



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)

DETERMINACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE UN OBJETO MEDIANTE EL
SENTIDO DEL TACTO.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)

PRESENTA:
RAÚL HERNÁNDEZ PÉREZ

TUTOR PRINCIPAL:
DR. VÍCTOR HUGO DE LAFUENTE FLORES
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR:
DR. FERNANDO ALEJANDRO BARRIOS ÁLVAREZ
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM
DR. HUGO MERCHANT NANCY
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

MÉXICO, AGOSTO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Neurobiología

Los miembros del Comité Tutorial certificamos que la tesis elaborada por: Raúl Hernández Pérez, cuyo título es: “Determinación de la orientación de un objeto mediante el sentido del tacto” se presenta como uno de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Neurobiología) y cumple con los criterios de originalidad y calidad requeridos por la División de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Firma

Presidente

Dr. Roberto Agustín Prado Alcalá

Secretario (Tutor)

Dr. Víctor Hugo De Lafuente Flores

Vocal

Dr. Luis Lemus Sandoval

Suplente

Dr. Fernando Alejandro Barrios Álvarez

Suplente

Dr. Erick Humberto Pasaye Alcaráz

Aprobado por el Comité Académico

Coordinador del programa

Resumen

Los organismos emplean sistemas sensoriales para adquirir información sobre el medio, esta información debe procesarse para que dicho organismo pueda desplegar una conducta adecuada. Se han generado diferentes modelos para explicar el mecanismo que sigue un determinado sistema sensorial para realizar un juicio sobre las propiedades de un estímulo; sin embargo, estos modelos no se han evaluado en el sistema somatosensorial. Este trabajo contrasta las predicciones que hacen el modelo accumulation-to-bound y el modelo de muestreo independiente respecto al mecanismo que sigue el sistema somatosensorial cuando un participante explora con su mano un objeto rotado y emite un juicio sobre la dirección de su rotación. Los resultados sugieren que el sistema somatosensorial procesa información de acuerdo al modelo de muestreo independiente. A medida que se aumentaba la rotación del objeto, mejoraba el desempeño de los participantes y se reducía el tiempo de exploración necesario para emitir un juicio. Además, el trabajo demuestra que en una situación en la que el tiempo de presentación del estímulo viene determinado por el ambiente, el desempeño decae a medida que se restringe el tiempo de exploración. Estos resultados concuerdan con las predicciones hechas por el modelo de muestreo independiente. El trabajo demuestra que el mecanismo que sigue el sistema somatosensorial para adquirir información, procesarla y emitir un juicio respecto a una de las propiedades de un estímulo puede ser explicado mediante un mecanismo con reglas de operación sencillas.

Summary

The organisms employ sensorial systems to acquire data about the environment, this data has to be processed for an organism to be able to display an appropriate behavior. Different models have been developed to explain the mechanism that a sensorial system follows in order to emit judgments about the properties of a stimulus, nevertheless, these models haven't been evaluated in the somatosensorial system. This thesis contrasts the predictions made by the accumulation-to-bound model and the independent sampling model regarding the mechanism that the somatosensorial systems follows when a participant explores a rotated object and emits a judgment about the direction of the rotation. The results suggest that the somatosensorial system processes the data according to the independent sampling model. As the rotation of the object increases, there is an improvement on the performance of the participants and a decrease in the exploration time necessary to emit a judgment. Additionally the thesis proves that in a situation in which the presentation time of a stimulus is determined by the environment, the performance drops when the exploration time is restricted. These results agree with the predictions made by the independent sampling model. The thesis demonstrates that the mechanism that the somatosensory system follows to gather data, process it and emit a judgment about some property of a stimulus can be explained by means of a simple rule mechanism.

Agradecimientos:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Becario No. 409258

A la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM
Becario No. 303268831

A la Mtra. Leonor Casanova de la Unidad de Enseñanza por siempre mantenernos al tanto de todos los detalles importantes, su buena disposición y su amabilidad.

Al Dr. Erick Pasaye de la Unidad de Resonancia Magnética por su apoyo en aspectos técnicos y su siempre amable disposición a discutir mi proyecto.

Al M. en C. Carlos Lozano Flores por sus asesorías y atenciones al iniciar la maestría.

A la Ing. Sandra Hernández García de la unidad de cómputo por su apoyo en la unidad de videoconferencia.

Al personal de la biblioteca del INB, especialmente a la Lic. Teresa Soledad Medina Malagón por su eficiente trabajo.

A los miembros de mi comité tutor y de mi jurado:

Al Dr. Prado, por sus atinadas correcciones y buenos comentarios, realmente mejoró mi trabajo.

Al Dr. Pasaye, por ser un excelente sinodal, claramente con mucho futuro.

Al Dr. Lemus, siempre accesible y dispuesto a ayudar.

Al Dr. Merchant, duro e incisivo pero sobre todo brillante.

Al Dr. Barrios, amable, inteligente; sencillamente un excelente modelo de persona y tutor.

A Víctor que no solo me aceptó en su laboratorio sin apenas conocerme y en circunstancias complicadas. Porque cada cosa absurda que me pide termina siendo una genialidad, porque aunque me adelante 3 pasos, él siempre me lleva 4. Con ningún otro podría trabajar tan eficientemente, definitivamente somos un excelente equipo.

Resumen	ii
Summary.....	iii
Agradecimientos	iv
1. Introducción	1
1.1 El compromiso entre la rapidez y la precisión	1
1.2 El problema en el estudio del sistema somatosensorial.....	3
1.3 Las funciones psicométrica y cronométrica.....	4
2. Antecedentes	8
2.1 Modelo accumulation-to-bound.....	10
2.2 Modelo de muestreo independiente.....	12
3. Justificación	16
4. Hipótesis	18
5. Objetivos	19
6. Experimento 1.....	20
6.1 Introducción.....	20
6.2 Hipótesis particulares.....	20
6.3 Objetivos particulares.....	20
6.4 Método	21
6.4.1 Diseño	21
6.4.2 Participantes.....	22
6.4.3 Material.....	22
6.4.4 Procedimiento	23

6.5	Resultados	24
6.6	Discusión	27
7.	Experimento 2	29
7.1	Objetivos particulares	30
7.2	Hipótesis particulares	31
7.3	Método	31
7.3.1	Diseño	31
7.3.2	Participantes y materiales	32
7.3.3	Procedimiento	32
7.4	Resultados	33
7.5	Discusión	34
8.	Experimento 3	35
8.1	Objetivos particulares	35
8.2	Hipótesis particulares	36
8.3	Método	37
8.3.1	Diseño	37
8.3.2	Participantes y materiales	38
8.3.3	Procedimiento	38
8.4	Resultados	42
8.5	Discusión	46
9.	Conclusiones	49
10.	Referencias	51
11.	Lista de figuras y tablas	52

Anexo 1. Consentimiento informado.....	53
Anexo 2. Hoja de instrucciones.	55
Anexo 3. Consentimiento informado.....	56
Anexo 4. Hoja de instrucciones	58
Anexo 5. Consentimiento informado.....	59
Anexo 6. Hoja de instrucciones	61

1. Introducción

Para interactuar con el mundo, los organismos son capaces de desplegar una serie de conductas adecuadas para cada situación. Pueden aprender de sus experiencias y guiar su conducta hacia metas. La forma de obtener información del medio resulta muy importante debido a que con base a dicha información, se llevan a cabo procesos que requieren conocer el contexto dónde se realizarán, evaluar el efecto de la conducta o determinar cuándo desplegar un patrón conductual específico.

Es a través de los sistemas sensoriales que un organismo recaba información del medio, sin embargo, estos sistemas adquieren una vasta cantidad de información que no siempre es útil para el organismo y debe procesarse para poder tomar una decisión respecto a qué conducta desplegar.

1.1 El compromiso entre la rapidez y la precisión

Supongamos que nos encontramos en una situación en la que un experimentador nos pide que determinemos si una persona se encuentra hablando en inglés o en español. La voz de esta persona se encuentra grabada en una cinta que el experimentador nos reproduce por 60 s a un volumen muy bajo, por lo que apenas es posible escuchar unos ligeros murmullos. En esta situación, al escuchar la voz con tan poco volumen, apenas es posible discernir algunas palabras; por lo que resulta muy difícil determinar si la persona se encuentra hablando en inglés o en español. Si el experimentador nos pide que tomemos una decisión y le demos un veredicto, es muy probable que cometamos un error y categoricemos incorrectamente el idioma en que se encuentra hablando la voz. Ahora bien, supongamos que el experimentador nos presenta una segunda voz para que realicemos la misma evaluación; pero esta vez sube el volumen hasta que sea considerablemente más alto, nos permite escuchar la grabación nuevamente por 60 s y luego nos pide que tomemos una decisión respecto al idioma que la persona se encontraba hablando. Para nosotros sería mucho más

sencillo escuchar las frases que la persona emite y seríamos capaces de determinar con mayor precisión si la persona se encuentra hablando inglés o español.

En el ejemplo previo, al aumentar el volumen de la grabación, se aumentaba la magnitud del estímulo que se estaba presentando y con ello había un incremento en la precisión del juicio emitido. Este es el caso de los sistemas sensoriales, Kiani, Hanks & Shadlen (2008), sugieren que existe un mecanismo que procesa información respecto a un estímulo y que este mismo mecanismo utiliza una regla de terminación para emitir una decisión. De acuerdo con Palmer, Huk & Shadlen (2005), en una situación en la que un organismo debe obtener información de un estímulo y categorizarlo en base a una propiedad, a medida que aumenta la intensidad de éste, también aumenta la probabilidad de juzgarlo correctamente. Es decir, conforme aumenta la magnitud del estímulo a juzgar, se facilita para el organismo juzgar correctamente la naturaleza del estímulo.

Pensando de nuevo en el ejemplo presentado, al presentársenos la primera grabación en la que apenas podíamos escuchar la voz, probablemente nos tomaría casi toda la cinta juzgar la voz escuchada. Sin embargo, en el caso de la segunda grabación, es posible que nos tomara apenas algunos segundos decidir qué idioma se encuentra hablando la voz. Este fenómeno aparece también en los sistemas sensoriales (como la vista, el oído o el sistema somatosensorial). A medida que se aumente la magnitud del estímulo a juzgar, disminuye el tiempo necesario para que un organismo tome una decisión (Kiani, Hanks & Shadlen, 2006). Lo que significa que el aumentar la magnitud del estímulo permite al organismo realizar un juicio respecto a éste, más rápidamente.

Ahora bien, supongamos que esta vez el experimentador nos reproduce una tercera voz, a un volumen perfectamente audible; pero en esta ocasión, en vez de permitirnos escuchar la grabación por 60 s solamente la reproduce por 5 s, nos pide nuevamente tomar una decisión y determinar el idioma que la voz estaba hablando. En esta ocasión, la decisión sería mucho más complicada y probablemente cometeríamos un error, esto es lo que sucede en los sistemas sensoriales. De acuerdo con Palmer et al. (2005), el reducir el tiempo de presentación del estímulo reduce el desempeño de un

organismo al juzgar las propiedades de dicho estímulo. Es decir, si se disminuye el tiempo en el que el organismo está expuesto al estímulo, entonces el organismo tiende a cometer más errores al momento de evaluarlo. Es por ello que se puede decir que existe un intercambio entre precisión y el tiempo de presentación del estímulo. Esta relación viene determinada por la forma en que el sistema sensorial procesa la información proveniente del estímulo y es por ello que resulta fundamental la regla que sigue el sistema sensorial al tomar una decisión.

En el caso del ejemplo de las voces, el ruido ambiental o la calidad del audio pueden interferir al momento de juzgar la grabación. Si la voz es apenas perceptible, es posible que cometamos un error al categorizarla debido a que escuchemos palabras provenientes de una voz ajena a la de la grabación o simplemente imaginemos haber escuchado alguna frase. Esto ocurre siempre que los sistemas sensoriales obtienen información del medio y se le conoce como “ruido sensorial” o simplemente “ruido” y se considera que es el responsable del decremento en la probabilidad de juzgar correctamente un estímulo. Es decir, cuando un sistema sensorial obtiene poca información del estímulo, la interferencia proveniente del ruido provoca un mayor sesgo.

Finalmente, al disminuir el tiempo que el organismo tiene para tomar información del estímulo, sólo se encuentra disponible una escasa parte de la información del estímulo y la influencia del ruido lleva a cometer más errores.

1.2 El problema en el estudio del sistema somatosensorial

Tradicionalmente se ha estudiado la forma en que el sistema visual adquiere y procesa la información. El sistema visual es ampliamente utilizado para adquirir información, esta adquisición es activa, los ojos se mueven para escanear los objetos y generar una representación de éstos. Este enfoque permite entender cómo es que el sistema visual adquiere información para generar representaciones de objetos. Se han realizado muchos estudios que describen el funcionamiento del sistema visual, sin embargo, se han realizado pocas investigaciones respecto al sistema somatosensorial. La mayoría de los estudios se han enfocado en describir la forma en que dicho sistema

procesa información mediante un método de estimulación pasiva; estos estudios han aportado evidencia sobre la respuesta de los receptores cutáneos, las vías utilizadas para transmitir dicha información y las áreas dónde se integra. Cuando intentamos obtener información respecto a un objeto, tal y como ocurre en el sistema visual, se requiere de una adquisición activa de información, por lo que el objeto debe moverse a través de los receptores cutáneos para explorarlo y poder extraer suficiente información; este proceso de exploración activa es el proceso natural para adquirir información respecto a los objetos. A pesar de esto, pocos trabajos se han realizado con este enfoque, por lo que el objetivo de este proyecto es generar un nuevo procedimiento que permita estudiar los mecanismos que emplea el sistema somatosensorial para procesar información compleja, estudiar la interacción entre el tiempo de presentación del estímulo y la probabilidad de juzgarlo correctamente, así como las reglas que sigue el sistema somatosensorial para tomar una decisión.

1.3 Las funciones psicométrica y cronométrica

Retomando el ejemplo de las voces, supongamos que el experimentador nos pide que evaluemos muchas grabaciones a diferentes volúmenes, lo que se representa en la Figura 1. Lo que se puede ver en la figura es que a medida que se aumente el volumen de la grabación, también mejora nuestro desempeño, este es un ejemplo de una *función psicométrica*.

La función psicométrica se emplea para cuantificar el efecto de una variable sobre la conducta o la percepción de un organismo. A partir de esta función se pueden estimar diferentes parámetros, como la sensibilidad a una propiedad del estímulo. En una función psicométrica se grafica el desempeño del participante (como el número de aciertos, probabilidad de dar una determinada respuesta, etc.) en función de la variación en una propiedad del estímulo (Kingdom & Prins, 2009). La forma de una función psicométrica es muy similar entre diferentes experimentos, tiene dos parámetros que la definen: su pendiente y el valor de la intensidad del estímulo al cual el participante obtiene el 75% de sus respuestas correctas. A mayor pendiente, mayor sensibilidad a la intensidad del estímulo, es decir, cambios más pequeños en la

intensidad del estímulo se traducen en un mayor cambio en el desempeño del participante.

