



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

Reevaluación de las predicciones del modelo  
de Aprendizaje de Tiempo (LeT) en un  
procedimiento de bisección dual

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN PSICOLOGÍA  
P R E S E N T A :  
RAÚL EMMANUEL TRUJANO ESPINOZA

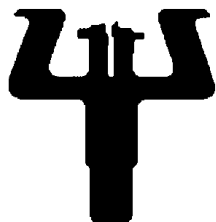
DIRECTOR: DR. OSCAR ZAMORA ARÉVALO

REVISOR: DR. FLORENTE LÓPEZ RODRÍGUEZ

SINODALES: DR. ARTURO BOUZAS RIAÑO

DR. OSCAR VLADIMIR ORDUÑA TRUJILLO

DR. HUGO SÁNCHEZ CASTILLO



**Facultad  
de Psicología**

Tesis apoyada por el proyecto IN307310 de PAPIIT

MÉXICO, D. F.

SEPTIEMBRE 2010



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.

# Índice

Capítulo 1: Nota introductoria	12
Capítulo 2: Psicofísica y el estudio de la estimación temporal	14
2.1. El procedimiento de bisección temporal	14
2.2. La función psicométrica	14
2.3. Variabilidad en las respuestas	16
2.4. Hallazgos experimentales	17
2.4.1. Organismos no humanos	17
2.4.2. Bisección temporal en humanos	18
Capítulo 3: Teoría de Expectancia Escalar	19
3.1. Elementos de la teoría	19
3.2. Variabilidad en el comportamiento	20
Capítulo 4: Modelo de Aprendizaje de Tiempo	23
4.1. Elementos de la teoría	23
4.2. Variabilidad en el comportamiento	25
Capítulo 5: El procedimiento de bisección temporal dual	27
5.1. Instrumentación del procedimiento	27
5.2. Resultados predichos en el procedimiento de bisección dual	28
5.3. Resultados obtenidos en el procedimiento de bisección dual	29
Capítulo 6 Justificación del problema y objetivo	31
Capítulo 7: Método	33
7.1. Participantes	33
7.2. Aparatos	33
7.3. Procedimiento	33
7.4. Análisis de datos	36
Capítulo 8: Resultados	37
8.1. Bisecciones temporales simples	37
8.2. Bisección temporal simultánea	39

8.3. Bisección temporal dual	42
8.4. Ubicación de los puntos de bisección	45
Capítulo 9: Discusión y conclusiones	47
9.1. Resultados generales en bisección temporal en humanos	47
9.2. Bisección simultánea	48
9.3. Bisección dual	50
9.4. En conclusión...	53
Referencias	54

*A mis seis ángeles, a quienes les debo todo lo que soy y todo lo que he logrado.  
Espero algún día poder honrarlos como realmente su grandeza lo merece.*

## Resumen

La Teoría de Expectancia Escalar (SET) ha sido la teoría más influyente en el campo de investigación sobre estimación temporal, tanto en humanos como en otros organismos. No obstante, hay otras teorías sobre estimación temporal, como Aprendizaje de Tiempo (LeT). El procedimiento de bisección dual fue diseñado para comparar SET y LeT en palomas, pero dado que los hallazgos en humanos son muy similares a los hallazgos en animales, entonces también podría emplearse la tarea de bisección dual en humanos. El propósito de este experimento fue comprobar si se pueden encontrar los mismos hallazgos en humanos en un análogo de la tarea de bisección dual. Un grupo de participantes realizó una adaptación de la tarea de bisección dual, con espaciamiento lineal o logarítmico de las duraciones intermedias de tiempo, y se analizaron puntos de bisección, umbrales diferenciales y razones de Weber de todas las fases del experimento. Los resultados muestran algunos de los hallazgos comunes en el área de estimación temporal en humanos, como la superposición de las funciones psicométricas y la constancia de la ley de Weber, así como algunas discrepancias con otros estudios como la falta de efectos de espaciamiento. Además, los humanos realizan la tarea de bisección dual de una forma muy similar a las palomas: las funciones psicométricas de bisección dual crecen en forma de S conforme aumenta la duración del estímulo. Pero aún así, no pueden aplicarse a humanos los supuestos teóricos que LeT asume, por lo que se consideran dos explicaciones alternas: una en términos de transposición, y otra en términos de un modelo de economía conductual de estimación temporal.

