tardó 1.3 segundos en contestar.

Como se mencionó en la sección 3.3.1 no se planteó una hipótesis concretamente, sin embargo, lo que se esperaba encontrar era que el tiempo de reacción sería mayor cuando la diferencia entre los dos objetos es casi nula, por lo que, la ambigüedad en la información recibida por el dispositivo, al comparar ambos objetos, sería bastante.

## Resultados

Se obtuvieron los datos del tiempo de reacción ( $Tr$ ) y diferencia de los picos del sensor ( $Diffp$ ) de todos los ensayos, donde el primero es variable respuesta y el último la variable predictora. Se graficó la relación lineal entre las dos variables (Figura 3.8) y después se

creó el modelo de regresión lineal al que se le añadieron los datos de: si la respuesta fue correcta o incorrecta en ese ensayo (Corr); si respondió en condición activa o pasiva (Grp); si fue en el primer o el segundo bloque (Blq) y si respondió que estaba seguro o inseguro (Tc), para crear un modelo completo. En la tabla 3.6 se muestran algunos de los datos mencionados anteriormente.

Tabla 3.6: Muestra de los datos

	Blq	Grp	Corr	Tr	DiffP	Tc
1	Primer	Pasivo	Sí	0.60	0.72	Seguro
2	Segundo	Activo	Sí	1.00	0.67	Seguro
3	Primer	Pasivo	Sí	0.30	0.39	Seguro
4	Segundo	Pasivo	Sí	0.30	0.39	Seguro
5	Primer	Activo	No	0.30	0.39	Seguro
6	Primer	Pasivo	No	0.80	1.06	Seguro
7	Primer	Activo	Sí	0.30	0.56	Seguro
8	Primer	Activo	Sí	0.20	0.11	No Seguro
9	Primer	Activo	Sí	0.70	0.72	Seguro
10	Segundo	Activo	Sí	0.60	0.44	Seguro

Bloque(blq); Grupo(Grp); Correcto (Corr).

Tiempo de reacción(Tr); Diferencia de picos(DiffP).

Tasa de confianza(Tc).

### *Modelo inicial*

$$\widehat{Tr} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \times \text{Diffp} + \hat{\beta}_2 \times \text{Corr} + \hat{\beta}_3 \times \text{Tc} + \hat{\beta}_4 \times \text{Diffp} : \text{Corr} + \hat{\beta}_5 \times \text{Diffp} : \text{Tc} + \hat{\beta}_6 \times \text{Blq} + \hat{\beta}_7 \times \text{Grp}$$

Posteriormente, se ocupó el Criterio Akaike de Información (AIC, por sus siglas en inglés) para filtrar aquellos factores que afectan de forma significativa al modelo. El modelo final fue el siguiente:

### *Modelo final*

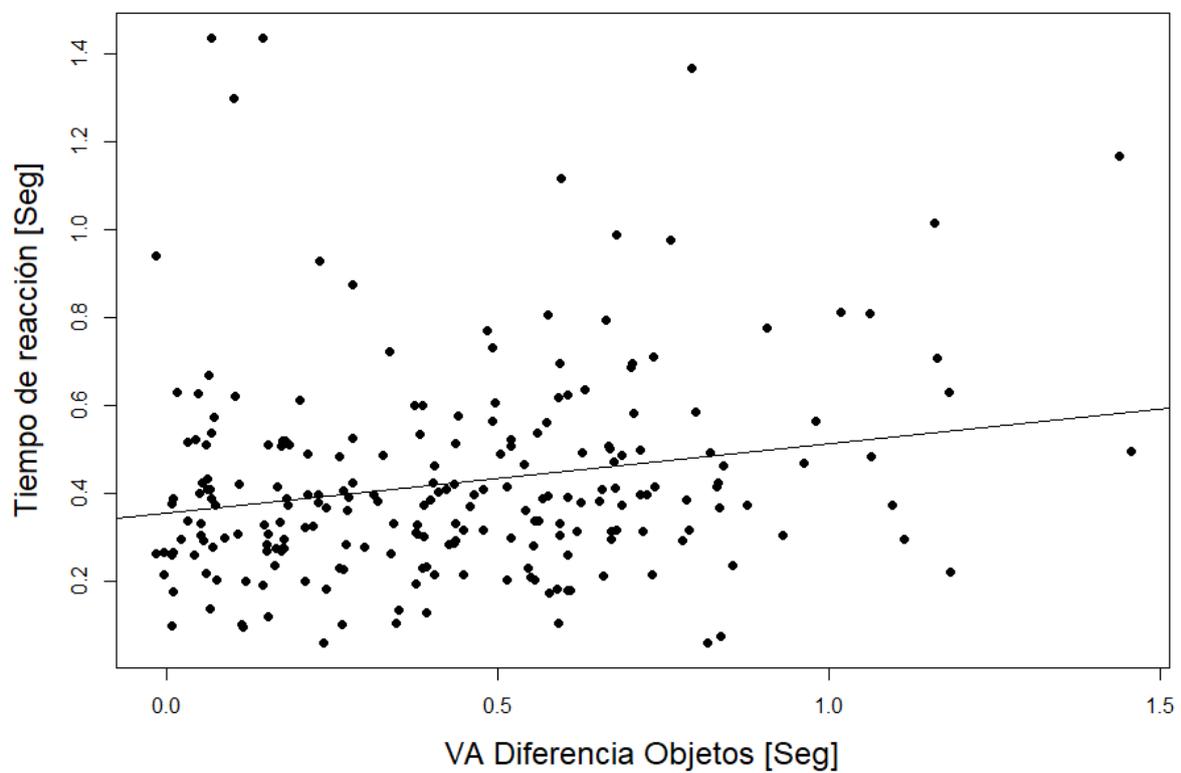


Figura 3.8: Relación lineal entre el tiempo de reacción (eje de las ordenadas) y el valor absoluto (VA) de las diferencias entre los dos objetos (eje de las abscisas).

$$\widehat{Tr} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \times \text{Diffp} + \hat{\beta}_2 \times \text{Corr} + \hat{\beta}_3 \times \text{Grp} + \hat{\beta}_4 \times \text{Diffp:Corr}$$

De acuerdo con el AIC, de la librería estadística «MASS» (Venables y Ripley, 2002), los factores que afectan significativamente al modelo son: si la respuesta fue correcta o incorrecta, la condición (pasivo o activo) y la interacción entre la diferencia de los dos objetos con el resultado de la respuesta (correcta o incorrecta). Esto último es importante, ya que nos indica que el resultado de la respuesta fue afectado por la diferencia entre los dos objetos: el modelo de regresión lineal múltiple fue calculado para predecir el tiempo de reacción basado en la diferencia entre los dos objetos (DiffP), el resultado de la respuesta (Corr: correcta o incorrecta), la condición (Grp: pasivo o activo) y la interacción entre el resultado de la respuesta y la diferencia de los dos objetos (DiffP:Corr). Una ecuación de regresión significativa fue encontrada ( $F(4, 218) = 9.559$ ,  $p < 0.000$ ) con una  $R^2$  de 0.1336. El tiempo de reacción de un participante es igual a:

$$\widehat{Tr} = 0.403 + 0.427 (\text{Diffp}) + -0.006 (\text{Corr}) + -0.086 (\text{Grp}) + -0.316 (\text{Diffp:Corr})$$

Donde la diferencia entre dos objetos es medido como el valor absoluto en segundos; el resultado de la respuesta es codificado como 1= correcto, 0= incorrecto y la condición como 1 = pasivo, 0 = activo. El tiempo de reacción del participante incrementa 0.427 por cada valor de la diferencia entre ambos objetos, -0.006 cuando la respuesta es correcta, -0.086 si respondió en condición pasiva y -0.316 en la interacción de los dos factores. Tanto la diferencia entre los dos objetos, el resultado de la respuesta y la interacción entre diferencia y resultado de respuesta, fueron predictores significativos del tiempo de reacción. La tabla 3.7 resume la información del modelo de regresión lineal y la figura 3.9 ilustra el modelo de regresión lineal final con sus respectivas pendientes.