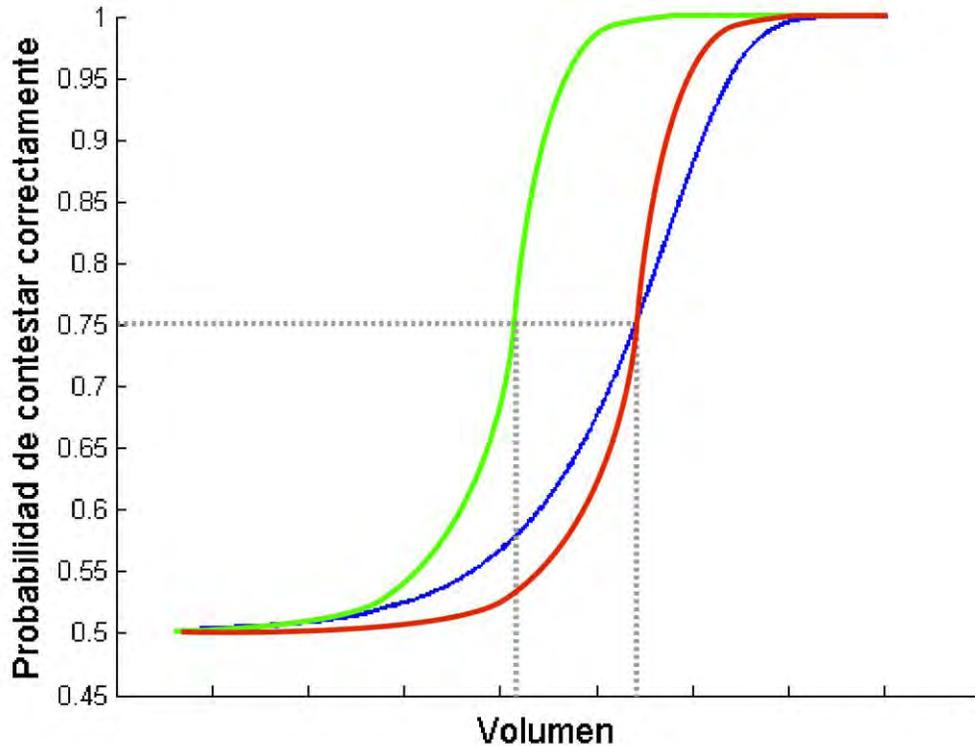


Figura 1. Ejemplo de función psicométrica. Muestra el desempeño de un participante en un experimento hipotético en el que deba determinar si una voz grabada se encuentra hablando español o inglés. En el eje de las ordenadas se muestra la probabilidad de contestar correctamente y en el eje de las abscisas el volumen al que se reproduce la grabación. La línea roja denota una pendiente de 1 mientras que la línea azul denota una pendiente de 0.5, ambos con el mismo umbral de desempeño al 75%. La línea verde tiene una pendiente de 1, pero el valor en el que el desempeño es de 75% se encuentra ligeramente desplazado con relación a la línea roja (se requiere de una intensidad de volumen menor para tener el mismo desempeño). Tomando como base la línea roja, la azul sería un ejemplo de un participante sobre el cual el volumen tiene un efecto más sutil y por tanto requiere de mayores cambios en el volumen para producir cambios en su desempeño. La línea verde, representaría un participante que, comparado con el de la línea roja, tiene un oído más agudo pero requiere los mismos cambios en el volumen para cambiar en la misma medida su desempeño. Las líneas grises denotan el desempeño al 75% y la intensidad del volumen asociada.

La función psicométrica nos permite describir la relación existente entre la intensidad del estímulo y el desempeño de un participante. Existen modelos que explican el proceso mediante el cual un sistema sensorial toma decisiones respecto a un estímulo, estos modelos son descritos mediante funciones que describen el comportamiento de la función psicométrica. En este trabajo se presentan dos modelos que pueden describir el proceso que sigue el sistema somatosensorial para tomar una decisión y se compararán las funciones psicométricas predichas por cada modelo con los resultados obtenidos a partir de una serie de experimentos. Con la intención de determinar cuál de estos modelos es el que puede describir con más éxito cómo procesa información el sistema somatosensorial.

Regresando al experimento hipotético, supongamos que el experimentador nos pone de nuevo una serie de grabaciones a diferentes volúmenes, pero en esta ocasión nos indica que le hagamos saber nuestra decisión tan pronto la tomemos. Lo que esperaríamos ver es que en un ensayo en el que el volumen es perfectamente audible, nos sería más fácil dar una respuesta respecto al idioma que se encuentra hablando la voz, por lo que estaríamos listos para dar una respuesta más pronto, en comparación a un ensayo en el que apenas somos capaces de escuchar la voz. Esta relación está descrita en una función que se conoce como función cronométrica (Figura 2). Esta función describe el tiempo de respuesta en función de la intensidad del estímulo.

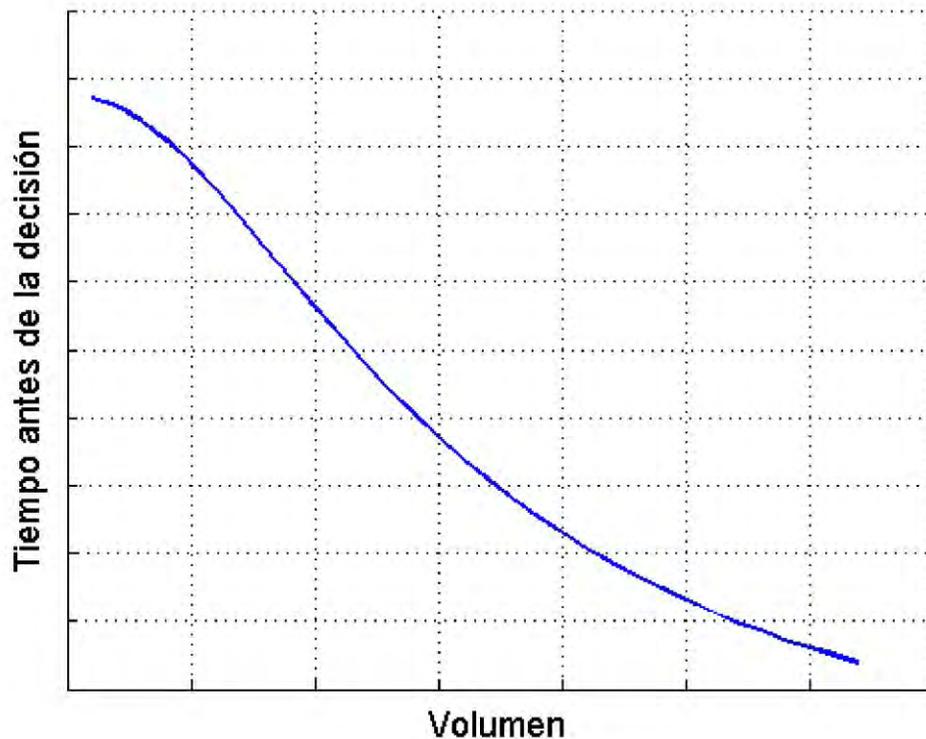


Figura 2. Ejemplo de función cronométrica. Se muestran las mediciones de un participante en un experimento hipotético en el que deba determinar si una voz grabada se encuentra hablando español o inglés. En el eje de las ordenadas se muestra el tiempo que el participante necesitó escuchar la grabación antes de estar listo para dar su respuesta y en el eje de las abscisas el volumen al que se reproduce la grabación. Se puede notar que a medida que se le presenta un volumen mayor, el participante requiere de menor tiempo antes de haber tomado su decisión.

Nuevamente, los modelos que predicen el proceso de decisión que siguen los sistemas sensoriales (de los cuales dos serán abordados un poco más adelante), proponen funciones que pueden ser comparadas con los resultados obtenidos a través de experimentación. El comparar los resultados obtenidos con los resultados esperados a partir de dichas funciones, nos permitirá discernir qué modelo explica mejor el mecanismo de decisión que sigue el sistema somatosensorial.

2. Antecedentes

En una situación, dónde un organismo debe emitir un juicio respecto a una propiedad de un estímulo, es decir si la propiedad se encuentra más cercana a “A” o a “B” (e.g. izquierda o derecha), el organismo debe adquirir evidencia a favor de una de las dos opciones; una vez que la información alcance el umbral para alguna de las dos opciones, entonces el organismo puede juzgar la propiedad del estímulo. Los modelos abordados en este trabajo siguen este proceso general, sin embargo, las reglas que proponen para procesar información son diferentes.

Kiani et al., (2008) realizaron un experimento en el que evaluaron dos modelos que intentaban explicar la forma en que el sistema visual procesa información para tomar una decisión sobre una característica de un estímulo. El experimento fue realizado en monos Rhesus a los cuales se les presentaba en una pantalla un grupo de puntos en movimiento, cierto porcentaje de puntos se movía hacia la izquierda o derecha. La tarea consistía en que los monos decidieran hacia dónde se estaba moviendo la mayoría de los puntos y emitir su respuesta por medio de una sacada dirigida a la dirección del movimiento. El porcentaje de puntos que seguían una dirección particular varió para generar diferentes tipos de ensayo, de tal forma que en los ensayos donde el mayor porcentaje de puntos tenía un movimiento neto en la misma dirección, este porcentaje era de 51.2%, mientras que en otros ensayos podían tener un porcentaje de 0%, esto es, todos los puntos tenían un movimiento aleatorio. Una variable más fue el tiempo (de 80 a 1500 ms) en la que se presentaba el estímulo descrito previamente. En este experimento se encontró que para cada porcentaje, a mayor tiempo de presentación de estímulo, era mayor la probabilidad de dar una respuesta correcta (Figura 3). Sin embargo, en los porcentajes bajos, esta probabilidad llegaba a una asíntota, de tal forma que a largas duraciones ya no aumentaba la probabilidad de dar una respuesta correcta.

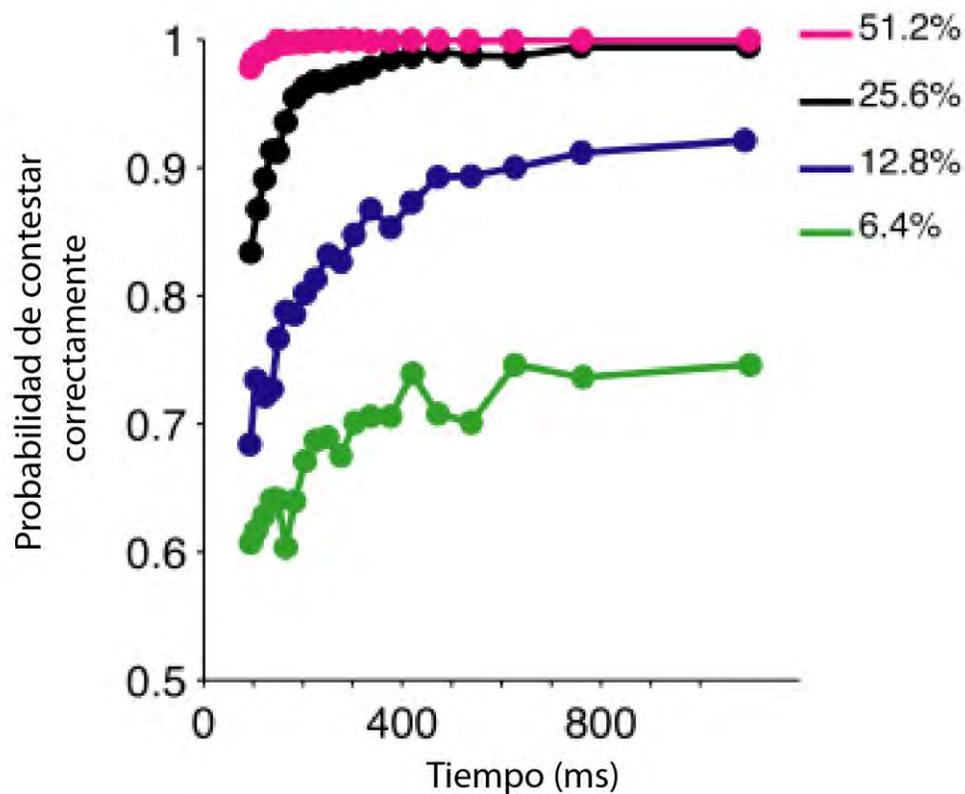


Figura 3. Desempeño a diferentes porcentajes de concordancia. En la figura se muestran los resultados obtenidos por el grupo de Kiani. El experimento se realizó con monos, consistió en que éstos debían determinar hacia dónde movían la mayoría de unos puntos que se les mostraba en pantalla. En el experimento se varió el porcentaje de puntos que se movían en coordinación hacia una de las dos direcciones (izquierda y derecha), el resto de los puntos se movía de manera aleatoria. En los ensayos se varió el tiempo que el mono podía observar los puntos. En el eje de las abscisas se muestra el tiempo promedio que duró una serie de estímulos. En el eje de las ordenadas se muestra la probabilidad de que el mono contestara correctamente dadas las diferentes variables del experimento. La línea rosa denota los ensayos en los que el 51.2% de los puntos se movían en concordancia, la línea negra el 25.6%, la azul el 12.8% y la verde 6.4%. Modificada de Kiani et al., 2008.

En el experimento lo que sugieren Kiani et al., (2008) es que el sistema ha llegado a un límite en la cantidad de información que se encuentra procesando para determinar la dirección correcta del movimiento y sugieren un modelo que pueden explicar sus datos. Este modelo es el de "accumulation-to-bound", que considera que la

información sensorial es acumulada a medida que pasa el tiempo hasta llegar a un nivel criterio, o límite (Mazurek, Roitman, Ditterich, & Shadlen, 2003). Lo que este modelo sugiere es que llegado a este límite, el sistema ha adquirido suficiente información, por lo que ha llegado a una decisión.

2.1 Modelo accumulation-to-bound

Retomando el ejemplo planteado inicialmente, supongamos que un experimentador nos pide que después de escuchar la grabación de una persona hablando, le indiquemos si la persona se encuentra hablando en inglés o español. Si aplicamos el modelo accumulation-to-bound a este ejemplo, cuando el investigador reprodujera la grabación, escucharíamos varias palabras que mencione la voz, cada palabra la clasificaríamos como a favor de español o en contra de español (puede aplicarse a inversa y ser a favor o en contra de inglés). A medida que vamos escuchando y clasificando las palabras, sumaríamos los puntos hacia español o en contra de español, hasta que llegáramos a determinado límite (digamos 3 puntos). Una vez que llegáramos al límite, entonces estaríamos listos para tomar una decisión y decir que la voz se encontraba hablando español o no.

A continuación, explicaré de una forma más abstracta la propuesta de este modelo, a partir de dos ecuaciones y un ejemplo de la aplicación de estas ecuaciones (una curva generada a partir de éstas puede verse en la Figura 9a la correspondiente a la función psicométrica y en la Figura 9b la correspondiente a la función cronométrica).

Lo que este modelo propone es que la información obtenida a partir de los sistemas sensoriales es guardada en un almacén temporal; esta información se suma a lo largo del tiempo, es decir, se acumula (Figura 4). De acuerdo con Ratcliff (1978), la información sensorial es muestreada continuamente hacia un estímulo A (E_A , en el ejemplo español) o un estímulo B (E_B en el ejemplo inglés). Esta información se acumula conforme pasa el tiempo junto con un ruido constante hasta llegar a un límite correspondiente a uno de los dos estímulos, ya sea el límite A (A, correspondiente al E_A) o un límite B (B, correspondiente al E_B). Uno de los supuestos de este modelo es

que ambos límites se encuentran igualmente cercanos al centro y que no existe un sesgo hacia alguno de los dos por lo que $B = -A$. La velocidad a la que se toman muestras del estímulo (en el ejemplo la velocidad a la que se escuchan las palabras) es la velocidad de deriva (μ). Debido a que tanto el valor de μ como del límite dependen de la intensidad del estímulo y el ruido, pero su conjugación da como resultado un porcentaje de respuestas correctas, es posible expresarlos normalizados (A' y μ').