**Al César lo que es del César:**

## **Agradecimientos**

Llegado hasta este punto, un aspirante a licenciado que presenta una tesis difícilmente puede sintetizar en papel a todas las personas y todas las razones por las cuales estar agradecido; es simplemente una tarea tan monumental como inasequible debido a la enorme cantidad de personas y razones con las cuales estamos en deuda. Lo único que aquellos que escribimos una tesis podemos hacer es intentar agradecer a quienes han brindado todo para que haya sido posible llegar hasta aquí. El orden en que yo he decidido presentarlos no es importante, lo verdaderamente importante es aquello por lo cual quiero agradecerles. No pretendo ofender a nadie al no incluirlo en esta sección, sólo puedo esperar que los lectores de esta tesis comprendan el por qué.

Primeramente quiero agradecer y dedicar todo mi esfuerzo a mis padres, María Julieta Espinoza Bernardino y Ángel Mariles Torres, porque aún cuando he tenido la osadía de desafiarlos, no hubo momento alguno en que dejaran de creer en mí, y siempre han estado ahí para apoyarme incluso en los momentos más difíciles: desde unas simples copias hasta la comprensión necesaria para aceptar todos los sacrificios que han sido necesarios desde que ingresé a Facultad en aras de alcanzar mis metas. Muchísimas gracias por aceptar lo que soy y por fomentarlo, siempre tengo muy presente todo lo que han sacrificado para que yo sea alguien de provecho, y me esforzaré cada día por ser digno de ustedes. Los amo a los dos. Madre mía: no sé ni por dónde empezar: te debo 24 años de mi vida y de la tuya que nunca voy a poder pagarte. Tú más que nadie eres la razón por la cual sigo aquí, tú que tanto has hecho porque siempre salga adelante y que nunca te rendiste ni siquiera cuando todo estaba perdido; es gracias a eso que ahora sigo aquí y buscando más para ser todo lo que quieres que sea en la vida: *un hombre de bien*. Me siento muy orgulloso de ser un Espinoza gracias a ti. Papá: tú has sido el complemento perfecto de todo lo que mi madre me ha enseñado; ella y yo no pudimos caer en mejores manos que en las tuyas. Al haber aceptado criarme como tuyo enteramente, tú me has enseñado que un hombre no se define por de dónde viene ni cómo llegó hasta donde está, sino por las decisiones que toma y cómo las afronta. Se necesita mucho valor y entereza para hacer lo que tú has hecho por mí y mi bienestar, y es por eso que te estaré eternamente agradecido. Es un honor y una bendición que seas mi padre.

En segunda, quiero agradecer mis tíos Miguel Germán y Alicia Margarita Trujano Arellano, porque sin importar la distancia, sin importar el tiempo, siempre han estado ahí para mí como mis segundos padres cuando más lo he necesitado; son ustedes más que nadie la razón por la cual a mucha honra conservé mi apellido Trujano. Tío Miguel: no olvido todas aquellas noches en que nos desvelamos conversando porque todas aquellas pláticas han ayudado a formar el carácter y el temperamento que tengo; vaya, todas esas veces te dedicaste a *instruirme*, a formarme y a iniciarme (sólo que tal vez ninguno de los dos lo sabía). Ésos son de los recuerdos que más atesoro, muchas gracias por habérmelos dado. Tía Alicia: prácticamente eres mi segunda madre, cómo no estar agradecido por ver por mí como si fuera tu propio hijo si desde el principio mi crianza corrió a cargo de mi madre y de ti. Muchísimas gracias por cuidar de mí desde siempre, no puedo imaginar qué sería de mí si no estuvieras conmigo.

Tercera, quiero agradecer a mi señora abuela María Arellano Elizalde y a la memoria de mi señora abuela Francisca Bernardino Arteaga (quien se adelantó en su viaje hacia la Gracia Divina que todos estamos destinados a alcanzar), quienes siempre me han brindado todo de ellas en aras de mi bienestar. Abuela María: yo, tu Gordito, quiero que sepas que te amo por cuidar de mí como lo haces aún hasta estas alturas, porque es gracias a eso que yo puedo seguir adelante en las ocasiones en que parece que el mundo se vuelve contra mí. Es hermoso saber que siempre tengo el amor incondicional de mi señora abuela; y es gracias a ti también que nunca me quité mi apellido Trujano, pues ése es tu legado en mí. Muchísimas gracias. Abuela Pachita: es una lástima que no estés físicamente conmigo para ver que ese nieto tuyo que siempre se metía a la cocina a meter mano a lo que guisabas ha llegado hasta aquí, pero sé que te hubiera gustado acompañarnos para verlo. Tú nunca nos dejarás, pues tu memoria perdurará en mí hasta que yo te alcance en el viaje hacia el Sueño Eterno; pero en lo mientras sabe que te agradezco profundamente haber estado conmigo en los tiempos que fue esencial para que yo pudiera iniciar mi viaje hasta aquí (y lo que falte). Muchísimas gracias por haber existido.