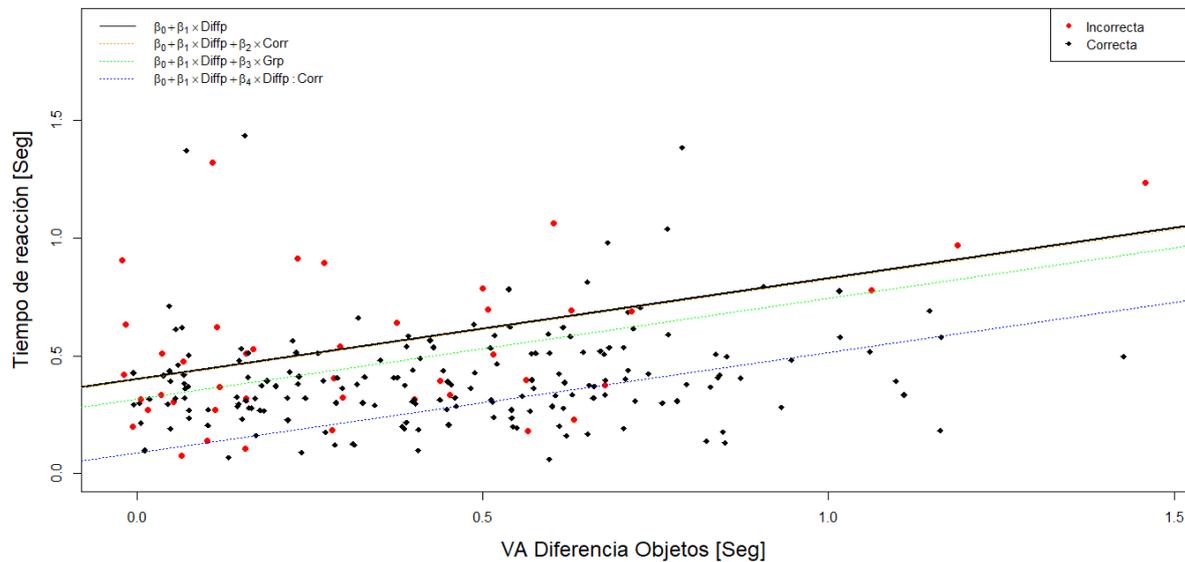


Figura 3.9: Gráfico final de la relación lineal entre el tiempo de reacción y el valor absoluto de las diferencias entre los dos objetos con las respectivas pendientes del modelo de regresión lineal múltiple.

Tabla 3.7: Resumen del análisis de regresión lineal

	Estimado	Error Estándar	Valor t	Prob.( >  t )
(Intercepto)	0.4038	0.0485	8.33	0.0000
DiffPe	0.4274	0.1019	4.19	0.0000
Corr1	-0.0062	0.0563	-0.11	0.9126
GrpPas	-0.0862	0.0294	-2.93	0.0038
Diffp:Corr1	-0.3162	0.1160	-2.73	0.0069

$F(4, 218) = 9.559$ , \*\*\*  $p < 0.000$ ,  $R^2: 0.1336$

Por último se probaron los supuestos de factor de inflación de varianza y de normalidad en los residuales. En el primero, ninguno de los factores del modelo supera el valor de diez, por lo que, se evita la multicolinealidad en los factores. Sin embargo, en relación a los residuales, parece que el supuesto es violado, principalmente por los diversos puntos de influencia en la relación lineal. Para más detalles, revisar la figura 4 del apéndice.

## Capítulo 4

### Discusión

La configuración utilizada para asemejar el experimento de Held y Hein (1963), parece haber sido adecuada para utilizar los dispositivos ET, ya que ambos participantes, en cada diada, eran expuestos al mismo movimiento e información sensorial, lo que permite superar gran parte de las críticas realizadas al experimento clásico. Además de esto, se realizó una tarea más controlada y objetiva a las que comúnmente se realizan en experimentos con sustitución sensorial. Por una parte, la tarea de discriminación del pilotaje permitió decidir la anchura de los objetos utilizados, mientras que el dispositivo creado, y la capacidad de registro de datos del dispositivo ET, permitieron el registro de diversos datos que hicieron posible la comparación de las condiciones del movimiento (activo y pasivo).

Los primeros dos análisis del experimento principal, indicaron que no existen diferencias significativas entre ambos grupos al comparar el promedio de respuestas correctas. Incluso al haber un cambio en la condición del movimiento, el promedio de respuestas

correctas, no es significativamente diferente para ninguno de los grupos (cambio de condición en el segundo bloque; sin cambio en el segundo bloque). Sin embargo, el tercer análisis reveló la necesidad de tener en cuenta ciertos factores que pudieron influir en las respuestas de los participantes. Se podría decir que lo más destacable de esto último, es que en algunos ensayos la diferencia en la anchura entre el objeto ancho y el objeto estrecho, es casi nula. Lo anterior derivó en la creación de un modelo de regresión lineal, en donde se ocuparon la mayoría de los datos registrados durante la tarea de discriminación, sin embargo, sólo de una observación. El análisis reveló que la diferencia de anchura, entre ambos objetos, afecta el tiempo de reacción, además de existir una interacción entre el valor absoluto de la diferencia entre el objeto ancho y el objeto estrecho y el resultado de la respuesta (si fue correcta o incorrecta).

A continuación se discute con más detalle el pilotaje y el experimento principal, con el fin de abordar de una forma más extensa la metodología utilizada y la interpretación de los resultados obtenidos.

## **4.1. Pilotaje: discriminación de anchuras mediante el dispositivo Enactive Torch**

La razón principal de haber realizado esta prueba, antes del experimento real, fue para conocer las capacidades de discriminación perceptual al utilizar el dispositivo Enactive Torch y diferenciar dos objetos. La motivación inicial, fue encontrar un valor en el que dos objetos fueran apenas diferenciables entre sí, para permitirnos asumir que los

participantes en efecto están discriminando y no sólo contestando al azar en una tarea de discriminación. Sin embargo, no es posible hablar de umbrales y parámetros como se hace en los experimentos de psicofísica. Para hacer esto, se necesitaba ser riguroso al utilizar metodología en psicofísica, es decir, se tuvieron que cumplir ciertos aspectos importantes para la estimación de parámetros y que los resultados sean confiables. Sin embargo, al revisar trabajos en psicofísica, se llegó a la conclusión de que es imposible que no haya sesgos en la estimación de parámetros, cuando en todos los ensayos (o todos los participantes) no pasaron por las mismas condiciones, algo que resultó imposible en la configuración utilizada. Por lo tanto, la discusión en torno al pilotaje debe ser abordada desde el aspecto metodológico y su implementación.

### **En relación a la metodología**

La tarea realizada fue de discriminación con elección forzada con dos opciones respuesta, sin embargo, es posible que lo más adecuado hubiera sido realizar una tarea de dos intervalos de respuesta, es decir, presentar primero un objeto y luego el segundo en intervalos de tiempo controlados, y, de esta forma, asegurar que todos los ensayos fueran iguales.

Cuando se ajusta la metodología a una tarea de elección forzada con dos intervalos de respuesta, hay aspectos que se deben considerar. Por ejemplo, se tendría que asegurar que tiempo inter-estímulo sea el mismo para todos los ensayos. Por una parte, en la tarea implementada, resulta imposible controlar aspectos como el anteriormente mencionado, ya que, si recordamos la metodología utilizada en nuestro pilotaje, el investigador era quién colocaba los objetos en la parte posterior de la caja y quién regresaba al participante

a la posición original cuando finalizaba el ensayo, lo que hace imposible que el tiempo inter-estímulo sea el mismo en todos los ensayos, incluso tampoco se puede asegurar que el tiempo entre ensayos fue el mismo para todos los casos.