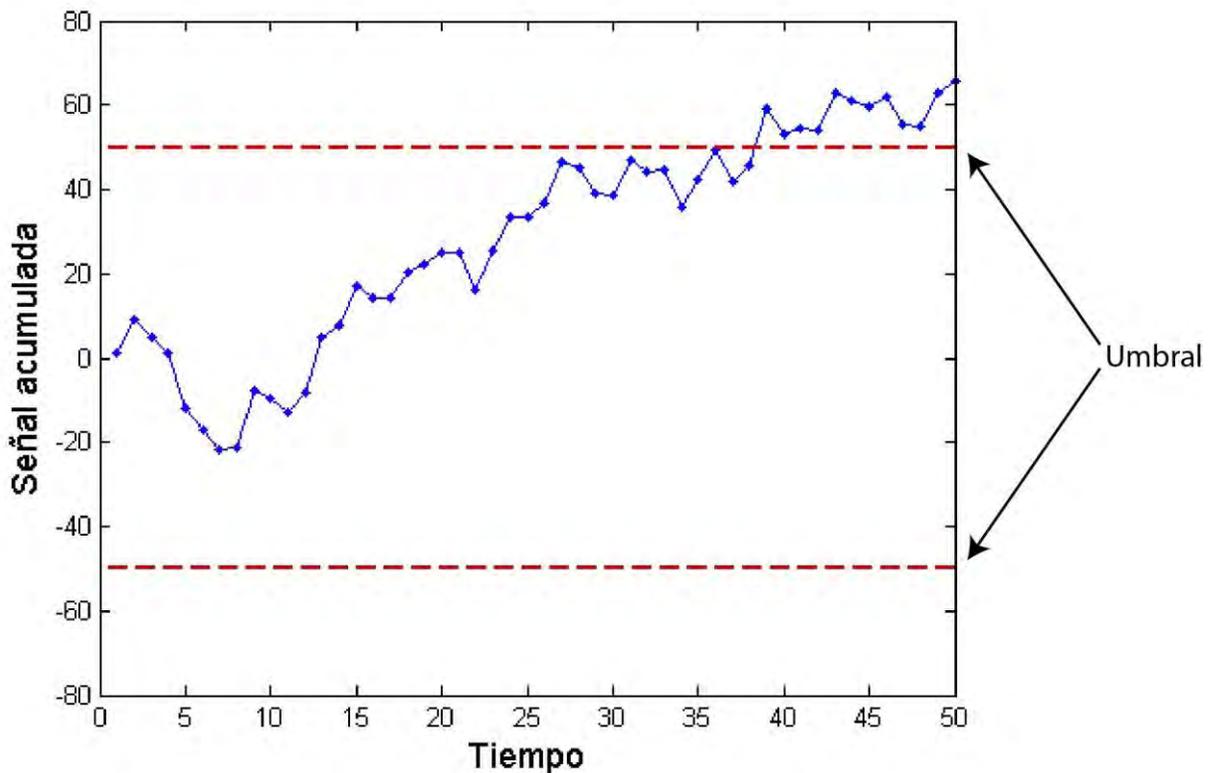


Figura 4. Modelo accumulation-to-bound. Muestra una representación de la adquisición de información realizada por el sistema sensorial. En el eje de las abscisas se muestra la señal acumulada, en el eje de las ordenadas el tiempo, ambas medidas en unidades arbitrarias. De acuerdo con este modelo, cada estímulo tiene asociado un umbral (líneas rojas punteadas), a lo largo del tiempo se acumula evidencia a favor de una de las dos opciones (línea azul), una vez que la evidencia rebasa uno de los dos umbrales se decide a favor del estímulo correspondiente al umbral.

Ratcliff (1978), asume que μ' es proporcional a la intensidad del estímulo (x), por lo que este parámetro se puede expresar en función de los dos (kx). Siendo k un coeficiente que funge como medida de sensibilidad al estímulo. En este modelo, la

función psicométrica es una función logística de la intensidad del estímulo que se expresaría de la siguiente forma:

$$Pc(x) = \frac{1}{1 + e^{-2A'k|x|}}$$

Ecuación 1, donde:

- $Pc(x)$ = proporción de respuestas correctas dada una intensidad del estímulo x .
- x = intensidad del estímulo.
- A' = valor del límite normalizado.
- k = sensibilidad al estímulo.

Además, es posible calcular la función cronométrica asociada considerando un parámetro adicional t_R que corresponde al tiempo residual, que es el tiempo necesario para dar la respuesta a partir de la decisión de ésta. La ecuación es la siguiente:

$$t_T(x) = \frac{A'}{kx} \tanh(A'kx) + t_R$$

Ecuación 2, donde:

- $t_T(x)$ = latencia de respuesta en función de la intensidad del estímulo.
- t_R = tiempo residual.
- x = intensidad del estímulo.
- A' = valor del límite normalizado.
- k = sensibilidad al estímulo.

2.2 Modelo de muestreo independiente

Si bien el modelo de accumulation-to-bound es un buen modelo explicativo, existen otros modelos que se han empleado para explicar los procesos a través de los

cuales los sistemas sensoriales procesan la información, como el propuesto por Maloney y Wandell (1984), quienes proponen el modelo de muestreo independiente.

Para poder explicar cómo funciona este modelo, podemos tomar el experimento ejemplo. Supongamos que cuando el experimentador nos reproduce el audio para determinar en qué idioma habla la voz, escuchamos las diferentes palabras; pero en esta ocasión, analizamos cada palabra independientemente, a medida que las escuchamos. Cuando una de ellas es suficientemente clara respecto al idioma que habla, damos nuestro veredicto al experimentador. En este caso estaríamos siguiendo una estrategia en la cual tomamos muestras a lo largo del experimento, pero estas muestras son independientes entre ellas, esto es justamente lo que propone el modelo.

Puesto formalmente, en el modelo de muestreo independiente (Figura 5), el sistema sensorial se encuentra tomando muestras continuamente de un canal sensorial, estas muestras son conocidas como eventos de muestreo, cada evento de muestreo tiene una cierta señal proveniente del estímulo y un determinado ruido.

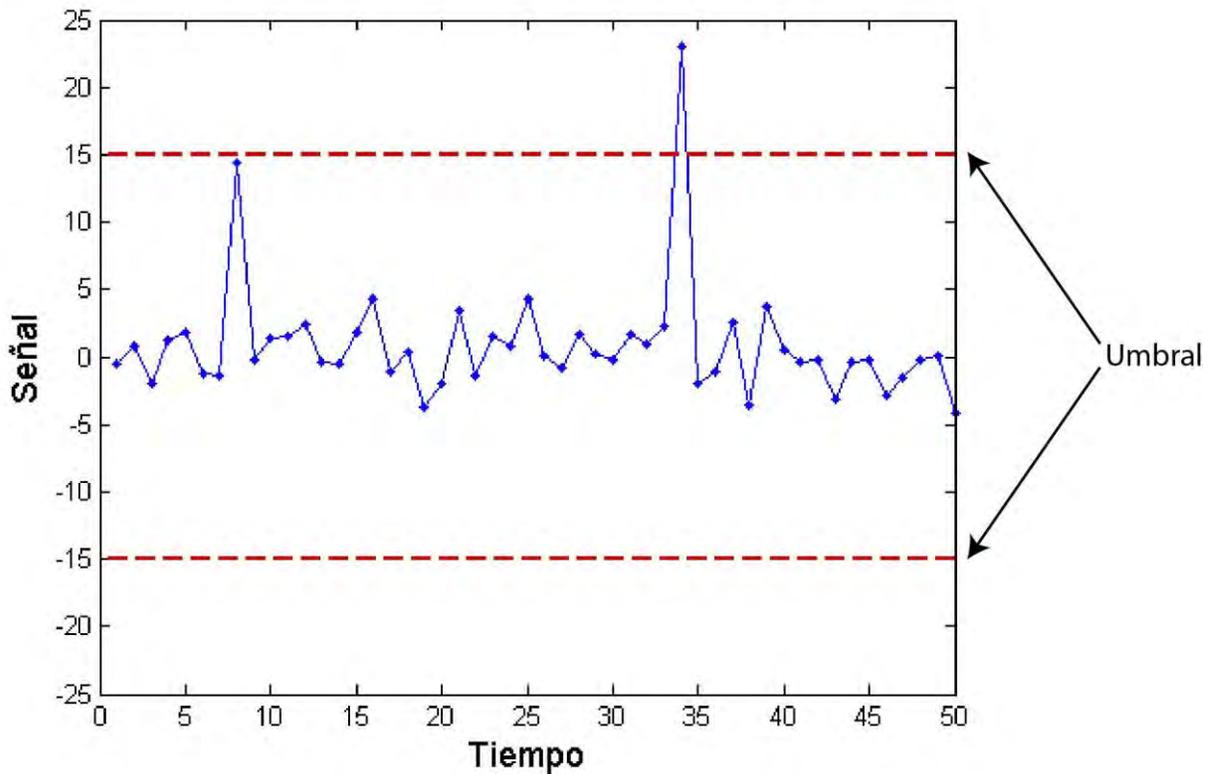


Figura 5. Modelo muestreo independiente. Muestra una representación de la adquisición de información realizada por el sistema sensorial. En el eje de las ordenadas se muestra la señal, en el eje de las abscisas el tiempo, ambas medidas en unidades arbitrarias. De acuerdo con el modelo, cada estímulo tiene asociado un umbral (líneas rojas punteadas) y a lo largo del tiempo el sistema sensorial toma muestras de información (línea azul). Si la muestra de información sobrepasa uno de los umbrales se toma una decisión a favor del estímulo asociado al umbral.

Los eventos de muestreo pueden convertirse en un evento de detección si en este evento la magnitud de la señal y el ruido sobrepasan un umbral de detección. La probabilidad de que en un evento de muestreo ocurra un evento de detección depende de la magnitud de la señal: entre más se aleje del cero, mayor probabilidad de que el evento de muestreo se convierta en un evento de detección.

En este modelo, el ruido asociado a la señal se distribuye normalmente alrededor de un valor central (cero); entre más tiempo se presente el estímulo, mayor es la probabilidad de que se presente el evento de detección. Además, a mayor intensidad del estímulo mayor probabilidad de que un evento de muestreo se convierta en un

evento de detección (Casson y Wandell, 1984; Wandell, Ahumada y Welsh, 1984). Se propone que este modelo tiene una distribución predicha por la ecuación:

$$P(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{k} \right)^\beta \right]$$

Ecuación 3, donde:

- $P(x)$ = proporción de respuestas correctas.
- x = intensidad del estímulo.
- β = parámetro de forma, modifica la forma de la distribución.
- k = constante que representa la intensidad del ruido.

Para un ejemplo de cómo se ve esta ecuación, se encuentra representada en una curva un poco más adelante en este trabajo, en la Figura 10.

3. Justificación

Una parte considerable de los trabajos encontrados hablan de la forma en que el sistema visual procesa la información, pero existe poca información en lo relacionado al sistema somatosensorial, por lo que este trabajo pretende explorar este campo para determinar la estrategia que dicho sistema utiliza para procesar la información.

Para poder comprender por completo el funcionamiento del sistema somatosensorial, es necesario comprender cómo procesa información, pero el mecanismo que emplea para tomar una decisión sigue siendo desconocido. Este es precisamente el punto que se pretende abordar en el presente trabajo, para lo cual se explorarán las predicciones de dos modelos que pueden explicar la regla de decisión que emplea este sistema sensorial para intentar determinar cuál es el más adecuado para explicar este proceso. Para controlar el mayor número de variables posibles pero al mismo tiempo explorar en completo el sistema somatosensorial, se empleará una tarea relativamente sencilla, una tarea de categorización, en la que el participante debe determinar hacia dónde se encuentra rotado un objeto empleando solamente el sistema somatosensorial.

Con la intención de describir la relación que existe entre la intensidad del estímulo y la capacidad de categorizarlo correctamente en el sistema somatosensorial, en el presente proyecto, se pretende generar una curva psicométrica de discriminación sobre la orientación de un objeto al explorarlo mediante el tacto.

El primer experimento tiene como objetivo generar una curva psicométrica donde se compare el ángulo de inclinación del objeto contra la decisión del participante (si el objeto se encuentra rotado en sentido horario o anti horario). Además será posible generar una curva cronométrica que evaluará el tiempo de reacción contra el valor del ángulo de inclinación del objeto con lo que se podrá determinar si la intensidad del ángulo tiene relación con el tiempo de exploración. El primer punto a probar en este trabajo es si efectivamente es posible aplicar los modelos de accumulation-to-bound y de muestreo independiente a una tarea como la propuesta en este experimento, por lo

que es necesario evaluar si se cumplen las predicciones principales que hacen estos modelos con respecto a la tarea. La primera predicción es que a medida que se aumente la amplitud del ángulo, debería aumentar la probabilidad de categorizarlo correctamente y disminuir el tiempo que los participantes exploran el objeto.

En el segundo experimento se emplearán los datos obtenidos del primero para generar diferentes intervalos de tiempo y ángulos de inclinación, en los cuales los participantes puedan explorar el objeto y emitir una decisión respecto al sentido de dicha inclinación. Ambos modelos explorados predicen que a medida que se disminuya el tiempo que los participantes tienen disponible para realizar la exploración, disminuirá el desempeño de éstos al categorizar la dirección a la que se encuentra rotada el objeto, sin embargo, los modelos predicen diferentes cambios en el desempeño; estas diferencias se abordarán a detalle en el segundo experimento.

4. Hipótesis

La probabilidad de que los participantes detecten correctamente la dirección de la inclinación del objeto aumenta a medida que se aumenta el ángulo de inclinación del objeto.

El tiempo que los participantes exploran el objeto decrece al aumentar el ángulo de inclinación del objeto.

Los participantes toman decisiones respecto a la categorización de la inclinación de un objeto de acuerdo al modelo de muestreo independiente.

5. Objetivos

Determinar la regla de decisión que sigue el sistema somatosensorial al categorizar la orientación de un objeto.

Evaluar la velocidad y la exactitud en la discriminación de la orientación de un determinado objeto mediante el sentido del tacto.

6. Experimento 1

6.1 Introducción

Los modelos accumulation-to-bound y de muestreo independiente se han empleado para explicar la regla de decisión que sigue el sistema visual. Sin embargo, no se han probado sus predicciones en una tarea de exploración con el sistema somatosensorial. Ambos modelos proponen que a ángulos más pronunciados, los participantes tendrán una mayor probabilidad de dar una respuesta correcta y que requerirán menos tiempo de exploración para dar dicha respuesta.

Por lo que en el presente experimento se probarán estas las predicciones para determinar si los modelos pueden ser aplicados a la exploración por medio del sistema somatosensorial.

6.2 Hipótesis particulares

Al aumentar el ángulo de inclinación del objeto, aumentará la probabilidad de que los participantes den una respuesta correcta.

Al aumentar el ángulo de inclinación del objeto, decrementará el tiempo que los participantes exploran el objeto.

6.3 Objetivos particulares

Una de las predicciones que hacen tanto el modelo de accumulation-to-bound como el modelo de muestro independiente es que a medida que se aumente la intensidad del estímulo (en este caso la amplitud del ángulo), será más probable que el participante conteste correctamente, por lo que un objetivo es generar una función psicométrica que describa este fenómeno.

Otra de las predicciones de los modelos es que a medida que se aumente la intensidad del estímulo, el sistema requerirá de menos tiempo para tomar una decisión,

por lo que el tercer objetivo es evaluar esta predicción y generar una función cronométrica, en la que se evalúe el efecto de la amplitud del ángulo sobre el tiempo que se tomarán los participantes para emitir una respuesta.

6.4 Método

6.4.1 Diseño

Durante la tarea el objeto rotaba hasta alcanzar el ángulo requerido (Figura 6, panel b). En seguida un sonido le indicaba al participante el inicio del ensayo (Figura 6, panel c). El participante debía llevar su mano hasta el objeto y comenzar a explorarlo (Figura 6, panel d). Una vez que el participante determinaba la dirección hacia la que se encontraba rotado el objeto, retiraba su mano y daba su respuesta con un mouse (Figura 6, panel e).