Ahora quiero expresar mi muy sincera y especial gratitud a mi jefe, mi mentor, mi maestro –vaya, literalmente a mi *sensei*–, el Dr. Oscar Zamora Arévalo, pues fue él quien me inició en el camino que yo he decidido tomar. Sensei: tú me mostraste lo que es la Psicología Experimental, me iniciaste en la tan enriquecedora experiencia de asistir a congresos (toda una experiencia de formación y de vida cada que asisto a uno), me iniciaste en una rigurosa pero padrísima disciplina y forma de vida, me mandaste con la gente indicada para seguir mi formación profesional, y es gracias a tu sabiduría que yo he podido comenzar mi camino en



estas artes. Contrario a lo que los antiguos griegos creían, no sólo los dioses son sabios, y lo sé porque mi director, mi *sensei*, es uno: cada que paso a verte y a hablar contigo siempre aprendo algo nuevo (y no sólo sobre Psicología), y con eso tú me has enseñado que el conocimiento está al alcance de todos y que compartirlos con los demás es una de las profesiones más honorables que existen. Muchísimas gracias por haberme recibido en tu laboratorio, por compartir tus conocimientos y experiencias conmigo, por dirigir mi tesis, y sobre todo por haberme dado la invaluable oportunidad de iniciarme como profesor universitario, no tienes ni idea de todas las cosas maravillosas que me ha dejado aquella ocasión en que me preguntaste si me gustaría dar clase y te dije que sí (para ser sincero, esa vez yo creí que me lo preguntaste más por curiosidad que como oferta); es lo mejor que me ha pasado pues tu oferta cambió mi vida por completo (y vaya que la cambió para bien). Gracias a esa oportunidad que me diste yo he podido aprender muchas cosas por mi cuenta; muchísimas gracias por haberme considerado capaz de hacerlo. Todas las virtudes de mi tesis me han salido gracias a ti (y pues todos los errores que tenga son enteramente míos, no tuyos). A ti te debo todo lo que soy como aprendiz de profesor y de hombre de ciencia, y eso nunca podré pagártelo, sólo espero ser lo suficientemente digno y capaz para hacerme llamar TU ESTUDIANTE.

Quiero agradecer también a mi revisor, al Dr. Florente López Rodríguez, por haberse prestado muy amablemente a formar parte de todo este proceso. Doctor Florente: usted me ha enseñado una de las cosas más valiosas sobre la disciplina que todo profesor debería ser capaz de entender, y eso es que no existen los imposibles, no hay nada que sea tan difícil si uno encuentra la forma correcta de explicarlo. Al haber tomado clase con usted (y en un área tan árida y poco apreciada como lo es la estadística), usted me enseñó que la grandeza de un profesor es lograr que el estudiante sea capaz de entender las cosas más complejas de la forma más simple. Es gracias a su inigualable estilo y a sus enseñanzas que yo adquirí las herramientas mínimas necesarias para poder progresar. Muchísimas gracias por todos sus consejos, correcciones, y por compartir todo lo que sabe con nosotros, es un honor haberme formado con usted. Se dice que en la India la vaca es un animal sagrado porque es concebida como la madre de la humanidad por la leche que suministra sin esperar compensación; pues bien, no soy el único que piensa que usted es una Vaca Sagrada caminando entre mortales (y la otra es un amigo suyo al que me referiré a continuación).

Doy gracias también al Dr. Arturo Bouzas Riaño por todas las cosas que he aprendido al haberme formado con él durante cuando menos 2 años y medio de clases (y contando). Doctor Bouzas: para mí usted representa todo lo que un verdadero profesionalista tendría que ser. Su

forma de enseñar me ha enseñado que un profesional tiene que dar todo lo que tiene por ser cada vez mejor, que si bien hay un mínimo necesario en la formación que todos deberíamos tener, ese mínimo necesario no puede permanecer estático nunca puesto que es obligación de un estudiante ir más allá, así como es obligación de un profesor exigir cada vez más de sus estudiantes en aras de preparar cada vez mejores profesionistas (además de que exigir más es una forma de honrar el potencial talento que todos tenemos). He tratado de honrarlo al poner en práctica sus enseñanzas con todos los estudiantes que han pasado por mi salón de clases. Muchas gracias por ser parte de quienes decidirán si vale la pena que me titule como licenciado o no (ha de saber que eso es una prueba que nosotros sus estudiantes, desde la generación de Oscar hasta la de mi Compadre Ramsés, nos hemos puesto, porque hacer eso es nuestro referente para decir si somos lo suficientemente buenos o no, usted es como nuestro faro de Alejandría). Y como le dije al Dr. Florente, nosotros los estudiantes pensamos que usted es una Vaca Sagrada caminando entre mortales; su grandeza sólo es equiparable con la del Dr. Florente.