Es necesario modificar la caja creada para que permita tener un mejor control de los ensayos presentados en la tarea, de tal forma que se pueda asegurar una igualdad en los tiempos del inter-estímulo y los tiempos entre ensayos. La opción podría ser añadir motores que coloquen automáticamente los estímulos y motores que regresen al participante a la posición principal. Esto último, también ayudaría a asegurar que todos los participantes pasen por las mismas condiciones, sin embargo, se tendría que sacrificar la intencionalidad del movimiento, es decir, el movimiento tendría que ser estrictamente impuesto por el motor.

La metodología utilizada en el pilotaje no es única que amerita una discusión detallada, ya que la implementación de ésta, es la que principalmente limita los resultados obtenidos.

### **En relación a la implementación**

En muchos estudios con dispositivos de sustitución sensorial y técnicas en psicofísica, los investigadores no se preocupan por asumir posibles diferencias entre el modo de percibir mediante una interacción dinámica con el ambiente. Lo anterior quiere decir que en algunos estudios no se permiten movimientos exploratorios libres para encontrar la información sensorial, en vez de eso, la información perceptual es recibida de forma estática (p. ej. Brayda y Campus, 2012) y, en la implementación de sus protocolos experimentales,

se asume que estas diferencias no son relevantes. Aunque lo anterior amerite una discusión más detallada, existe cierta evidencia que resalta las diferencias en la realización de movimientos exploratorios: autoiniciados o impuestos. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por van Beek y cols. (2014), se encontró evidencia de las diferencias que existen al percibir con un dispositivo háptico, mediante movimientos autoiniciados o impuestos. Los investigadores no se preocuparon por controlar por completo todos los ensayos presentados en la tarea, en vez de eso, registraron el tiempo que duró cada ensayo; el tiempo de interacción de un estímulo al otro; la velocidad a la que iban, entre otros factores aleatorios que pudieron influir en la fijación de las curva psicométricas que fijaron. Mediante las diferentes pruebas que realizaron, ellos encontraron que existen diferencias significativas al percibir distancias cuando el movimiento es autoiniciado o impuesto, favoreciendo significativamente al primero. Además, encontraron que la duración del ensayo también influye en la discriminación de distancias.

Desafortunadamente, en el presente trabajo, no hay forma de apoyar o refutar hallazgos como los de (van Beek y cols., 2014), ya que, por una parte, en la tarea del pilotaje sólo hubo una condición (movimiento autoiniciado), mientras que por otro lado, no se pudo registrar datos del dispositivo ET, debido a problemas técnicos, por lo tanto, no fue posible cuantificar el tiempo de duración de cada ensayo ni los perfiles de velocidad de los participantes<sup>1</sup>. Es posible que si esos datos hubieran sido registrados y analizados, comprenderíamos mejor los resultados obtenidos en el pilotaje, por ejemplo, un análisis de la serie de tiempo del dispositivo ET, permitiría saber porque la curva individual de cada participante, es bastante diferente una de otra (Figura 1 del apéndice).

---

<sup>1</sup>Los dispositivos ET generan una serie de tiempo que permitiría sacar perfiles de velocidad y tiempo de duración de cada ensayo.

Además de los problemas técnicos enfrentados, la participación en el pilotaje fue muy poca, por lo que, lo que buscaba el pilotaje, era realizar una tarea que fuera similar a la principal, por lo que el movimiento autoiniciado era fundamental. Sin embargo, el hecho de que hubiera movimiento autoiniciado hizo que completar la tarea se extendiera en el tiempo. Por esa razón, se disminuyó el número de ensayos por estímulo, además de no haber utilizado estímulos menores al de referencia, es decir, menores a cinco centímetros de anchura. Esto último, es una de las razones principales del por qué no podemos hablar de umbrales y parámetros sin apelar a posibles sesgos.

Es necesario replicar este estudio teniendo en consideración lo que se mencionó anteriormente, es decir, en relación a la metodología a utilizar y su implementación. Por ejemplo, implementar teoría en detección de señales o un método adaptativo, en una tarea de elección forzada de dos intervalos, permitiría reducir el número de ensayos en la tarea (Prins y cols., 2016), esto también permitiría presentar las intensidades necesarias del estímulo para la estimación correcta de los parámetros.

## 4.2. Experimento principal

Bajo la idea de que la percepción es basada en acción, es decir, la relación que existe entre la generación de movimiento y la información perceptual: nuestros resultados indican que no existen diferencias significativas entre realizar movimientos intencionales o impuestos al discriminar anchura con un dispositivo de sustitución sensorial. Esta evidencia, se puede interpretar desde aquellos enfoques que creen que la información perceptual es accesible incluso si el movimiento no es estrictamente autoiniciado (J. Gibson, 1979;

Seth, 2014). Más específicamente, basado en nuestros resultados, se puede argumentar que, si en efecto el movimiento es necesario para la percepción, el movimiento es sólo un medio instrumental que es equivalentemente motor, es decir, cualquier tipo de transformación motora en el ambiente permitirá el acceso a la información perceptual (Michaels y Carello, 1981). Por lo tanto, aquellos enfoques que creen que hay una relación más íntima entre la generación de los comandos motores específicos y la información perceptual (p. ej. O'Regan y Noë, 2001), pueden no tener la razón.

La idea de que nuestro ambiente es lo suficientemente rico en información perceptual, la cual es accesible mediante transformaciones motoras y no depende de otros pasos extra que la modifiquen (por ejemplo, la iniciación de comandos motores específicos), ha sido defendida por la teoría Ecológica de la percepción (E. J. Gibson, 1969). Gibson argumentaba que la percepción está basada en información relevante para el animal, y que esta información se encuentra en la matriz sensorial de su ambiente. Todos los objetos contenidos en este ambiente, contienen invariantes perceptuales, que al ser sometidas a transformaciones motoras, permiten percibir y diferenciar características de estos (Turvey y Carello, 1986). Bajo este enfoque y en relación con nuestros resultados obtenidos, se argumenta que las transformaciones motoras hechas (los movimientos de horizontales) por el participante activo, fueron suficientes para especificar la información de anchura de los dos objetos presentados. Por otra parte, los resultados también destacan lo descrito por otros experimentos realizados en movimiento pasivo, en donde las señales sensoriales (información aferente y propioceptiva, principalmente) codifican una gran proporción de la información espacial por sí solas (Miller y cols., 2018).

La ventaja de haber realizado el experimento en la configuración creada, permite

asegurar que ambos participantes estuvieran realizando la misma tarea, y su atención estuviera dirigida al mismo objetivo, es decir, diferenciar cuál era el objeto ancho. Por una parte, se argumenta que se logró superar la crítica hecha por J. Prinz (2006), ya que como ambas manos estaban reposando en el aparato, es decir, no “flotaba” una, mientras que la del otro participante reposaba en el aparato (como en la configuración original): ambos participantes recibieron la misma información propioceptiva y sensorial. Por otro lado, en relación a los mecanismos atencionales mencionados por Walk y cols. (1988), creemos que el hecho de que las instrucciones haya sido las mismas para ambos participantes, es decir, que tenían discriminar dos objetos y responder cuál fue el más ancho en un intervalo de tiempo, permite superar dicha crítica. No sólo eso, nuestros resultados también son similares a los reportados por estos investigadores, es decir, no encontramos diferencias significativas en la tarea de discriminación para ambos grupos (movimiento autoiniciado e impuesto), entonces es muy posible que lo descrito por Walk y cols. (1988), acerca de la atención en información perceptual del ambiente, es lo que permite que se pueda discriminar los objetos.