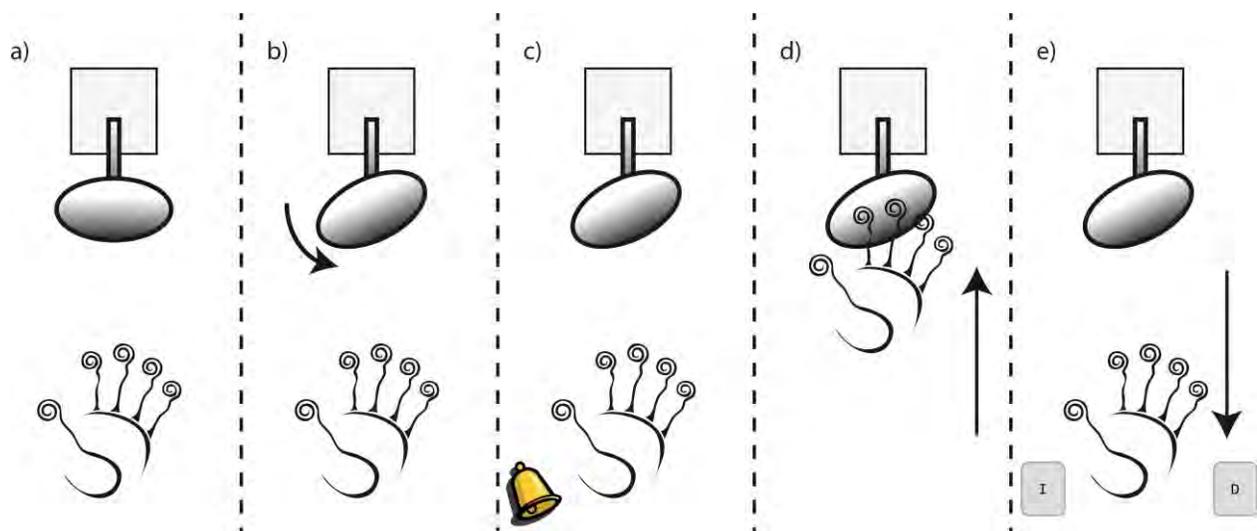


Figura 6. Desarrollo de la tarea, Experimento 1. Representa el curso de un ensayo del experimento. a) Inicio del ensayo, b) el objeto se coloca en uno de los ángulos, c) un sonido le indica al participante que puede empezar a explorar el objeto, d) el participante explora el objeto, e) el participante retira su mano y emite su respuesta.

Se utilizaron cinco ángulos (2, 4, 8, 16 y 32°) en una de las dos orientaciones posibles (en concordancia con el giro de las manecillas del reloj, o en sentido contrario), además de un ángulo sin orientación (0°).

La tarea se realizó en cuatro sesiones, cada sesión se encontraba dividida en cuatro bloques de aproximadamente 15 minutos cada uno, en cada bloque se presentaron nueve ensayos por cada ángulo (11 ángulos en total). Por lo que cada bloque constó de 99 ensayos, con un total por sesión de 396 ensayos por bloque y 1584 ensayos por participante.

6.4.2 Participantes

Participaron ocho sujetos sanos, con una media de edad de 24 años (rango entre 18 y 31 años). Aparentemente sanos, cuatro de los cuales fueron diestros y cuatro zurdos, que previamente leyeron y firmaron el consentimiento informado (Anexo 1).

6.4.3 Material

Hoja de consentimiento informado.

Hoja de instrucciones (Anexo 2)

Para determinar el tiempo que los participantes emplean en tocar el objeto, se utilizó el dispositivo de adquisición de datos USB-1208FS (Measurement Computing, USB-1208FS, Middleboro, MA, USA). El objeto que los participantes tocaron es metálico de forma elipsoide de 13cm de ancho, 5cm alto y 5cm de profundidad, este objeto se encontraba sujeto a un servomotor (Hitec, HS-815BB Mega Sail Servo, Poway, CA, USA) operado con una tarjeta de interfaz (Phidgets, USB 1061 – Phidget Advanced Servo 8-Motor, Alberta, Canadá). La respuesta se registró por medio de un mouse, la adquisición de información, generación de ensayos y el procesamiento de los datos fue realizado en un programa propio generado a partir del software comercial MATLAB R2011b (The MathWorks Inc., Natick, MA, 2011).

6.4.4 Procedimiento

6.4.4.1 Desarrollo de la tarea

La aplicación de la tarea fue de manera individual, el participante permaneció solo en un cuarto sentado frente a una mesa dónde se encontraba fijo un elipsoide metálico. Este elipsoide se giró en cada ensayo empleando un servo controlado por computadora para colocarse en uno de los ángulos. El orden de los ángulos se determinó al azar por el software empleado.

Los participantes emplearon una sola mano por cada bloque para la exploración del objeto, se utilizó el mismo número de veces cada mano, determinando el orden por bloque de manera aleatoria sin reemplazo. Es decir, antes de que los participantes iniciaran el experimento, se determinaba aleatoriamente sin reemplazo que mano iban a emplear en cada bloque, de tal forma que ocuparan cada mano en dos ocasiones por sesión.

Al inicio del experimento se le pidió a los participantes que leyeran la hoja de consentimiento informado y la firmaran, posteriormente se les leyó la hoja de instrucciones y se contestaron las preguntas que tuvieran de ser el caso.

Se fijó el brazo del participante a una zona de la mesa dónde se realizó la exploración, se le vendaban los ojos y se le colocaron tapones para los oídos para suprimir el ruido del aparato y audífonos con los cuales se le daban señales que se describirán a continuación. Adicionalmente se reprodujo un ruido blanco para bloquear el ruido exterior.

Cada ensayo se disponía de la siguiente forma: el elipsoide se giraba hasta el ángulo seleccionado (el programa lo seleccionaba al azar), se presentaba un tono que indicaba el comienzo del ensayo indicando al participante que debía comenzar la exploración del objeto, el participante disponía de hasta cuatro segundos para realizar la exploración del objeto, luego debía quitar su mano y presionar en un mouse el botón izquierdo (en contra de las manecillas del reloj) o derecho (a favor de las manecillas del

reloj) de acuerdo a su evaluación del ángulo del objeto. Al momento de emitir su respuesta, los participantes recibían una retroalimentación en forma de sonido que les indicaba si su respuesta había sido correcta o incorrecta. En el caso del ángulo 0° , el programa aleatoriamente presentaba el sonido de correcto o incorrecto.

Existían dos criterios para repetir el ensayo: 1) si el participante colocaba su mano en el objeto antes de la señal de inicio del ensayo y, 2) si el participante excedía el tiempo de exploración. Si el participante incurría en uno de estos dos criterios, se le indicaba por medio de un tono.

6.5 Resultados

Se generó una curva psicométrica en la que se calculó la probabilidad de contestar a favor de las manecillas del reloj por cada uno de los ángulos (Figura 7).

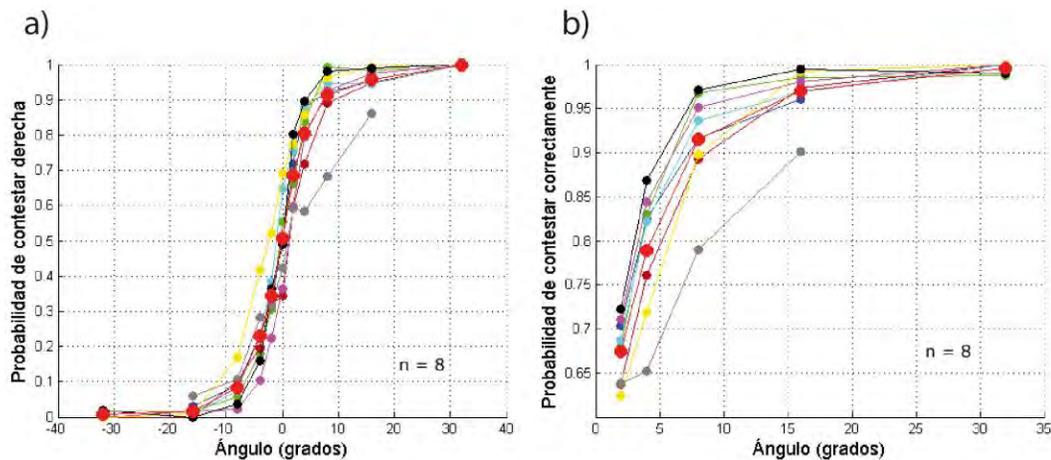


Figura 7. Curvas psicométricas. Se muestran los datos obtenidos a partir del Experimento 1 ($n = 8$). En ambos paneles en el eje de las abscisas se encuentra el ángulo. En el panel a) cada punto representa la probabilidad de contestar derecha en 144 ensayos para cada participante, cada color representa a un participante. En el panel b) se muestra la probabilidad de contestar correctamente para cada participante (un color diferente por cada participante), cada punto representa 288 ensayos. Las líneas rojas en ambos paneles representan el promedio de los 8 participantes.

Se calculó el tiempo de exploración promedio por cada amplitud del ángulo, sin considerar su orientación (Figura 8). Con el fin de evaluar si la amplitud del ángulo

provocaba que hubiera una diferencia en el tiempo de exploración, se realizó un ANOVA de una vía en el que se comparó la amplitud del ángulo contra el tiempo de exploración. Este análisis mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$), demostrando que efectivamente existe un efecto de la amplitud del ángulo sobre el tiempo de exploración. Al observar el tiempo de exploración promedio por cada ángulo, los datos sugieren que a medida que se aumenta el ángulo, disminuye el tiempo de exploración. Una prueba post-hoc de Tukey mostró que existían diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los tiempos de exploración para los todos los ángulos.

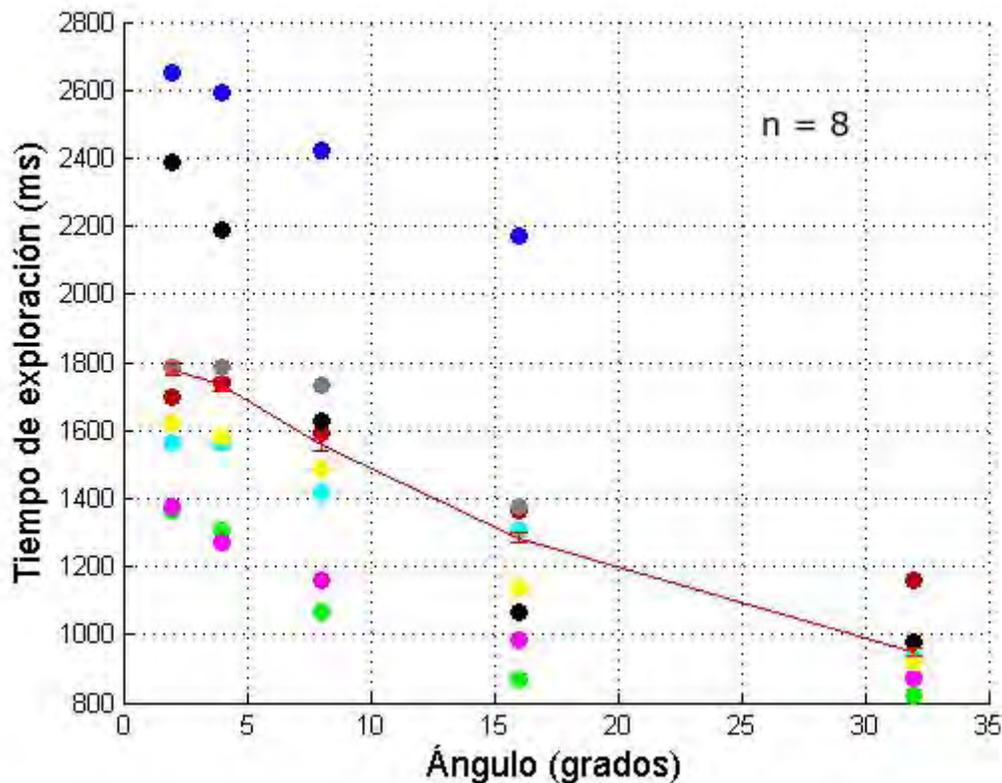


Figura 8. Curva cronométrica. Se muestran los datos obtenidos a partir del Experimento 1 ($n = 8$). En el eje de las abscisas se encuentra el ángulo, en el eje de las ordenadas el tiempo promedio de exploración en milisegundos. Cada punto representa el promedio del tiempo que los participantes pasaron explorando los objetos, cada color representa a un participante, cada participante realizó 288 ensayos por cada punto. La línea roja representa el promedio de los ocho participantes. Las barras verticales representan el error estándar.

Empleando la Ecuación 1 y 2, se optimizaron los valores de A' y k para obtener el mejor ajuste posible tanto a la curva psicométrica (Figura 9, panel a) como a la cronométrica (Figura 8, panel b) y calculando el error generado en cada ajuste usando el procedimiento de máxima verosimilitud. Una prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró que no existían diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) entre el ajuste y los datos, por lo que se puede asumir que pertenecen a la misma distribución.

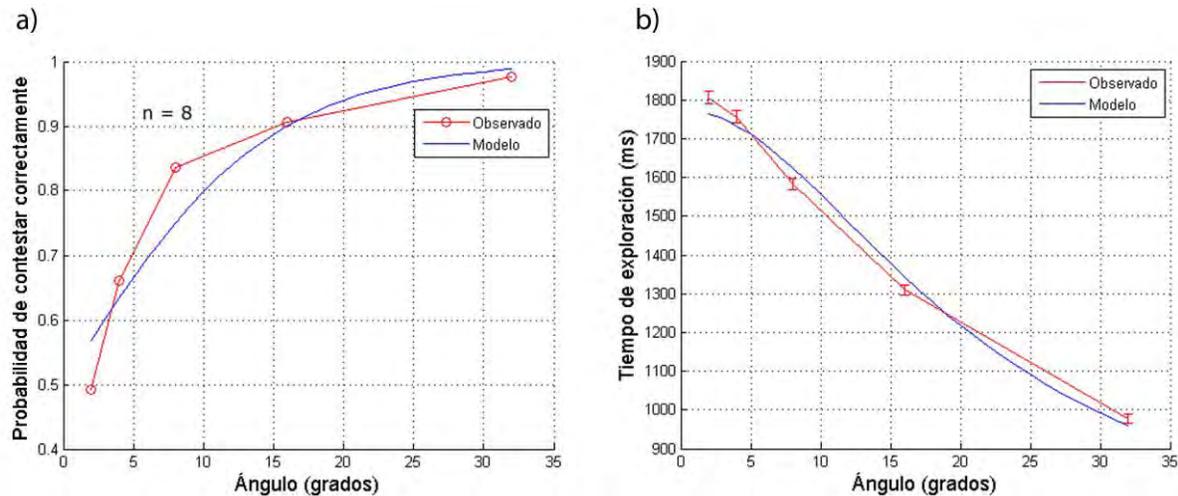


Figura 9. Ajuste del modelo de accumulation-to-bound. Se muestran los datos obtenidos en el Experimento 1 ($n = 8$). En el panel a) se observa la curva psicométrica predicha por el ajuste en azul y los datos obtenidos en rojo, cada punto representa la probabilidad de contestar correctamente de todos los participantes haciendo un total de 2340 ensayos para cada punto. En el panel b) se muestra la curva cronométrica predicha en azul y los datos en rojo, las barras verticales representan el error estandar.

Empleando la Ecuación 3 del modelo de muestreo independiente, se optimizaron los valores k y β para generar la curva con mejor ajuste a la curva psicométrica promedio (ver Figura 10) de acuerdo al método de derivación libre y calculando el error en cada ajuste empleando el procedimiento de máxima verosimilitud. Una prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró que no existían diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) entre el ajuste y la curva psicométrica, por lo que sus diferencias pueden atribuirse a errores de muestreo.