La crítica que quizá no se pueda argumentar del todo, mediante los resultados encontrados del presente estudio, es la que Gentsch y cols. (2016) describen en su trabajo, es decir, donde se defiende que una vez que se adquiere la habilidad de discriminar perceptualmente, ésta se mantendrá en el futuro incluso aunque el movimiento ya no sea intencional. Sin embargo, mediante los resultados del segundo análisis, en donde no hubo diferencias significativas entre ninguno de los grupos (cambio de condición de movimiento; sin cambio de condición) y los bloques (primer bloque y segundo bloque), entonces, es posible que lo descrito por Gentsch y cols. (2016) tenga sentido. Por esta razón, no hubo un decremento significativo cuando los participantes del grupo activo pasaron a la

condición pasiva en el segundo bloque de nuestro experimento<sup>2</sup>.

Aunque ciertas limitaciones del experimento clásico hayan sido superadas, mediante la implementación de la configuración creada, existen algunas cuestiones que tienen que ser revisadas con más detalle para futuros estudios. Por ejemplo, en el experimento de Held y Hein (1963) se implementó una tarea de discriminación de profundidad y en la nuestra se implementó una de discriminación de anchura. Lo anterior es importante ya que es posible que percibir anchura sea diferente a percibir profundidad con estos dispositivos. Por ejemplo, la interpretación de Lenay y cols. (1997) a uno de sus experimentos, en donde los movimientos eran limitados al participante que realizaba una tarea de sustitución sensorial, nos pueden ayudar a ilustrar las diferencias que existen al percibir profundidad y percibir anchura. Ellos describen que:

[E]l sujeto puede indicar la dirección del objetivo y evaluar aproximadamente el ancho de un ángulo, sin embargo no puede indicar a qué distancia está el objetivo (...) [él] declara que sólo tiene acceso a dos dimensiones en el espacio, “anchura” y “altura”. No hay “profundidad”. Sin embargo, una vez que el objetivo está “atrapado”, la sucesión de sensaciones está, vinculada a un objeto exterior e inmóvil en este espacio bidimensional (Lenay y cols., 1997, p,49).

Cita traducida que aparece en el artículo original:

[T]he subject can indicate the direction of the target and roughly evaluate an

---

<sup>2</sup>Cabe señalar que aunque los resultados no fueron significativos, para ninguno de los grupos (cambio de condición; sin cambio de condición) se puede observar un muy ligero decremento en el promedio de respuesta correctas cuando la condición activa se mantuvo durante el segundo bloque (Figura5 del apéndice), esto pudo haber sido causado por el cansancio de los participantes

angle ‘width’, but he cannot tell the distance of the target (...) [he] declares that he has access to only two dimensions in space, “width” and “height”. There is no “depth”. However, once the target is “caught”, the succession of sensations is indeed linked to an outside, immobile object in this two-dimensional space (Lenay y cols., 1997, p,49).

Posteriormente ellos argumentan que para acceder a las características de la información tridimensional, es necesario otro componente de acción, el cual está ligado con la información re-aferente, tal como lo describen algunos enfoques que defienden una relación más íntima entre comandos motores y la información perceptual del ambiente (p. ej. O’Regan y Noë, 2001). Aunque en su tarea, a los participantes sí se les permitía hacer movimientos intencionales, estos eran de forma rígida: el brazo de los participantes tenía que permanecer quieto y sólo su mano era la que podía moverse en el espacio. Lo importante a destacar de lo descrito por Lenay y cols. (1997), es cómo el participante, aún con este movimiento limitado y rígido, era capaz de discriminar cierta información perceptual como anchura y altura, pero no la información de profundidad. Lo anterior lleva al siguiente punto defendido por algunos investigadores (p.ej. Lobo, 2017): los dispositivos de sustitución sensorial de cualidad háptica están diseñados, principalmente, para tareas que involucren lidiar con información de profundidad (Renier y De Volder, 2010), por lo que utilizarlos en otras tareas que no involucren ésta, puede llevar a resultados engañosos ya que es posible que se utilicen otras estrategias independientes de la información perceptual (Lobo, 2017).

Es posible que en nuestro experimento, la información perceptual no haya sido la única considerada por los participantes. Esto quizá se pueda corroborar, ya que al revisar

los cuestionarios en dónde se le preguntaba a los participantes la estrategia utilizada para resolver la tarea: la mayoría hacía mención a la comparación de los tiempos que duró la estimulación vibratoria en cada objeto, sin embargo, si recordamos el resultado del tercer análisis, la información proveniente de los sensores no siempre fue la misma a lo largo de los ensayos, posiblemente por los cambios en la aceleración en los movimientos exploratorios de los participantes o la mala calidad del sensor. Si además, le agregamos que en algunos ensayos los tiempos de reacción fueron mayores a los cinco segundos, muy posiblemente, otra información, independiente de la información perceptual del ambiente, está afectando el proceso de decisión de los participantes.

Existen experimentos basados en modelos computacionales en percepción, en donde se argumenta que el dejar pasar demasiado tiempo en la respuesta, después de haber presentado la información perceptual, permite que el participante acceda a otros mecanismos cognitivos de alto orden, que afectan el juicio en la decisión perceptual (Voss y cols., 2013). Por esa razón, la estrategia de decisión en los participantes, en nuestro estudio, amerita una discusión detallada. Por un lado, si al analizar todas las observaciones restantes (y hacer lo mismo del tercer análisis en esos datos), se encuentran patrones similares a los descritos en nuestro experimento, es decir, una relación entre el tiempo de reacción y la diferencia absoluta del tiempo que duró la detección del objeto chico y el objeto agrande, más el resultado de la respuesta (correcta o incorrecta), tal vez se pueda esclarecer la estrategia utilizada por los participantes, sin embargo, por el momento nos limitamos a argumentar que los resultados obtenidos no son concluyentes y no se puede asumir que la única información ocupada por los participantes, haya sido puramente perceptual. Es necesario trabajar con los datos recabados del presente estudio y además, generar una tarea en donde se restrinja el tiempo de decisión en la respuesta, para contrastar los

resultados obtenidos.

Por último, cabe mencionar que una de las limitaciones más importantes del presente trabajo, fue causada por el dispositivo de registro de conducta, por lo tanto, es necesario realizar mejoras en la programación de dicho dispositivo para facilitar la recolección y análisis de los datos en futuros estudios con la misma configuración. También es necesario generar análisis avanzados en las series de tiempo registradas por los dispositivos Enactive Torch, es decir, no sólo ocupar los datos del sensor cómo se realizó en el tercer análisis. Esto permitiría encontrar posibles relaciones entre la coordinación del movimiento y la información detectada. Todo lo anterior, busca resaltar la importancia de implementar conocimiento desde diferentes disciplinas, con el fin de generar evidencia empírica rigurosa desde el campo de la psicología experimental.

# Capítulo 5

## Conclusiones y Trabajo a Futuro

### 5.1. Conclusiones del presente estudio

Se realizó un estudio amplio con el dispositivo Enactive Torch, con el fin de generar evidencia empírica relevante al debate del rol del movimiento en la percepción, que se defiende desde los enfoques de la percepción basada en acción. El estudio, resultó en la creación de una configuración que asemeja el experimento de Held y Hein (1963), un pilotaje y un experimento principal.

Por una parte, el haber realizado la tarea de discriminación en pilotaje, permitió un estudio más riguroso y amplio a los que, hasta el momento, se habían realizado con el dispositivo Enactive Torch. Por otro lado, la implementación de la configuración creada, permitió generar un experimento novedoso en el campo de la sustitución sensorial. Además, dicha configuración (la caja y el dispositivo de registro de conducta) se pueden

utilizar en otras tareas que involucren el uso del dispositivo ET. Todo lo anterior, resalta el valor del presente trabajo.

Aunque el presente estudio no se centró en generar parámetros de una tarea psicofísica, la utilización de técnicas de psicofísica en experimentos con sustitución sensorial, debe ser considerada con más frecuencia en estudios de este tipo, sin embargo, su implementación deber ser más rigurosa: en el presente estudio, no se puede hablar de una tarea rigurosa. Por una parte, no se utilizaron estímulos menores al de referencia, lo que dificulta la estimación de parámetros y umbrales. Por otro lado, debido a que en cada ensayo, los participantes podían moverse libremente, y los datos del dispositivo ET no fueron registrados, tampoco se puede asegurar que todos los ensayos fueron iguales. Por lo anterior, sólo se argumenta que el pilotaje permitió decidir los objetos a utilizar en la tarea principal. Es necesario replicar la prueba del pilotaje, teniendo en consideración las limitaciones del presente estudio.

En relación al experimento principal, el presente estudio logró el objetivo de generar un experimento que asemejara la configuración de Held y Hein (1963) con la ventaja de superar algunas de las críticas hechas alrededor de éste, de tal forma que se puede argumentar que el movimiento autoiniciado no es necesario para percibir las características perceptuales de los objetos. Sin embargo, por un lado, es necesario un análisis más detallado de los ensayos, mientras que por otro lado, se necesita tener en consideración que discriminar anchura, no es lo mismo que discriminar profundidad. Por lo tanto, los resultados descritos en el presente estudio deben ser tomados con cautela, ya que son motivo de una discusión exhaustiva.

En el segundo análisis, en donde cambió (o no) la condición del movimiento, encontramos que cambiar de un modo de movimiento a otro, no afecta de forma significativa el rendimiento en la tarea de discriminación. Sin embargo, si se busca argumentar que las habilidades de discriminación se mantienen, incluso después del cambio de movimiento, es necesario replicar el estudio con condiciones balanceadas y un mejor diseño experimental. Una opción sería hacer un diseño de bloques para que todos los participantes pasen por las tres condiciones, es decir, que pasen por la condición pasiva, condición activa y la repetición de la condición en la que inició.

Por último, aunque el tercer análisis haya sido exploratorio, los resultados encontrados deben considerarse de forma seria para futuros estudios con el dispositivo ET, ya que, muy posiblemente, los participantes respondían al azar cuando las diferencias entre ambos objetos no eran evidentes. Es necesario aplicar técnicas avanzadas para el análisis de series de tiempo de los datos generados, para obtener conclusiones más rigurosas.

Si se busca argumentar que nuestro experimento demuestra que no hay diferencias entre al realizar movimientos autoiniciados e impuestos en una tarea perceptual, se deben de analizar los datos restantes para saber si en efecto la única información ocupada por los participantes es perceptual. También es necesario replicar el presente estudio, limitando el tiempo de respuesta, para contrastar los resultados obtenidos en el primer análisis.

## 5.2. Trabajo a futuro

1. Limpiar toda la base de datos registrada en el presente estudio para entender cómo se llevó a cabo el proceso de decisión.
2. Mejorar la caja creada en el presente estudio, agregando motores para que los estímulos sean puestos y retirados automáticamente. Es posible que también se necesite agregar un motor que mueva al participante, ya sea, para que el participante se mueva de forma pasiva o para regresarlo a la posición original cuando genera movimiento activo. Por otro lado, es necesario mejorar el código de registro de conducta para que los datos sean más fáciles de administrar y analizar.
3. Realizar un experimento psicofísico teniendo en consideración las limitaciones del presente estudio, Principalmente en la metodología utilizada. Yo propondría un experimento que pueda ser interpretado mediante teoría en detección de señales. Además, en esta ocasión registrar la mayor cantidad de datos posibles, por ejemplo, más de una opción en la tasa de seguridad de la respuesta, es decir, no sólo “seguro” o “inseguro” cómo ocurrió en el experimento principal.
4. Realizar un experimento en donde se comparen las capacidades de discriminación de profundidad entre participantes que realizan movimientos auto iniciados e impuestos. También sería necesario mejorar el método de medidas repetidas del segundo bloque balanceando todos los grupos.

# Bibliografía

- Auvray, M., y Myin, E. (2009). Perception with compensatory devices: From sensory substitution to sensorimotor extension. *Cognitive Science*, 33(6), 1036–1058.
- Bach-y Rita, P. (1972). *Brain mechanisms in sensory substitution*. Academic Press Inc.
- Bach-y Rita, P. (1983). Tactile vision substitution: past and future. *International Journal of Neuroscience*, 19(1-4), 29–36.
- Bach-y Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B., y Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, 221(5184), 963.
- Bach-y Rita, P., y Kercel, S. W. (2003). Sensory substitution and the human–machine interface. *Trends in cognitive sciences*, 7(12), 541–546.
- Barrett, L., y Würsig, B. (2014). Why dolphins are not aquatic apes. *Animal Behavior and Cognition*, 1(1), 1–18.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617–645.
- Barsalou, L. W. (2016, September). Can cognition be reduced to action? processes that mediate stimuli and responses make human action possible. En A. K. Engel, K. J. Friston, y D. Kragic (Eds.), *The pragmatic turn: Toward action-oriented views*

- in cognitive science* (Vol. 18). Cambridge, MA: MIT Press. Descargado de <http://eprints.gla.ac.uk/112309/> doi: 10.7551/mitpress/9780262034326.003.0005
- Beer, R. D. (2003). The dynamics of active categorical perception in an evolved model agent. *Adaptive Behavior*, 11(4), 209–243.
- Bell, C. C. (1981). An efference copy which is modified by reafferent input. *Science*, 214(4519), 450–453.
- Bermejo, F., y Arias, C. (2015). Sensory substitution: an approach to the experimental study of perception/sustitución sensorial: un abordaje para el estudio experimental de la percepción. *Estudios de Psicología*, 36(2), 240–265.
- Bermejo, F., Di Paolo, E. A., Hüg, M. X., y Arias, C. (2015). Sensorimotor strategies for recognizing geometrical shapes: a comparative study with different sensory substitution devices. *Frontiers in psychology*, 6, 679.
- Bongard, J., Zykov, V., y Lipson, H. (2006). Resilient machines through continuous self-modeling. *Science*, 314(5802), 1118–1121.
- Bovet, S., y Pfeifer, R. (2005). Emergence of coherent behaviors from homogenous sensorimotor coupling. En *Icar'05. proceedings., 12th international conference on advanced robotics, 2005.* (pp. 324–330).
- Brayda, L., y Campus, C. (2012). Conveying perceptible virtual tactile maps with a minimalist sensory substitution device. En *2012 ieee international workshop on haptic audio visual environments and games (have 2012) proceedings* (pp. 7–12).
- Briscoe, R., y Grush, R. (2017). Action-based theories of perception. En E. N. Zalta (Ed.), *The stanford encyclopedia of philosophy* (Spring 2017 ed.). Metaphysics Re-

- search Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/action-perception/>.
- Brooks, R. A. (1991). Intelligence without representation. *Artificial intelligence*, 47(1-3), 139–159.
- Buhrmann, T., Di Paolo, E. A., y Barandiaran, X. (2013). A dynamical systems account of sensorimotor contingencies. *Frontiers in psychology*, 4, 285.
- Creem-Regehr, S. H., y Kunz, B. R. (2010). Perception and action. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(6), 800–810.
- Díaz, A., Barrientos, A., Jacobs, D. M., y Travieso, D. (2012). Action-contingent vibrotactile flow facilitates the detection of ground level obstacles with a partly virtual sensory substitution device. *Human movement science*, 31(6), 1571–1584.
- Donnarumma, F., Costantini, M., Ambrosini, E., Friston, K., y Pezzulo, G. (2017). Action perception as hypothesis testing. *Cortex*, 89, 45–60.
- Engel, A. K., Friston, K. J., y Kragic, D. (2016). *The pragmatic turn: Toward action-oriented views in cognitive science* (Vol. 18). MIT Press.
- Engel, A. K., Maye, A., Kurthen, M., y König, P. (2013). Where's the action? the pragmatic turn in cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, 17(5), 202–209.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. MIT press.
- Froese, T., McGann, M., Bigge, W., Spiers, A., y Seth, A. K. (2012). The enactive torch: a new tool for the science of perception. *IEEE Transactions on Haptics*, 5(4), 365–375.

- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., y Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, *119*(2), 593–609.
- Gallese, V., y Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in cognitive sciences*, *2*(12), 493–501.
- Gentsch, A., Weber, A., Synofzik, M., Vosgerau, G., y Schütz-Bosbach, S. (2016). Towards a common framework of grounded action cognition: Relating motor control, perception and cognition. *Cognition*, *146*, 81–89.
- Gibson, E. J. (1969). Principles of perceptual learning and development.
- Gibson, J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. boston, ma, us. Houghton, Mifflin and Company.
- Grezes, J., y Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human brain mapping*, *12*(1), 1–19.
- Guarniero, G. (1974). Experience of tactile vision. *Perception*, *3*(1), 101–104.
- Hatzfeld, C., y Werthschützky, R. (2012). Just noticeable differences of low-intensity vibrotactile forces at the fingertip. En *International conference on human haptic sensing and touch enabled computer applications* (pp. 43–48).
- Held, R., y Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of comparative and physiological psychology*, *56*(5), 872.

- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., y Prinz, W. (2001). The theory of event coding (tec): A framework for perception and action planning. *Behavioral and brain sciences*, 24(5), 849–878.
- Hurley, S. (2001). Perception and action: Alternative views. *Synthese*, 129(1), 3–40.
- Ibáñez-Gijón, J., Díaz, A., Lobo, L., y Jacobs, D. M. (2013). On the ecological approach to information and control for roboticists. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10(6), 265.
- Kilner, J. M., Friston, K. J., y Frith, C. D. (2007). Predictive coding: an account of the mirror neuron system. *Cognitive processing*, 8(3), 159–166.
- Kilner, J. M., y Lemon, R. N. (2013). What we know currently about mirror neurons. *Current biology*, 23(23), R1057–R1062.
- König, S. U., Schumann, F., Keyser, J., Goeke, C., Krause, C., Wache, S., ... others (2016). Learning new sensorimotor contingencies: Effects of long-term use of sensory augmentation on the brain and conscious perception. *PloS one*, 11(12), e0166647.
- Kupers, R., y Ptito, M. (2014). Compensatory plasticity and cross-modal reorganization following early visual deprivation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 41, 36–52.
- Lenay, C., Canu, S., y Villon, P. (1997). Technology and perception: The contribution of sensory substitution systems. En *Proceedings second international conference on cognitive technology humanizing the information age* (pp. 44–53).
- Lenay, C., Gapenne, O., Hanneton, S., Marque, C., y Genouëlle, C. (2003). Sensory substitution: Limits and perspectives. *Touching for knowing*, 275–292.

- Lobo, L. (2017). *An ecological approach to sensory substitution* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Autónoma de Madrid.
- Maidenbaum, S., Abboud, S., y Amedi, A. (2014). Sensory substitution: closing the gap between basic research and widespread practical visual rehabilitation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *41*, 3–15.
- Marcel, A. (2003). The sense of agency: Awareness and ownership of action. *Agency and self-awareness*, 48–93.
- Maye, A., y Engel, A. K. (2012). Using sensorimotor contingencies for prediction and action planning. En T. Ziemke, C. Balkenius, y J. Hallam (Eds.), *From animals to animats 12* (pp. 106–116). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Melder, S. M. N., y Wann, A. B. W. H. J. (2004). Psychophysical size discrimination using multi-fingered haptic interfaces. *Perception*, 274–281.
- Miall, R. C., y Wolpert, D. M. (1996). Forward models for physiological motor control. *Neural networks*, *9*(8), 1265–1279.
- Michaels, C. F., y Carello, C. (1981). *Direct perception*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Miller, L. E., Montroni, L., Koun, E., Salemme, R., Hayward, V., y Farnè, A. (2018). Sensing with tools extends somatosensory processing beyond the body. *Nature*, *561*(7722), 239.
- Mossio, M., y Taraborelli, D. (2008). Action-dependent perceptual invariants: From ecological to sensorimotor approaches. *Consciousness and cognition*, *17*(4), 1324–1340.

- Nau, A. C., Murphy, M. C., y Chan, K. C. (2015). Use of sensory substitution devices as a model system for investigating cross-modal neuroplasticity in humans. *Neural regeneration research*, *10*(11), 1717.
- Noë. (2004). *Action in perception*. MIT press.
- O'Regan, J. K., y Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and brain sciences*, *24*(5), 939–973.
- Paz, R., Boraud, T., Natan, C., Bergman, H., y Vaadia, E. (2003). Preparatory activity in motor cortex reflects learning of local visuomotor skills. *Nature neuroscience*, *6*(8), 882.
- Philipona, D., O'regan, J., Nadal, J.-P., y Coenen, O. (2004). Perception of the structure of the physical world using unknown multimodal sensors and effectors. En *Advances in neural information processing systems* (pp. 945–952).
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., y R Core Team. (2018). nlme: Linear and nonlinear mixed effects models [Manual de software informático]. Descargado de <https://CRAN.R-project.org/package=nlme> (R package version 3.1-137)
- Prins, N., y cols. (2016). *Psychophysics: a practical introduction*. Academic Press.
- Prinz, J. (2006). Putting the brakes on enactive perception. *Psyche*, *12*(1), 1–19.
- Prinz, W. (1990). A common coding approach to perception and action. En *Relationships between perception and action* (pp. 167–201). Springer.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European journal of cognitive psychology*, *9*(2), 129–154.

- Prokopenko, M., Boschetti, F., y Ryan, A. J. (2009). An information-theoretic primer on complexity, self-organization, and emergence. *Complexity*, 15(1), 11–28.
- Purves, D., Morgenstern, Y., y Wojtach, W. T. (2015). Perception and reality: why a wholly empirical paradigm is needed to understand vision. *Frontiers in systems neuroscience*, 9, 156.
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing [Manual de software informático]. Vienna, Austria. Descargado de <https://www.R-project.org/>
- Renier, L., y De Volder, A. G. (2010). Vision substitution and depth perception: early blind subjects experience visual perspective through their ears. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 5(3), 175–183.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., y Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131–141.
- Roy, J. E., y Cullen, K. E. (2003). Brain stem pursuit pathways: dissociating visual, vestibular, and proprioceptive inputs during combined eye-head gaze tracking. *Journal of neurophysiology*, 90(1), 271–290.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M., y Kitagawa, G. (1986). Akaike information criterion statistics. *Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel*, 81.
- Schorr, S. B., Quek, Z. F., Romano, R. Y., Nisky, I., Provancher, W. R., y Okamura, A. M. (2013). Sensory substitution via cutaneous skin stretch feedback. En *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2341–2346).

- Schütz-Bosbach, S., y Prinz, W. (2007). Perceptual resonance: action-induced modulation of perception. *Trends in cognitive sciences*, 11(8), 349–355.
- Seth, A. K. (2014). *The cybernetic bayesian brain*. Open MIND. Frankfurt am Main: MIND Group.
- Siegle, J. H., y Warren, W. H. (2010). Distal attribution and distance perception in sensory substitution. *Perception*, 39(2), 208–223.
- Spence, C. (2014). The skin as a medium for sensory substitution. *Multisensory research*, 27(5-6), 293–312.
- Striem-Amit, E., Cohen, L., Dehaene, S., y Amedi, A. (2012). Reading with sounds: sensory substitution selectively activates the visual word form area in the blind. *Neuron*, 76(3), 640–652.
- Suzuki, M., Floreano, D., y Di Paolo, E. A. (2005). The contribution of active body movement to visual development in evolutionary robots. *Neural Networks*, 18(5-6), 656–665.
- Suzuki, M., Gritti, T., y Floreano, D. (2009). Active vision for goal-oriented humanoid robot walking. En *Creating brain-like intelligence* (pp. 303–313). Springer.
- Turvey, M., y Carello, C. (1986). The ecological approach to perceiving-acting: A pictorial essay. *Acta Psychologica*, 63(1-3), 133–155.
- Ungureanu, C., y Rotaru, I. (2014). Philosophy of skillful coping. motor intentionality vs. representations for action. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 163, 220–229.
- van Beek, F. E., Tiest, W. M. B., y Kappers, A. M. (2014). Haptic discrimination of distance. *PloS one*, 9(8), e104769.