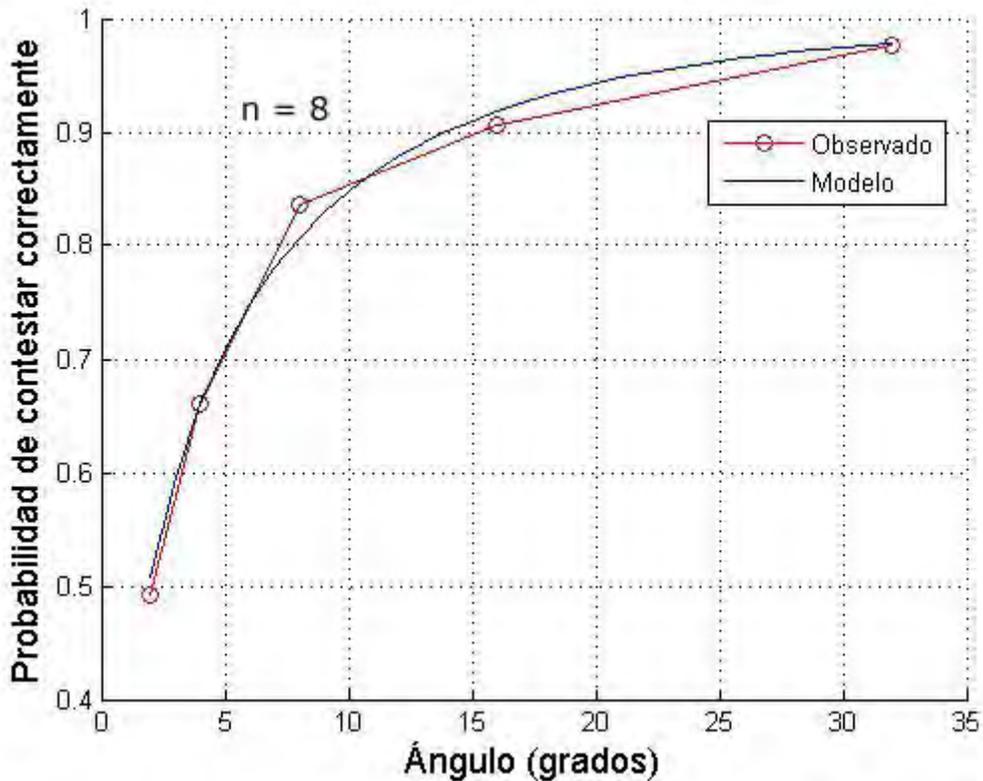


Figura 10. Ajuste del modelo de muestreo independiente. Se muestran los datos obtenidos en el Experimento 1 ($n = 8$). Se observa la curva psicométrica predicha por el ajuste en azul y los datos obtenidos en rojo, cada punto representa la probabilidad de contestar correctamente de todos los participantes haciendo un total de 2340 ensayos para cada punto.

6.6 Discusión

Los resultados demuestran que se cumplió el primer objetivo de este experimento debido a que fue posible generar una curva psicométrica con esta tarea. Adicionalmente el análisis apoyó la hipótesis planteada dado que a medida que aumenta la amplitud del ángulo disminuye el tiempo de exploración en estas condiciones debido a una disminución en la intensidad del estímulo y por tanto en la información obtenida por el sistema. El modelo accumulation-to-bound predice que al disminuir la atribución de información por parte del estímulo, la evidencia acumulada se debe en mayor medida al ruido. Por lo que al disminuir la amplitud del estímulo, disminuiría la probabilidad de contestar correctamente. De forma similar, el modelo de

muestreo independiente sugiere que a medida que el estímulo aporta menos información, aumenta la probabilidad de que en un evento de muestreo el ruido sea tan saliente que alcance el umbral y se convierta en un evento de detección. Por lo que el disminuir la amplitud del ángulo llevaría a una disminución en la probabilidad de contestar correctamente. En este sentido ambos modelos coinciden y el análisis de los datos encontrados en este experimento apoya a ambos modelos.

Los resultados abren la posibilidad a realizar experimentos posteriores para indagar los mecanismos que rigen el procesamiento de información por parte de este sistema, dado que es posible explicar la distribución de los datos por los modelos propuestos. Sin embargo, los datos obtenidos resultan insuficientes para discriminar entre ambos modelos. El análisis demostró que existe suficiente evidencia estadística para suponer que los datos obtenidos pertenecen a una distribución predicha por ambos modelos.

Si bien ambos modelos predicen un efecto de la amplitud del ángulo sobre la probabilidad de contestar correctamente (curvas psicométricas, Figura 9 panel a y Figura 10) y una disminución en el tiempo de reacción (curva cronométrica, Figura 8), las curvas predichas por las ecuaciones propuestas con los modelos son diferentes. Pero los datos obtenidos en este experimento pueden pertenecer a cualquiera de los dos modelos, por lo que es necesario realizar otro tipo de manipulación que permita generar nuevas distribuciones y obtener información sobre el modelo que mejor las predice.

7. Experimento 2

Retomando el experimento utilizado como ejemplo, lo que ambos modelos sugieren, es que a medida que se aumente el volumen al que el experimentador nos reproduce la grabación, aumenta la probabilidad de que evaluemos de manera correcta si la voz que escuchamos se encuentra en español o inglés. Además habría una disminución en el tiempo que necesitemos escuchar la grabación antes de poder dar una respuesta. Estas predicciones se cumplieron en el Experimento 1 empleando nuestra tarea; al igual que en ejemplo, a medida que se aumentó el ángulo, hubo un aumento en el desempeño de nuestros participantes. Es decir, aumentaba la probabilidad de que contestaran correctamente si el objeto se encontraba girado a la izquierda o a la derecha. De la misma forma, encontramos que un aumento en el grado de inclinación del objeto disminuía el tiempo que los participantes empleaban explorando el objeto.

Los resultados del Experimento 1 sugieren que la tarea que empleamos nos puede permitir evaluar las predicciones de los modelos de accumulation-to-bound y de muestreo independiente; sin embargo, con los datos obtenidos no es posible discriminar entre ambos modelos. Es posible que las diferencias entre las curvas predichas por ambos modelos sean tan sutiles que difícilmente puedan ser detectadas por un procedimiento como el empleado en el Experimento 1. Por lo que para poder discriminar entre ambos modelos se podrían emplear dos estrategias. La primera consiste en aumentar la muestra para reducir el efecto del error sobre los datos; pero si los resultados obtenidos por ese medio fueran los mismos que en el Experimento 1, no se aportaría evidencia adicional al problema. La segunda estrategia es probar si los modelos pueden ser diferenciados empleando otra de las predicciones que hacen.

Ambos modelos predicen que al disminuir el tiempo en el que se encuentra presente el estímulo, disminuirá la probabilidad que el participante de una respuesta correcta. Supongamos que en el experimento hipotético el experimentador nos reproduce diferentes grabaciones de voces con el mismo volumen, pero en esta ocasión nos presenta grabaciones con diferentes duraciones, presentándolos algunas

de solo 1 s y otras de hasta 60 s. Lo que esperaríamos encontrar es que si el experimentador sólo nos permite escuchar la grabación por unos pocos segundos, apenas nos sea posible escuchar unas pocas palabras; al escuchar pocas palabras, entonces tendríamos menos información para determinar si la voz se encuentra hablando en español o en inglés. Esto llevaría a que a medida que se disminuyera el tiempo que podemos escuchar las grabaciones, disminuyera la probabilidad de evaluar correctamente las voces que es lo que justamente predicen ambos modelos.

Si lo mismo ocurre en el sistema somatosensorial, entonces los modelos siguen siendo efectivos para explicar la regla de decisión que sigue este sistema. De acuerdo a con las predicciones de accumulation-to-bound (Ratcliff, 1978), y de muestreo independiente (Maloney & Wandell, 1984), la disminución en el desempeño del participante a medida que se reduce el tiempo de presentación del estímulo es diferente para los dos modelos. Por lo que es posible utilizar esta diferencia para determinar cuál de ellos es el que opera en el sistema somatosensorial. Por lo cual, en este experimento se plantea determinar si existe un efecto del tiempo de presentación del estímulo sobre la probabilidad de categorizar correctamente el estímulo.

7.1 Objetivos particulares

Si la regla de decisión que sigue el sistema somatosensorial es compatible con los modelos evaluados, entonces el desempeño del participantes se verá influenciado por el tiempo en el que se encuentre disponible el estímulo.

De acuerdo con ambos modelos, una disminución en el tiempo de presentación del estímulo debe llevar a una disminución en el desempeño de la tarea. Es por lo que el objetivo de este experimento es determinar si existe una disminución en el desempeño al disminuir el tiempo de presentación del estímulo.

7.2 Hipótesis particulares

De acuerdo a ambos modelos, el tiempo de exposición al estímulo tiene un efecto sobre el desempeño: a menor tiempo de exposición, mayor número de errores en la discriminación de la orientación del objeto.

7.3 Método

7.3.1 Diseño

Durante la tarea el objeto rotaba hasta alcanzar el ángulo requerido (Figura 11, panel b). En seguida un sonido le indicaba al participantes el inicio del ensayo (Figura 11, panel c), el participante debía llevar su mano hasta el objeto y comenzar a explorarlo (Figura 11, panel d). Se determinaron 10 intervalos de tiempo diferentes, cada intervalo se le conoce como *bin*. Una vez que el participante tocaba el objeto, pasaba un tiempo determinado de acuerdo con el bin (o intervalo de tiempo) correspondiente al ensayo (se explica detalladamente más adelante). Inmediatamente después de transcurrido este periodo, se emitía un sonido (Figura 11, panel e) que le indicaba al participante que debía retirar su mano y emitir su respuesta (Figura 11, panel f).

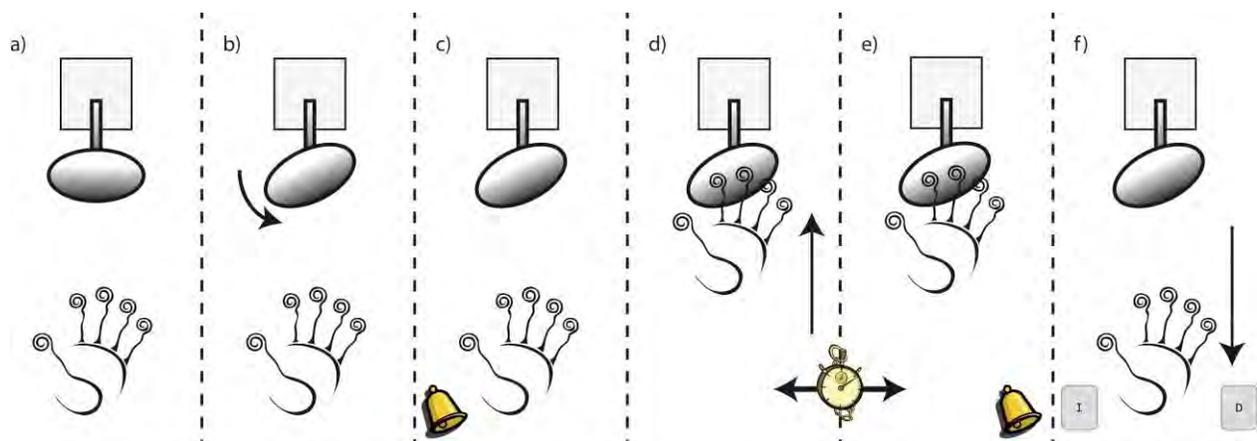


Figura 11. Desarrollo de la tarea, Experimento 2. En la figura se representa un ensayo del experimento. a) Inicio del ensayo, b) el objeto se coloca en uno de los ángulos, c) un sonido le indica al participante que puede empezar a explorar el objeto, d) el participante explora el objeto, pasa un tiempo determinado

por el bin correspondiente al ensayo. e) un sonido indica al participante el fin del ensayo, f) el participante retira su mano y emite su respuesta.

Los ángulos empleados fueron los mismos que para el Experimento 1 (0, 2, 4, 8, 16 y 32°). En este caso se varió el tiempo que el participante tenía disponible para explorar el objeto. Para calcular este tiempo, se calcularon 10 bins dividiendo una función exponencial trunca que partió de 0 hasta 2000 milisegundos en 10 segmentos. Se le presentaron al participante todos los ángulos con un intervalo de tiempo definido por cada uno de los bins en 12 ocasiones diferentes. Por lo que el participante realizó un total de 1320 ensayos.

7.3.2 Participantes y materiales

Los participantes y materiales empleados fueron los mismos que en el Experimento 1, con la diferencia de la hoja de instrucciones, la correspondiente a este experimento se adiciona en el Anexo 2.

7.3.3 Procedimiento

La aplicación se realizó en las mismas condiciones que en el Experimento 1 y se emplearon los mismos ángulos. Sin embargo, en este caso una vez que el participante colocaba su mano sobre el objeto pasaba un intervalo de tiempo dado a partir del bin seleccionado. Concluido éste se presentaba un sonido que indicaba al sujeto que debía retirar su mano y emitir su respuesta. Se le proporcionaba retroalimentación después de cada ensayo en la que se le indicaba si su respuesta había sido correcta o incorrecta. En el caso del ángulo 0°, el programa aleatoriamente presentaba el sonido de correcto o incorrecto.

Existían dos criterios para repetir el ensayo: 1) si el participante colocaba su mano en el objeto antes de la señal de inicio del ensayo y, 2) si el participante excedía

el tiempo de exploración permitido en 500 ms. Si el participante incurría en uno de estos dos criterios, se le indicaba por medio de un tono.

7.4 Resultados

Se calculó para cada intervalo de tiempo (10 intervalos en total), la probabilidad de emitir una respuesta correcta por cada ángulo sin tomar en cuenta la orientación (Figura 12). Un ANOVA de dos vías Angulo x Intervalo mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) para el factor ángulo. Pero no para el factor Intervalo ($p > 0.01$), lo que sugiere que el intervalo de tiempo no afecta el desempeño en esta tarea.

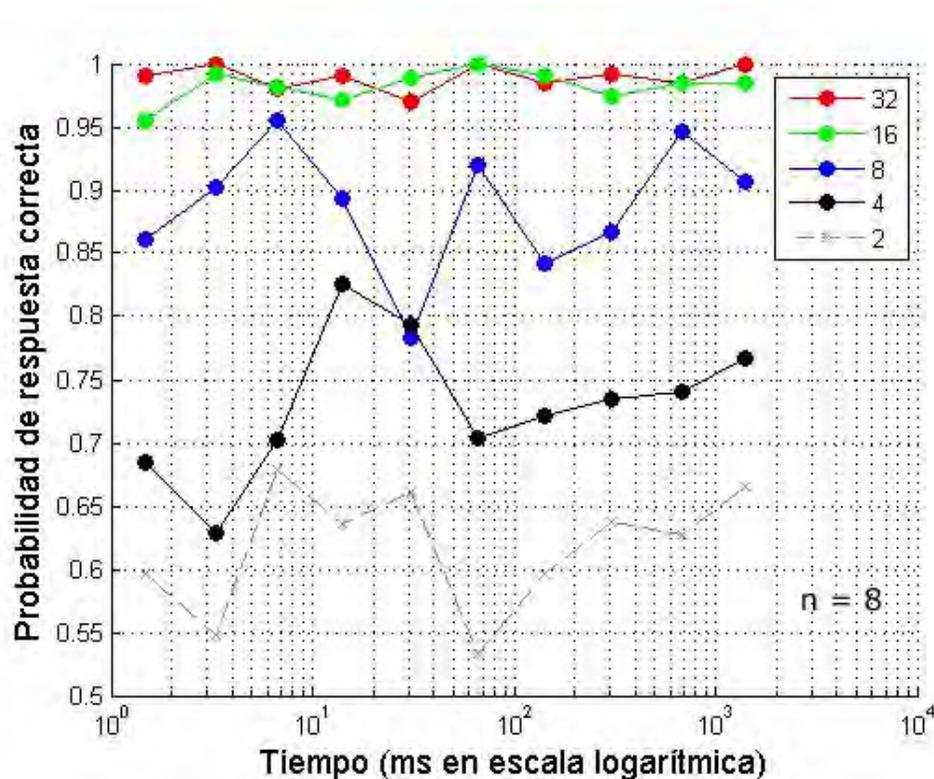


Figura 12. Desempeño por bin. A partir de los datos obtenidos en el Experimento 2 ($n = 8$), se calculó la probabilidad de contestar correctamente para cada intervalo de tiempo empleado (eje de las abscisas) por cada ángulo empleado (líneas de colores, 96 ensayos por cada punto), el eje de las abscisas representa el tiempo promedio de cada intervalo y se encuentra en escala logarítmica, en el de las ordenadas se muestra la probabilidad de emitir una respuesta correcta.