- Venables, W. N., y Ripley, B. D. (2002). *Modern applied statistics with s* (Fourth ed.). New York: Springer. Descargado de <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4> (ISBN 0-387-95457-0)
- Voss, A., Nagler, M., y Lerche, V. (2013). Diffusion models in experimental psychology. *Experimental psychology*.
- Walk, R. D., Shepherd, J. D., y Miller, D. R. (1988). Attention and the depth perception of kittens. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 26(3), 248–251.
- Wall, S. A., y Brewster, S. (2006). Sensory substitution using tactile pin arrays: Human factors, technology and applications. *Signal Processing*, 86(12), 3674–3695.
- Wilson, G., y Shpall, S. (2016). Action. En E. N. Zalta (Ed.), *The stanford encyclopedia of philosophy* (Winter 2016 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/action/>.
- Wolpert, D. M. (2007). Probabilistic models in human sensorimotor control. *Human movement science*, 26(4), 511–524.
- Ziemke, T. (2003). On the role of robot simulations in embodied cognitive science. *AISB journal*, 1(4), 389–399.

# Apéndice

## Anexo

A.1. Curvas psicométricas

A.2. Histogramas

A.3. Gráfico de los residuales: ANOVA mixto

A.4. Suposiciones a cumplir en el modelo lineal

A.5. Gráfico de interacción

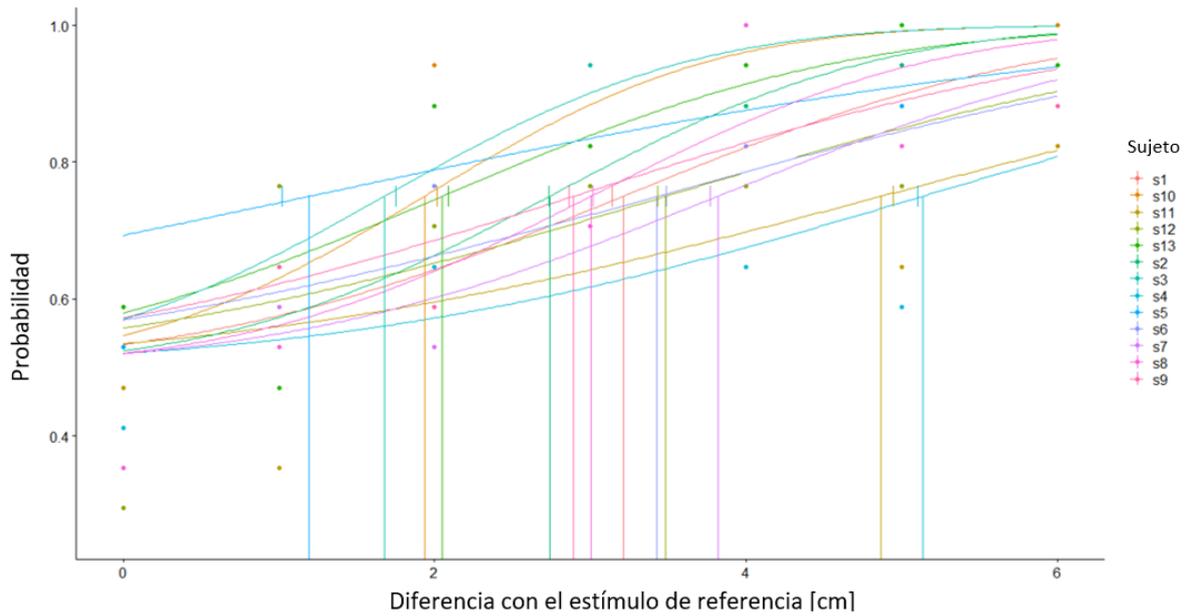


Figura 1: Curva individual de cada participante fijada con la librería Quickpsy

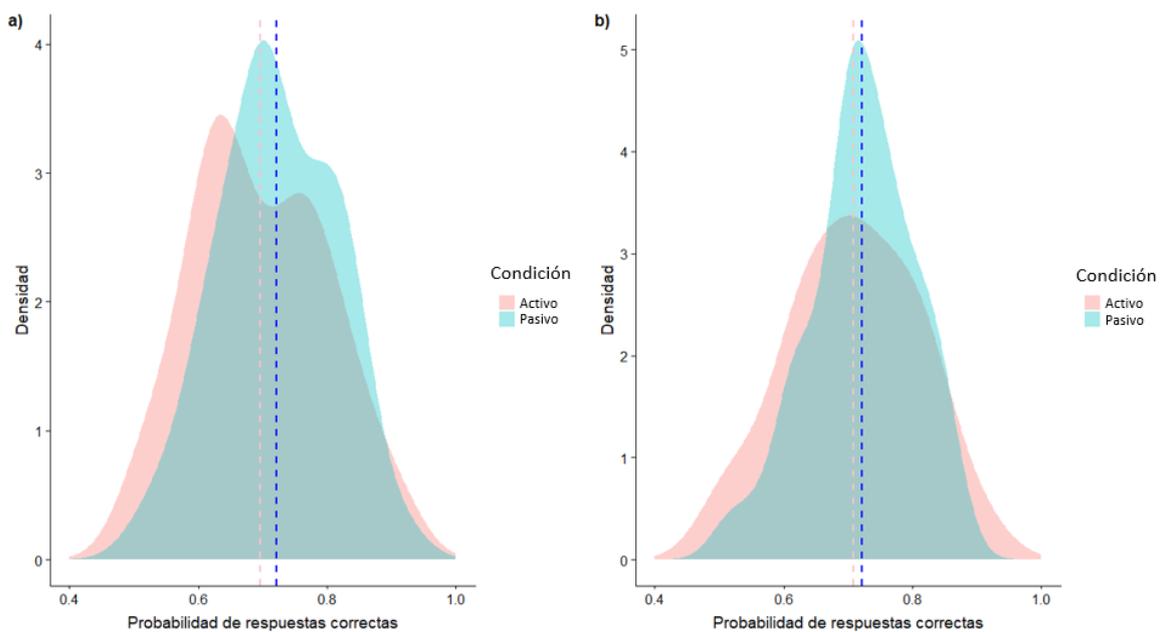


Figura 2: a) Histograma de los participantes que realizaron cambio en la condición. Nótese las tendencias bimodales. Histograma del primer bloque de todos los participantes. Nótese que en comparación con el anterior histograma, la media parece un valor confiable

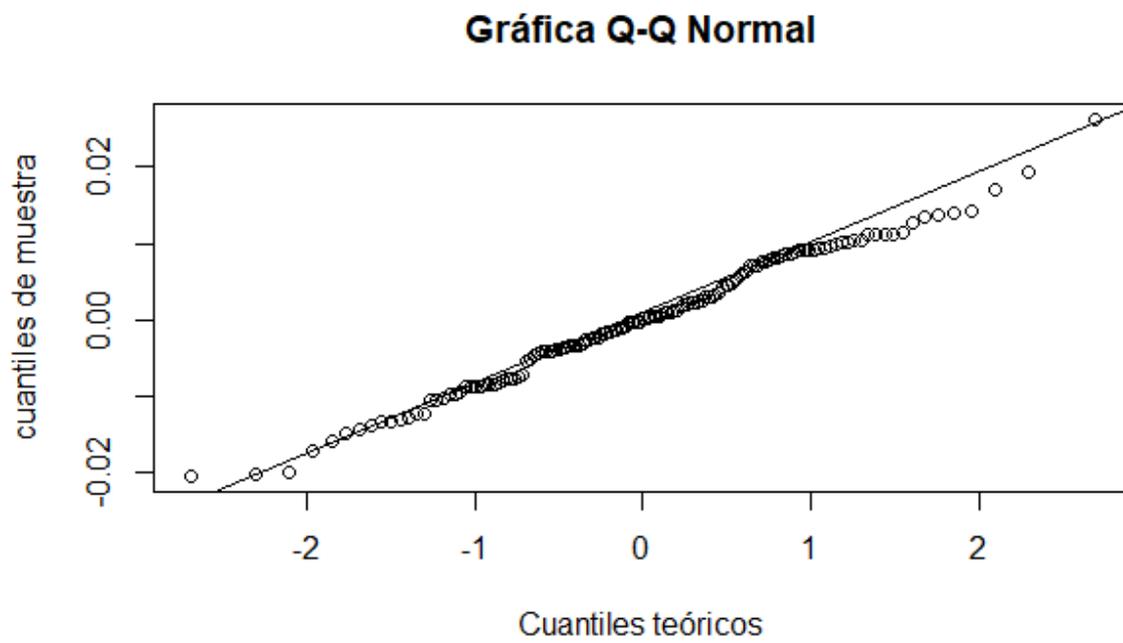


Figura 3: Residuales del modelo mixto

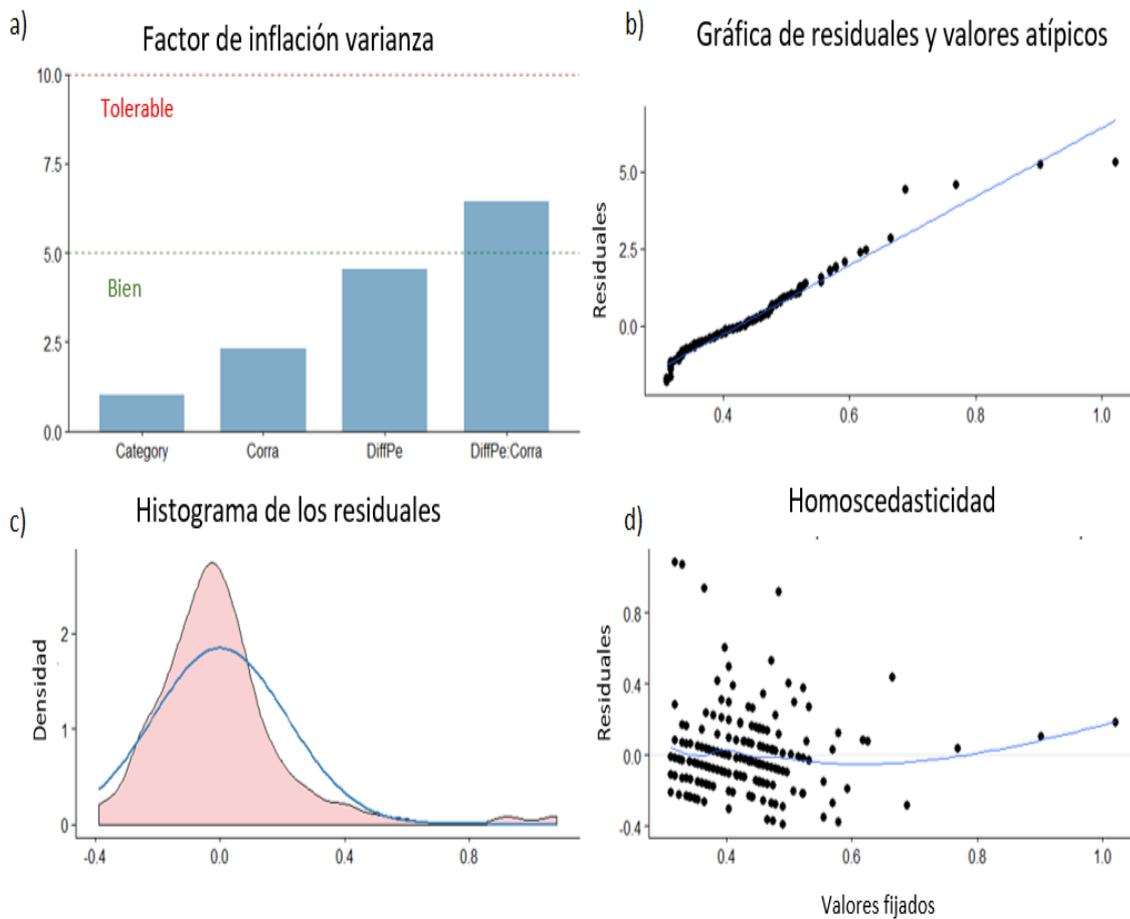


Figura 4: a) Representación de la multicolinealidad entre factores. Nótese que ninguno es mayor a diez. b) En la gráfica se puede observar que existen muchos valores atípicos. c) En el histograma se puede observar que aunque la mayoría se distribuyen cerca del cero, los valores atípicos influyen bastante. d) Se puede observar que pasa lo mismo en homoscedasticidad en los residuales debido a los valores atípicos

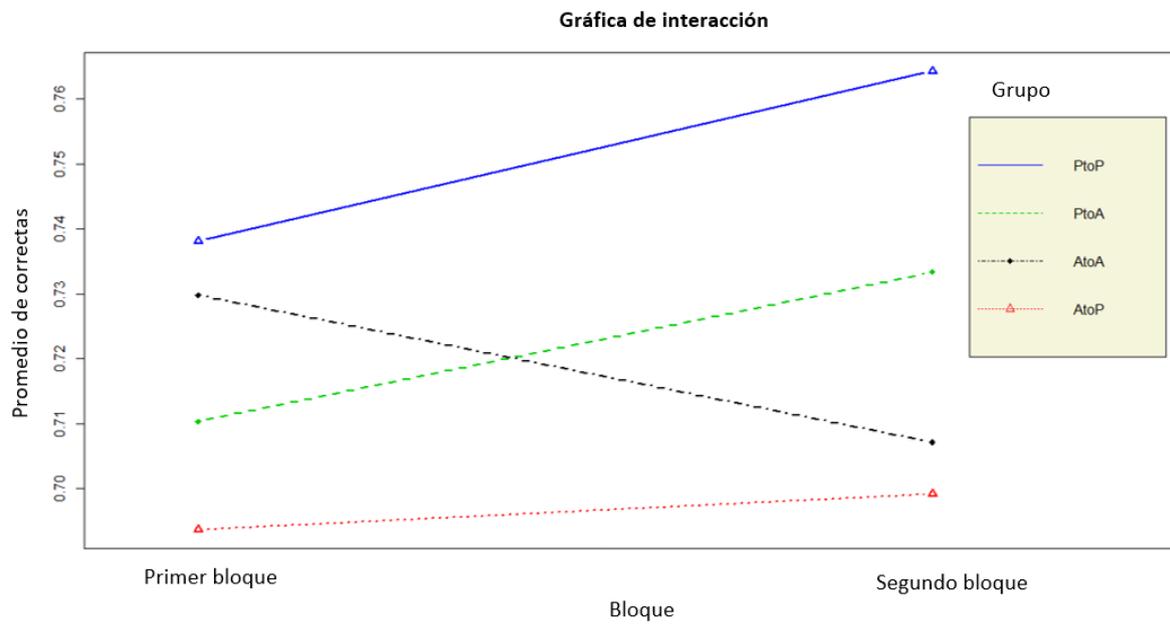


Figura 5: Gráfico de interacción del segundo análisis. Se puede observar una ligera interacción entre el grupo que inició activo que no cambió su condición y el grupo que inició como pasivo y cambió a condición activa