7.5 Discusión

Los datos encontrados no muestran una tendencia como la esperada. Ambos modelos predicen que a medida que disminuya el tiempo disponible para explorar el objeto, debería disminuir el desempeño. Sin embargo este no fue el caso, lo que encontramos es que no existía un efecto claro del tiempo de presentación del estímulo sobre el desempeño de los participantes. Una posibilidad es que los participantes no estén siguiendo correctamente la instrucción de dejar el objeto, lo que significaría que no se está controlando correctamente el tiempo de exploración. Una revisión al programa que presentaba la tarea mostró que existía un retraso al momento de presentar el sonido que terminaba el ensayo; además de un retraso entre la presentación del sonido y el registro del tiempo adicional que tomaban los participantes para explorar el objeto. Por lo que con los datos presentes no es posible identificar los ensayos en los que el participante excedió el tiempo límite y por tanto no se pueden descartar dichos ensayos.

8. Experimento 3

Si tomamos de nuevo el ejemplo hipotético, podemos ver que lo más lógico es que si el experimentador nos limita el tiempo que podemos escuchar la grabación para evaluar el idioma que habla la voz, entonces debería disminuir nuestro desempeño al evaluar correctamente la voz. Esto es lo que predicen ambos modelos, sin embargo, la disminución en el desempeño que predicen es diferente. Palmer et al. (2005), y Watamaniuk (1993), mencionan que en el modelo *accumulation-to-bound* el decremento en el desempeño es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la duración del estímulo.

En el caso del modelo de muestreo independiente, las ecuaciones aquí exploradas no permiten determinar cómo es el decremento en el desempeño. Por lo que en este experimento a partir de una simulación empleando las predicciones hechas por el modelo. Y se obtendrá una aproximación empírica de la relación que predice el modelo de muestreo independiente entre el tiempo de presentación del estímulo y la intensidad del estímulo necesaria para alcanzar un determinado umbral.

Para poder determinar la relación que existe entre un determinado umbral de discriminación y el tiempo de exploración del objeto, decidimos emplear un procedimiento utilizado en psicofísica conocido como *staircase* (Kingdom & Prins, 2009). Este procedimiento permite, en relativamente pocos ensayos, hacer una aproximación precisa de la intensidad del estímulo necesaria para que este estímulo genere un desempeño específico. Es decir, permite generar una aproximación del valor del umbral para lograr un determinado desempeño. El procedimiento se explica detalladamente más adelante.

8.1 Objetivos particulares

De acuerdo con el modelo *accumulation-to-bound* y el modelo de muestreo independiente el desempeño decreta a medida que se reduce el tiempo de exposición al estímulo. Por lo que la intensidad del estímulo necesaria para obtener un

determinado desempeño sería mayor. El primer objetivo consiste en generar una curva en la que se evalúe la intensidad del estímulo necesaria para obtener un determinado desempeño a diferentes tiempos de exposición al estímulo.

El modelo accumulation-to-bound hace predicciones muy claras sobre la distribución del desempeño en función del tiempo; prediciendo un decremento en el desempeño inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la duración del estímulo. Sin embargo, en la literatura consultada no se encontró esta predicción para el modelo de muestreo independiente, por lo que el segundo objetivo consiste en generar una distribución del desempeño en función del tiempo a partir de los supuestos del modelo.

Finalmente el tercer objetivo consiste en evaluar si los umbrales calculados a diferentes intervalos de presentación del estímulo se ajustan a la pendiente predicha por el modelo de accumulation-to-bound o a la predicha por el modelo de muestreo independiente.

8.2 Hipótesis particulares

De acuerdo a ambos modelos, el tiempo de exposición al estímulo tiene un efecto sobre el desempeño: a menor tiempo de exposición, mayor número de errores en la discriminación de la orientación del objeto.

La mayor parte de los artículos consultados ofrecen evidencia que sugiere que el sistema visual se comporta de acuerdo con el modelo accumulation-to-bound, por lo que es razonable esperar que el sistema somatosensorial se comporte de acuerdo a dicho modelo.

8.3 Método

8.3.1 Diseño

Al inicio de un ensayo, el objeto se encontraba en una posición neutral (Figura 13, panel a). Posteriormente el objeto rotaba hasta alcanzar el ángulo requerido (Figura 13, panel b). El objeto avanzaba hasta la posición de exploración (Figura 13, panel c). Un sonido indicaba al participante que debía comenzar a explorar el objeto (Figura 13, panel d). Una vez que el participante tocaba el objeto, pasaba un tiempo determinado de acuerdo con el bin correspondiente al ensayo. Inmediatamente después de transcurrido este periodo, el objeto se retiraba hasta la posición neutral (Figura 13, panel e). Finalmente el retiro del objeto le indicaba al participante que debía retirar su mano y emitir su respuesta (Figura 13, panel f).

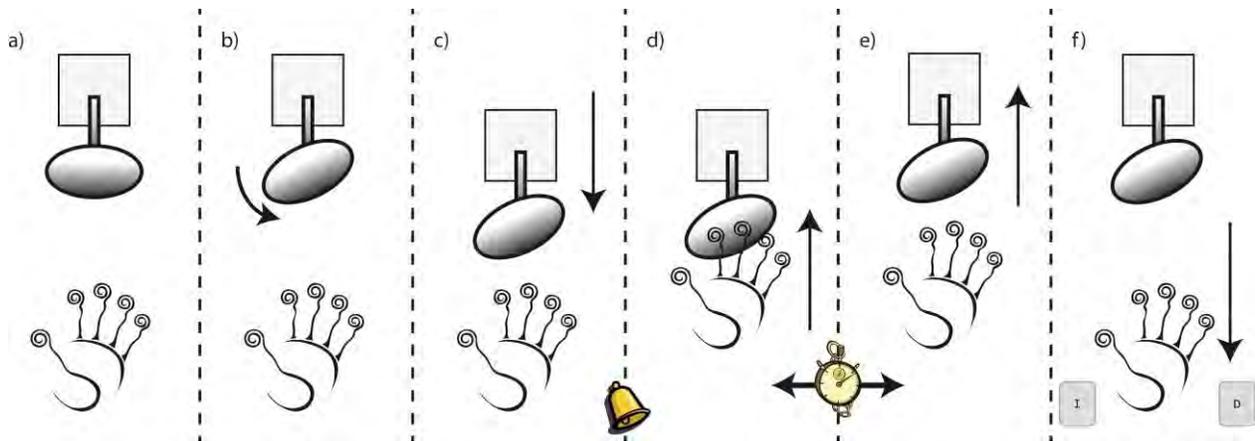


Figura 13. Desarrollo de la tarea, Experimento 3. En la figura se representa un ensayo del experimento. a) Inicio del ensayo, el objeto se encuentra en una posición neutral, b) el objeto se coloca en uno de los ángulos, c) el objeto se mueve hasta la posición de exploración, un sonido le indica al participante que puede empezar a explorar el objeto, d) el participante explora el objeto, pasa un tiempo determinado por el bin correspondiente al ensayo. e) el objeto se retira hasta la posición neutral, f) el participante retira su mano y emite su respuesta.

Se varió el tiempo que el participante tenía disponible para explorar el objeto, el tiempo se determinó a partir de 10 bins que se calcularon dividiendo una función exponencial trunca que partió de 0 hasta 2000 milisegundos en 10 segmentos.

8.3.2 Participantes y materiales

Participaron 13 personas, con una media de edad de 25.2 años (rango de edad entre 18 y 32 años), aparentemente sanos y diestros quienes previamente leyeron y firmaron el consentimiento informado (Anexo 5). Los materiales fueron los mismos que los ocupados en el Experimento 1 y 2, con la diferencia de que en esta ocasión el objeto para explorar se encontraba colocado sobre una plataforma desplazable controlada por el mismo circuito que controlaba la amplitud del ángulo.

8.3.3 Procedimiento

La aplicación se realizó en las mismas condiciones que en el Experimento 1 y 2. Al inicio de la tarea se les leyó a los participantes la hoja de instrucciones correspondiente a este experimento (Anexo 6). La tarea fue muy similar a la del Experimento 2, en este experimento el ángulo en el cual se colocaba el objeto seguía las reglas de un procedimiento *staircase 2 arriba 1 abajo* (Kingdom & Prins, 2009), que se explica un poco más adelante. Los participantes procedieron a explorar el objeto con la mano derecha una vez que escucharan un sonido que indicaba el comienzo del ensayo. Cuando el tiempo de exploración asignado llegaba a su límite, el circuito movía la plataforma para retirarla del alcance del participante. En seguida el participante debía emitir su respuesta con un mouse colocado en su mano izquierda, recibiendo inmediatamente retroalimentación sobre si su respuesta había sido correcta o no.

Existían dos criterios para repetir el ensayo: 1) si el participante colocaba su mano en el objeto antes de la señal de inicio del ensayo y, 2) si el participante excedía el tiempo de exploración permitido en 500 ms. Si el participante incurría en uno de estos dos criterios, se le indicaba por medio de un tono.

8.3.3.1 Staircase

Este procedimiento se emplea comúnmente para calcular el umbral de discriminación de un participante. En este experimento nos permitirá obtener en pocos ensayos una aproximación del ángulo necesario para que el participante tenga un desempeño del 80.35% de respuestas correctas, para cada bin; con lo que se podrán comparar los resultados con las predicciones hechas por ambos modelos. El procedimiento consiste en que cada vez que el participante emite dos respuestas correctas seguidas se disminuye la amplitud del ángulo mientras que cuando el participante emite una respuesta incorrecta, la amplitud del ángulo aumenta. Teniendo en cuenta esta regla, la amplitud del ángulo se encuentra creciendo o decreciendo durante el experimento, cuando esta dirección de crecimiento cambia (e.g., si la amplitud del ángulo se encuentra disminuyendo y el participante tiene un error que causa que la amplitud aumente, Figura 14) se considera que hubo una reversión.

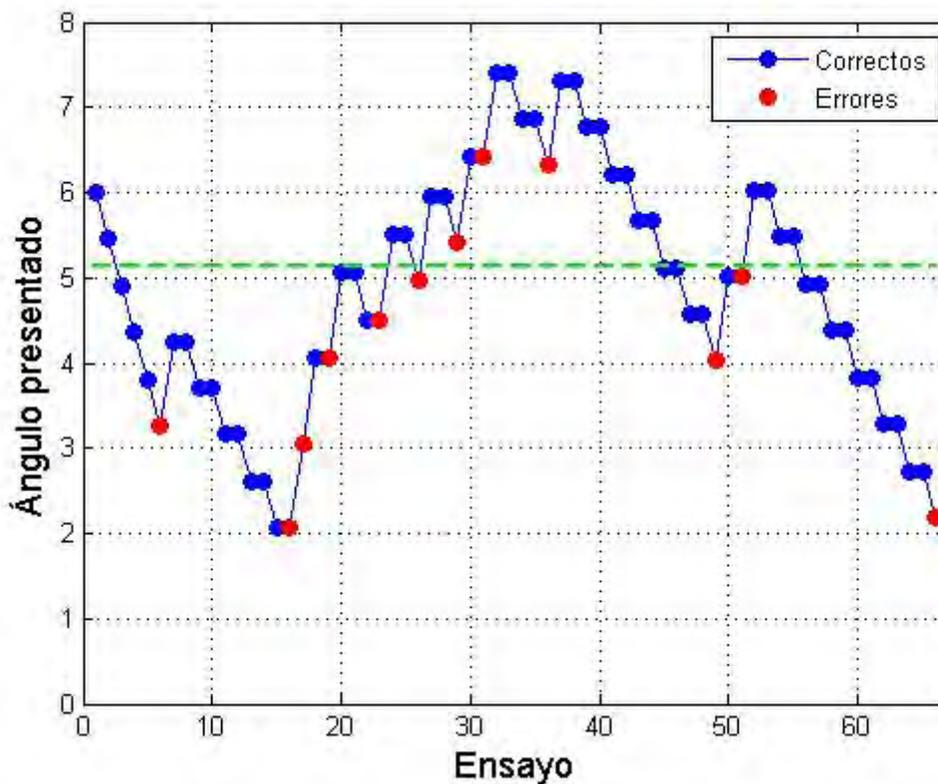


Figura 14. Procedimiento staircase. En la figura se muestra un ejemplo del procedimiento staircase para un solo bin. En el eje de las abscisas se muestra el ensayo, en el eje de las ordenadas se muestra el ángulo presentado en ese ensayo. Los puntos azules representan ensayos correctos mientras que los rojos ensayos incorrectos. Al principio cada respuesta correcta lleva a una disminución en la amplitud del ángulo que se va a presentar, una vez que aparece la primera respuesta incorrecta (e.g., ensayo 6), se prosigue a aplicar la regla 2-1, en la que cuando el participante emita dos respuestas (e.g., ensayo 7) correctas seguidas, la amplitud del ángulo disminuirá en 0.5488° (e.g., ensayo 9), mientras que cada vez que cometa un error el ángulo aumentará en 1° . Cada cambio de sentido (de aumento en amplitud a decremento o viceversa) es denominado reversión. La adquisición de datos para ese bin concluía una vez que ocurrían 15 reversiones. La línea punteada verde representa el valor del ángulo estimado necesario para que el 80.35% de las veces el participante conteste correctamente y se calcula con el promedio de las últimas 13 reversiones, en esta figura está ubicado en 5.1358° .

La recolección de datos para cada bin se detenía cuando el participante había tenido 15 reversiones. El umbral de discriminación se calcula obteniendo la media de todos los ángulos dónde ocurrió una reversión exceptuando las dos primeras

reversiones (Kingdom & Prins, 2009). De acuerdo con Kingdom y Prins (2009), la regla de cambio del procedimiento empleado revelará el umbral de discriminación de 80.35%. Se ha reportado (García-Pérez, 1998), que para la regla empleada, la mejor proporción de crecimiento es de 1 punto (por lo que cuando crecía la amplitud del ángulo éste crecía en 1°) mientras que el decrecimiento debe ser de 0.5488 (decrecimiento del ángulo en 0.5488°).

8.3.3.2 Simulación del modelo de muestreo independiente.

Se generó un programa que simula la forma en que el modelo de muestreo independiente predice la toma de decisiones. El programa tenía varios parámetros de entrada que se explican a continuación.

Se ejecutaba iterativamente una función (Ecuación 4) con dos parámetros de entrada: el valor del estímulo (x) y la sensibilidad al estímulo (k). El resultado de la interacción de esas variables ($r(x,k)$) era comparado con un límite asociado a la respuesta (A en el caso de ser una respuesta correcta o $-A$ si era una respuesta incorrecta). Si $r(x,k)$ era igual o mayor a A , entonces el programa arrojaba una respuesta correcta. Si en cambio $r(x,k)$ era menor o igual a $-A$, entonces el programa arrojaba una respuesta incorrecta. El número de veces que se debía repetir el proceso es considerado el tiempo.

$$r(x, k) = x * k + ruido$$

Ecuación 4, dónde:

- $r(x,k)$ = intensidad del estímulo registrada por el sistema
- x = valor real del estímulo
- k = sensibilidad al estímulo
- ruido = ruido aleatorio

A partir de este programa se generó otro, pero en este caso, este programa tenía un parámetro adicional (tiempo) que limitaba el número de iteraciones que se podían

realizar antes de dar una respuesta; de tal forma que se limitara el número de muestras que el programa podía tomar y así simular un efecto de tiempo límite como en el experimento. Ésta tiene un parámetro adicional: el tiempo. Si llega al límite y no ha alcanzado el criterio de finalización, entonces determina de entre todos los valores calculados en las iteraciones cual se encuentra más cerca de uno de los dos límites y devuelve el valor asociado al límite más cercano.

A partir de estas funciones, se empleó el procedimiento staircase, descrito previamente, en el cual se calcula el umbral al 80.23% de probabilidad de contestar correctamente. Una vez generados estas funciones, es posible realizar un análisis de la forma en que se comportarán los datos de acuerdo a los modelos y comparar este comportamiento con el de los datos obtenidos en el experimento.

8.4 Resultados

Los datos obtenidos por la simulación mostraron un efecto de la amplitud del ángulo sobre la proporción de respuestas correctas. Esto se confirmó con un ANOVA de una vía que resultó significativo ($p < 0.01$). En la Figura 15 se muestra un ejemplo de los datos obtenidos a partir de la función.

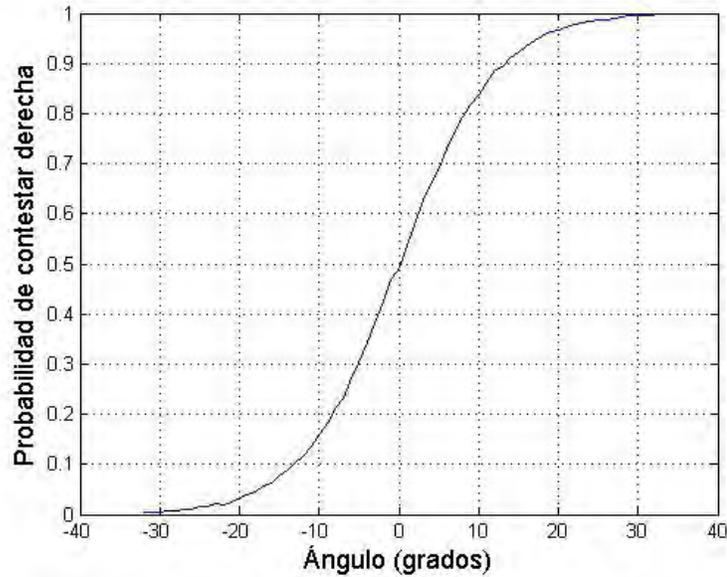


Figura 15. Ejemplo de curva psicométrica. Datos obtenidos a partir de simulaciones del modelo de muestreo independiente, simulando un total de 10000 ensayos por cada ángulo (65 ángulos). En el eje de las abscisas se encuentra el ángulo, en el eje de las ordenadas la probabilidad de contestar derecha.

A partir del programa generado y el procedimiento staircase se generó una distribución de los umbrales en función del tiempo. Se realizaron 10000 simulaciones con los mismos parámetros que los del experimento (Figura 16). Los datos se ajustaron a una recta y se obtuvo una pendiente de -0.1250 ± 0.0027 con intervalos de confianza de 95%.

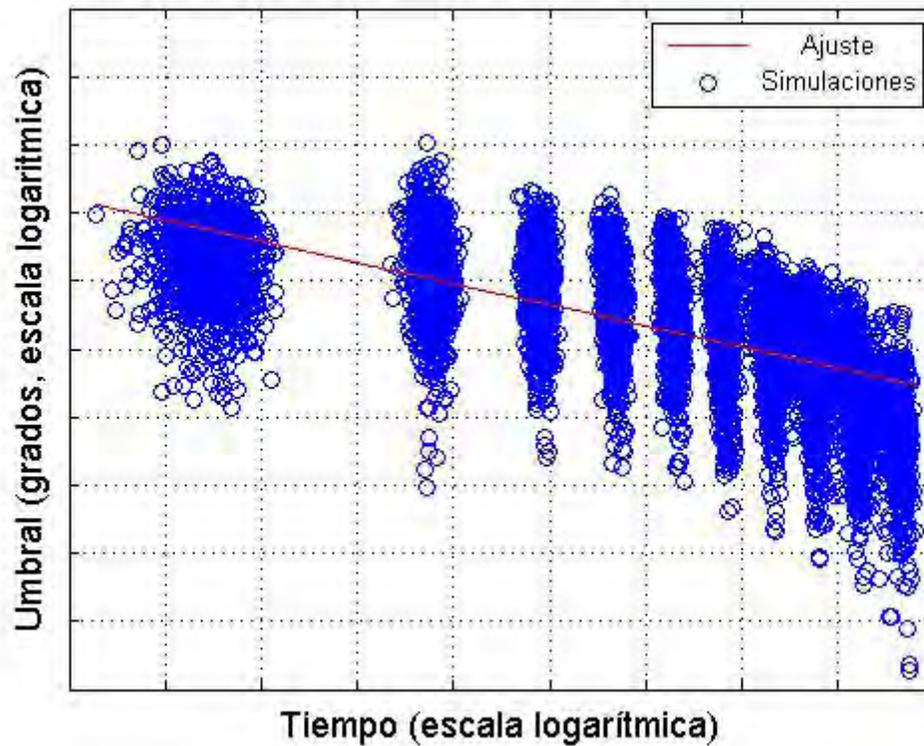


Figura 16. Distribución del umbral en función del tiempo. Datos obtenidos a partir de simulaciones (1000 simulaciones de staircase por cada punto) utilizando el modelo de muestreo independiente, en el eje de las ordenadas se muestra la amplitud del ángulo necesaria para obtener un 80.35% de respuestas correctas (en escala logarítmica). En el eje de las abcisas se muestran diferentes intervalos de tiempo, debido a que son simulaciones, el tiempo se encuentra en unidades arbitrarias; además se encuentra en escala logarítmica. Los círculos azules denotan el valor del umbral obtenido por la simulación con un determinado tiempo límite. La línea roja representa el ajuste a una recta obtenido.

En la Figura 17 se muestran los umbrales obtenidos, un ANOVA de una vía mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) para los ángulos entre los diferentes bins.

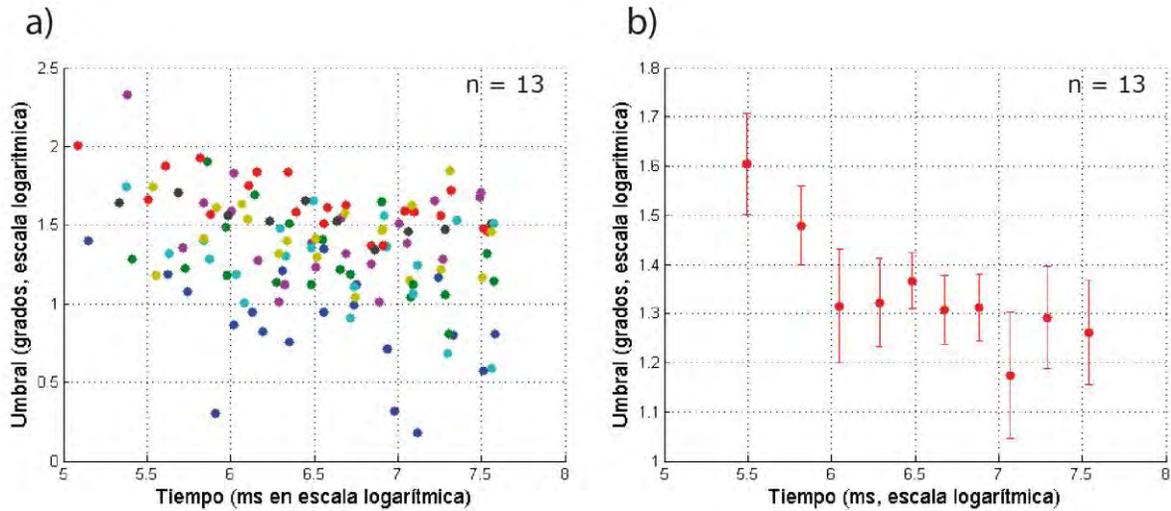


Figura 17. Umbrales obtenidos por cada intervalo. Se muestran los datos obtenidos en el Experimento 3 (n = 13); cada participante realizó cerca de 70 ensayos por cada intervalo de tiempo (10 intervalos). En el panel a) se pueden ver los umbrales obtenidos para cada participantes en diferentes tiempos de exploración del objeto calculados a partir del método staircase. Cada color representa un participante y cada punto el umbral obtenido. En el panel b) se muestra el promedio de los umbrales graficado en función del tiempo promedio de cada bin, las líneas verticales representan el error estándar.

Utilizando el valor de la pendiente obtenido para el modelo de muestreo independiente y el valor de la pendiente predicho por el modelo accumulation-to-bound (Tabla 1), se realizó el mejor ajuste posible a los datos considerando dichas pendientes (Figura 18). Se realizó una prueba de Kolmogorov-Smirnov que mostró una probabilidad estadísticamente significativa ($p < 0.01$, $R^2 = 0.1446$) de que la distribución de los umbrales encontrados pertenezca a la distribución predicha por el modelo de muestreo independiente, mientras que la misma prueba no encontró suficiente evidencia estadística ($p > 0.01$, $R^2 = 0$) para suponer que los datos experimentales pertenezcan a la distribución predicha por el modelo accumulation-to-bound.

Tabla 1

Análisis de las pendientes de los modelos

Modelo	Pendiente	Resultados del análisis
Accumulation-to-bound	-0.5	No se ajusta a los datos, $p > 0.01^*$
Muestreo independiente	-0.1250	Se ajusta a los datos, $p < 0.01^*$

Nota. * = Resultado de la prueba Kolmogorov-Smirnov

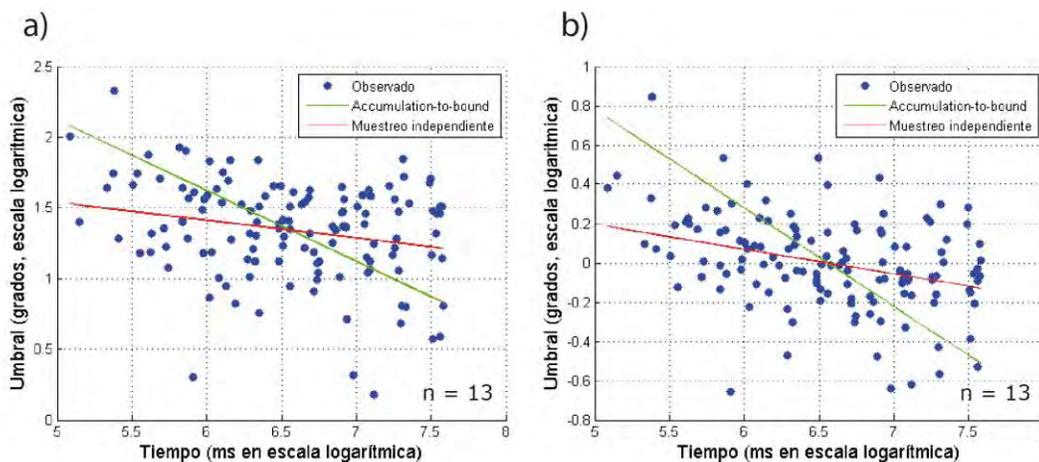


Figura 18. Ajustes de ambos modelos. En ambos paneles en el eje de las abscisas se muestra la media del tiempo para cada umbral. Los círculos azules representan el umbral observado para los 13 participantes. La línea verde representa el mejor ajuste para el modelo accumulation-to-bound y la línea roja el mejor ajuste para el modelo de muestreo independiente. En el panel a) se muestra el umbral calculado en escala logarítmica. El valor individual de los umbrales de cada participante es irrelevante para el análisis debido a que lo que se busca es analizar la pendiente de los umbrales y el desplazamiento de los umbrales debido a diferencias individuales oscurece el análisis, por lo que en el panel b), el eje de las ordenadas se encuentra el umbral normalizado (umbral por bin – umbral promedio) en escala logarítmica.

8.5 Discusión

Las simulaciones del modelo de muestreo independiente muestran una distribución muy similar a una curva psicométrica y un efecto significativo de la intensidad del estímulo sobre la probabilidad de contestar correctamente; por lo que es

posible suponer que se comportan de acuerdo a como lo predice el modelo. Al utilizar la simulación con el procedimiento staircase, se identificaron umbrales diferentes para cada tiempo de exploración. Estos datos se dispersaron alrededor de la media, sin embargo aun tomando en cuenta dicha dispersión, el ajuste resulta muy sucinto alrededor de una pendiente específica, lo que sugiere que la distribución encontrada no se debe al azar y es posible emplearla como punto de comparación.

Los resultados muestran un efecto del tiempo de exploración sobre el umbral; el análisis realizado descarta la posibilidad de que esta tendencia se deba al azar. Otra explicación es que los participantes deliberadamente contestaran sesgados cuando tenían poco tiempo, pero debido a que para cada participante los tiempos se presentaban en 10 bins diferentes, los participantes deberían ser capaces de distinguir entre los 10 bins y distribuir sus respuestas acorde a ello. Sin embargo, el tiempo para cada bin era elegido a partir de una muestra aleatoria de un segmento de una distribución exponencial trunca; esta forma de elegir el tiempo se emplea para dificultar que los participantes puedan predecir el tiempo del ensayo (Kiani et al., 2008). Una explicación más es que, efectivamente el sistema somatosensorial pueda estar procesando la información de acuerdo a uno de los modelos aquí descritos. Ya que ambos predicen que a medida que se limite el tiempo de exploración, los participantes tenderán a cometer más errores y por tanto el umbral se vería afectado.

A diferencia del experimento anterior, se encontró un efecto significativo del tiempo de exploración disponible sobre el umbral, como lo predecían los modelos abordados. Por lo que es posible suponer que este procedimiento fue más apto para limitar los tiempos de exploración y para determinar con mayor certeza el umbral buscado.

El análisis de la distribución de los umbrales sugiere que los datos obtenidos en este experimento pueden explicarse por el modelo de muestreo independiente, dado que existe una muy alta probabilidad de que pertenezcan a la distribución predicha por este modelo y a su vez no existe evidencia estadística para suponer que puedan pertenecer a la distribución predicha por el modelo accumulation-to-bound. Es posible que otro modelo pueda explicar la distribución encontrada y para tal evento sería

necesario realizar otras manipulaciones o bien, analizar nuevamente los datos obtenidos buscando una forma de discriminar otros modelos.

9. Conclusiones

En el Experimento 1 fue posible probar que la tarea empleada en este trabajo puede ser utilizada como tarea psicofísica para hacer inferencias respecto a modelos y otro tipo de investigaciones. A pesar de no ser posible distinguir entre los modelos propuestos, el procedimiento se comportó como lo predecían los modelos, lo que sugiere que es útil como método de estudio.

El Experimento 2 falló en demostrar que la tarea empleada funcionara para hacer inferencias respecto a los modelos. Los datos obtenidos podían sugerir que los modelos abordados no fueran los adecuados para explicar el procesamiento por parte del sistema somatosensorial. Sin embargo, los datos encontrados en el Experimento 3 demostraron que el procedimiento empleado en el Experimento 2 resultó ineficaz para observar el fenómeno buscado. Aún así, el Experimento 2 sirvió como base para el Experimento 3 y nos permitió mejorar la aproximación a un método que probó ser más fiable para este trabajo en particular.

Los datos obtenidos a partir del Experimento 3 descartan al modelo accumulation-to-bound como explicación para los resultados, debido a que su distribución difiere mucho de la predicha por dicho modelo. A pesar de que el análisis sugiere al modelo de muestreo independiente explicación de lo encontrado, es posible que el sistema emplee una regla de decisión similar o que produzca una distribución parecida a la predicha por el modelo. El análisis seguido con los datos obtenidos en este trabajo no permiten probar directamente la existencia de este modelo, sino más bien hacen inferencias sobre cómo se puede comportar el sistema. A pesar de ello, esta limitante podría ser sobrepasada modificando correctamente la tarea o empleando técnicas de registro más directas, por lo que se sugiere que en trabajos posteriores se evalúen las predicciones de otros modelos con variaciones de la tarea.

En conclusión, este proyecto nos permitió evaluar un nuevo procedimiento que permite la evaluación del sistema somatosensorial en una tarea de adquisición activa de información, a pesar de que el tipo de tarea podría conllevar a un procesamiento de

información más complejo. Los datos obtenidos demostraron que es posible analizarlo con un modelo de con reglas de decisión relativamente simples, por lo que es posible suponer que este sistema se puede analizar desde una perspectiva holística y gracias a ello determinar los mecanismos de su funcionamiento como conjunto.

10. Referencias

Casson EJ, y Wandell BA. 1984. Duration discrimination between weak test lights. *Vision Res.* 24, 641–645.

García-Pérez MA. 1998. Forced-choice staircases with fixed step sizes: asymptotic and small-sample properties. *Vision Res.* 38, 1861–1881.

Kiani R, Hanks, TD y Shadlen MN. 2006. When is enough enough? *Nat Neurosci*, 9, 861–863.

Kiani R, Hanks TD y Shadlen MN. 2008. Bounded integration in parietal cortex underlies decisions even when viewing duration is dictated by the environment. *J Neurosci.* 28, 3017–3029.

Kingdom FA y Prins N, 2009. *Psychophysics: a practical introduction*. London: Academic Press.

Maloney L y Wandell B. 1984. A model of a single visual channel's response to weak test lights. *Vision Res.* 24, 633–640.

Mazurek ME, Roitman JD, Ditterich J y Shadlen MN. 2003. A Role for Neural Integrators in Perceptual Decision Making. *Cereb. Cortex* 13, 1257–1269.

Palmer J, Huk AC y Shadlen MN. 2005. The effect of stimulus strength on the speed and accuracy of a perceptual decision. *J. Vision* 5, 376–404.

Ratcliff R. 1978. A theory of memory retrieval. *Psychol Rev*, 85, 59-108.

Wandell B, Ahumada P y Welsh D. 1984. Reaction times to weak test lights. *Vision Res.* 24, 633-640.

Watamaniuk SN. 1993. Ideal observer for discrimination of the global direction of dynamic random-dot stimuli. *J. Opt. Soc. Am. A.* 10, 16–28.

11. Lista de figuras y tablas

Figura 1. Ejemplo de función psicométrica.

Figura 2. Ejemplo de función cronométrica.

Figura 3. Desempeño a diferentes porcentajes de concordancia.

Figura 4. Modelo accumulation-to-bound.

Figura 5. Modelo muestreo independiente.

Figura 6. Desarrollo de la tarea, Experimento 1.

Figura 7. Curvas psicométricas.

Figura 8. Curva cronométrica.

Figura 9. Ajuste del modelo accumulation-to-bound.

Figura 10. Ajuste del modelo de muestreo independiente.

Figura 11. Desarrollo de la tarea, Experimento 2.

Figura 12. Desempeño por bin.

Figura 13. Desarrollo de la tarea, Experimento 3.

Figura 14. Procedimiento staircase.

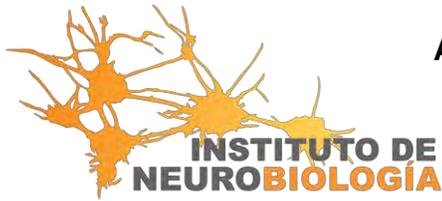
Figura 15. Ejemplo de curva psicométrica.

Figura 16. Distribución del umbral en función del tiempo.

Figura 17. Umbrales obtenidos por cada intervalo.

Figura 18. Ajustes de ambos modelos.

Tabla 1. Análisis de las pendientes de los modelos.



Anexo 1. Consentimiento informado



Forma de consentimiento para experimentos de psicofísica.

Nombre del sujeto:

Fecha:

Título del estudio:

Estudio de determinación de la orientación de un objeto mediante el sentido del tacto.

Investigador principal: Víctor Hugo de Lafuente

Introducción

Antes de aceptar su participación en este estudio de investigación, es importante que lea y entienda el presente texto. Este escrito describe el objetivo, el procedimiento, los beneficios y riesgos asociados al presente experimento.

Objetivo

El estudio en el que podrá participar está diseñado para entender la forma en la que el sistema somatosensorial de un grupo de participantes sanos obtiene información respecto a la inclinación de un objeto.

Descripción del estudio

El experimento consiste en que intente determinar hacia dónde se encuentra rotado el objeto, si a la izquierda o a la derecha.

Sus ojos estarán tapados todo el tiempo y escuchará un bip que indicará el inicio del ensayo, tendrá hasta 4 segundos para explorar el objeto. Tan pronto haya determinado la orientación, tendrá que retirar su mano y dar su respuesta con ayuda del mouse a un lado, un clic con el botón izquierdo significa que considera que el objeto estaba rotado a la izquierda, un clic con el botón derecho, que se encontraba rotado a la derecha. Un sonido indicará si su respuesta fue correcta o incorrecta.

Si toca el objeto antes del bip que te indica el inicio del ensayo, escuchará un sonido que se lo indicará, hasta que retire su mano y podrá comenzar el ensayo. Si su mano se encuentra tocando el objeto una vez terminados los 4 segundos, escuchará un sonido que le indicará que el ensayo ha llegado a su fin. En este caso, el ensayo se repetirá posteriormente.

El estudio consiste en cuatro sesiones de una hora cada una. Si durante el experimento desea suspenderlo, este será interrumpido inmediatamente.

Posibles riesgos

El estudio no tiene ningún riesgo físico o psicológico conocido.

Posibles beneficios

El estudio tiene un beneficio económico de \$200 al finalizar las cuatro sesiones. Además su colaboración nos ayudará a entender parte de las bases de la percepción somatosensorial.

Confidencialidad

Los datos de este estudio serán mantenidos en privado. Cualquier manuscrito publicado en relación con este estudio no incluirá la identidad de los sujetos participantes.

Derechos de los sujetos en estudios de investigación

Yo, _____, he leído y entendido todo lo anterior. El experimentador, _____, me ha explicado el estudio y ha contestado todas mis preguntas. Me han descrito los posibles riesgos y beneficios del estudio y entiendo que puedo abstenerme de participar sin ninguna penalización.

Firma del participante

Anexo 2. Hoja de instrucciones.

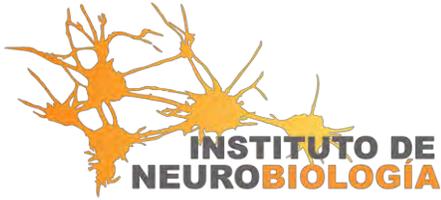
Experimento 1

El experimento consiste en que intentes determinar hacia dónde se encuentra rotado el objeto, si a la izquierda o a la derecha.

Tus ojos estarán tapados todo el tiempo y escucharás un bip que indicará el inicio del ensayo, tendrás hasta 4 segundos para explorar el objeto. Tan pronto hayas determinado la orientación, tendrás que retirar tu mano y dar tu respuesta con ayuda del mouse a tu izquierda, un clic con el botón izquierdo significa que consideras que el objeto estaba rotado a la izquierda, un clic con el botón derecho, que se encontraba rotado a la derecha. Un sonido indicará si tu respuesta fue correcta o incorrecta.

Si tocas el objeto antes del bip que te indica el inicio del ensayo, escucharás un sonido que te lo indicará, hasta que retires tu mano y puedas comenzar el ensayo. Si tu mano se encuentra tocando el objeto una vez terminados los 4 segundos, escucharás un sonido que te indicará que el ensayo ha llegado a su fin. En este caso, el ensayo se repetirá posteriormente.

Anexo 3. Consentimiento informado



Forma de consentimiento para experimentos de psicofísica.

Nombre del sujeto:

Fecha:

Título del estudio:

**Estudio de determinación de la orientación de un objeto mediante el
sentido del tacto.**

Investigador principal: Víctor Hugo de Lafuente

Introducción

Antes de aceptar su participación en este estudio de investigación, es importante que lea y entienda el presente texto. Este escrito describe el objetivo, el procedimiento, los beneficios y riesgos asociados al presente experimento.

Objetivo

El estudio en el que podrá participar está diseñado para entender la forma en la que el sistema somatosensorial de un grupo de participantes sanos obtiene información respecto a la inclinación de un objeto.

Descripción del estudio

El experimento consiste en que intentes determinar hacia dónde se encuentra rotado el objeto, si a la izquierda o a la derecha en un tiempo determinado.

Tus ojos estarán tapados todo el tiempo y escucharás un bip que indicará el inicio del ensayo, una vez escuchado el primer bip, puedes empezar a tocar el objeto,

un segundo bip te indicará el momento de retirar tú mano, a continuación tendrás que dar tu respuesta con ayuda del mouse que se encuentra a un lado, un clic con el botón izquierdo significa que consideras que el objeto estaba rotado a la izquierda, un clic con el botón derecho, que se encontraba rotado a la derecha. Un sonido indicará si tu respuesta fue correcta o incorrecta.

El tiempo que puedes tocar el objeto varía de ensayo a ensayo, es posible que en algunos incluso debas retirar tu mano inmediatamente después de tocar el objeto. El estudio consiste en cuatro sesiones de una hora cada una. Si durante el experimento desea suspenderlo, este será interrumpido inmediatamente.

Posibles riesgos

El estudio no tiene ningún riesgo físico o psicológico conocido.

Posibles beneficios

El estudio tiene un beneficio económico de \$200 al finalizar las cuatro sesiones. Además su colaboración nos ayudará a entender parte de las bases de la percepción somatosensorial.

Confidencialidad

Los datos de este estudio serán mantenidos en privado. Cualquier manuscrito publicado en relación con este estudio no incluirá la identidad de los sujetos participantes.

Derechos de los sujetos en estudios de investigación

Yo, _____, he leído y entendido todo lo anterior. El experimentador, Raúl Hernández Pérez me ha explicado el estudio y ha contestado todas mis preguntas. Me han descrito los posibles riesgos y beneficios del estudio y entiendo que puedo abstenerme de participar sin ninguna penalización.

Firma del participante

Anexo 4. Hoja de instrucciones

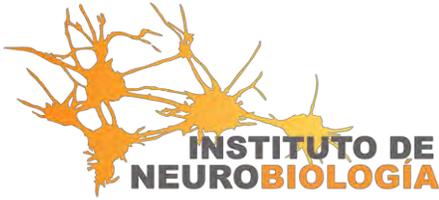
Experimento 2

El experimento consiste en que intentes determinar hacia dónde se encuentra rotado el objeto, si a la izquierda o a la derecha en un tiempo determinado.

Tus ojos estarán tapados todo el tiempo y escucharás un bip que indicará el inicio del ensayo, una vez escuchado el primer bip, puedes empezar a tocar el objeto, un segundo bip te indicará el momento de retirar tú mano, a continuación tendrás que dar tu respuesta con ayuda del mouse que se encuentra a un lado, un clic con el botón izquierdo significa que consideras que el objeto estaba rotado a la izquierda, un clic con el botón derecho, que se encontraba rotado a la derecha. Un sonido indicará si tu respuesta fue correcta o incorrecta.

El tiempo que puedes tocar el objeto varía de ensayo a ensayo, es posible que en algunos incluso debas retirar tu mano inmediatamente después de tocar el objeto.

Anexo 5. Consentimiento informado



Forma de consentimiento para experimentos de psicofísica.

Nombre del sujeto:

Fecha:

Título del estudio:

**Estudio de determinación de la orientación de un objeto mediante el
sentido del tacto.**

Investigador principal: Víctor Hugo de Lafuente

Introducción

Antes de aceptar su participación en este estudio de investigación, es importante que lea y entienda el presente texto. Este escrito describe el objetivo, el procedimiento, los beneficios y riesgos asociados al presente experimento.

Objetivo

El estudio en el que podrá participar está diseñado para entender la forma en la que el sistema somatosensorial de un grupo de participantes sanos obtiene información respecto a la inclinación de un objeto.

Descripción del estudio

El experimento consiste en que intentes determinar hacia dónde se encuentra rotado el objeto, si a la izquierda o a la derecha en un tiempo determinado.

Tus ojos estarán tapados todo el tiempo y escucharás un bip que indicará el inicio del ensayo, una vez escuchado el primer bip, puedes empezar a tocar el objeto,

debes mantener tu mano en el objeto hasta que este se retire, a continuación tendrás que dar tu respuesta con ayuda del mouse que se encuentra a un lado, un clic con el botón izquierdo significa que consideras que el objeto estaba rotado a la izquierda, un clic con el botón derecho, que se encontraba rotado a la derecha. Un sonido indicará si tu respuesta fue correcta o incorrecta.

El tiempo que puedes tocar el objeto varía de ensayo a ensayo, es posible que en algunos incluso el objeto se retire inmediatamente. El estudio consiste en una sesión de una hora. Si durante el experimento desea suspenderlo, este será interrumpido inmediatamente.

Posibles riesgos

El estudio no tiene ningún riesgo físico o psicológico conocido.

Posibles beneficios

El estudio tiene un beneficio económico de \$50 al finalizar la sesión. Además su colaboración nos ayudará a entender parte de las bases de la percepción somatosensorial.

Confidencialidad

Los datos de este estudio serán mantenidos en privado. Cualquier manuscrito publicado en relación con este estudio no incluirá la identidad de los sujetos participantes.

Derechos de los sujetos en estudios de investigación

Yo, _____, he leído y entendido todo lo anterior. El experimentador, Raúl Hernández Pérez me ha explicado el estudio y ha contestado todas mis preguntas. Me han descrito los posibles riesgos y beneficios del estudio y entiendo que puedo abstenerme de participar sin ninguna penalización.

Firma del participante

Anexo 6. Hoja de instrucciones

Experimento 3

El experimento consiste en que intentes determinar hacia dónde se encuentra rotado el objeto, si a la izquierda o a la derecha en un tiempo determinado.

Tus ojos estarán tapados todo el tiempo y escucharás un bip que indicará el inicio del ensayo, una vez escuchado el primer bip, puedes empezar a tocar el objeto, mantente explorando el objeto hasta que este se retire por sí solo, a continuación tendrás que dar tu respuesta con ayuda del mouse que se encuentra a un lado, un clic con el botón izquierdo significa que consideras que el objeto estaba rotado a la izquierda, un clic con el botón derecho, que se encontraba rotado a la derecha. Un sonido indicará si tu respuesta fue correcta o incorrecta.

El tiempo que puedes tocar el objeto varía de ensayo a ensayo, es posible que en algunos incluso el objeto se retire inmediatamente.