Agradezco también la participación de Dr. Oscar Vladimir Orduña Trujillo en mi comité, puesto que su rigor al momento de evaluar a un estudiante (y más en un examen profesional) hace que a la vez temblemos con sus preguntas, pero que también pongamos todo el empeño necesario por lo excitantes que pueden ser sus planteamientos y cuestionamientos. Doctor Vladimir: en el tiempo que tenemos de interactuar, no deja de ser extraño que sólo lo hayamos hecho científicamente en dos ocasiones, una en 2009 en Acapulco con motivo de un Congreso Mexicano de Psicología, y otra para mi examen profesional. Y sin embargo tu reputación te precede: he podido comprobar por mí mismo que tu rigor y tus preguntas pueden ser tan emocionantes que simplemente no se puede evitar querer que estés ahí para evaluar mi tesis. Muchas gracias por ser parte de esto, por todos tus comentarios, tus preguntas, y por incluirme en tu círculo de trabajo (de una u otra forma), me agrada mucho saber que puedo acercarme a ti si en alguna ocasión me atoro con algo.

Agradezco también al Dr. Hugo Sánchez Castillo por ser participe en mi comité, porque la visión que tiene me permitió considerar perspectivas diferentes a las que los demás me han brindado. Doctor Hugo: he de confesar que, cuando te pedí que fueras parte de mi comité, me temblaban las piernas porque no sabía si de entrada aceptarías, y si sí aceptabas pues tampoco sabía qué debía esperar, puesto que tu visión es un poco diferente a la del resto de mi comité. Sin embargo, muchísimas gracias por haber accedido a revisar mi tesis, tus comentarios y correcciones me plantearon cuestionamientos tan diferentes del resto de mi comité como me lo esperaba, fue muy interesante intentar encontrar respuestas a ellos.

Hay dos personas a quienes no puedo pasar por alto porque me han servido como motores que me motivan a seguir trabajando (sólo que hasta ahora no los sabían), y son mi prima Lorena Arango Trujano, y mi Compadre Ramsés Vázquez Lira. Prima Lorito: sólo hubo una persona en este mundo que siempre me mostró que nosotros a lo largo de nuestra vida sí podemos alcanzar las metas más lejanas, y lo sé puesto que yo pude ver esa evolución a lo largo de esa vida, y eres tú, yo fui testigo de cómo fuiste alcanzando meta tras meta, y eso fue lo que me hizo decirme a mí mismo: “¿y por qué yo no?”. Tú eres mi gran referente para ver que, no importa la edad, no importa la etapa, siempre se puede, siempre hay una forma. Muchísimas gracias por enseñarme que sí se pueden hacer las cosas, no sabes cómo me ha ayudado para no rendirme (caray, no por nada los dos somos Trujano). Compadre: ¿qué puedo decirte, a ti que te veo como mi compañero de armas en esta empresa interminable que nos da por llamar *la ruta hacia el saber*? Tu valiosa amistad desde que llegaste con Vladimir y el descubrir que, si bien no vamos por exactamente el mismo camino, nuestros caminos se parecen tanto que hemos hecho grandes migas, me han enseñado que la ruta hacia el saber no sólo deja enriquecimiento por parte de la profesión *per se*, sino también hace que otros enriquezcan nuestras vidas mismas. Muchísimas gracias por compartir tus herramientas conmigo, por tu amistad, y por acompañarme en el camino hacia las aspiraciones que ambos ansiamos (alguna vez me las comentaste, ¿recuerdas? El saber por la maravilla de saber, la riqueza del conocimiento, la superación personal y la aspiración por algún día alcanzar la magnificencia de nuestras Vacas Sagradas y ser dignos de ellos).

Y finalmente, tengo un agradecimiento muy especial para una dama que no ha dejado que me venga abajo y que siempre ha encontrado la forma de inspirarme cuando más lo he necesitado; es alguien que ha tenido que pasar por algunos de mis peores momentos y los soportó con un temple inquebrantable, buscando siempre la mejor forma de que los supere (y vaya que han sido formas tan creativas como inspiradoras y hermosas). Me refiero a mi estudiante, mi colega, mi amiga y mi novia Alba Cruz Escalera. Bonobo: tú eres la razón de que finalmente diera con mi tema de tesis, es desde que llegaste y te cruzaste en mi andar que todo ha fluido; desde aquel 5 de noviembre de 2008 que trajiste torta bajo el brazo y quisiste compartirla conmigo todo ha llegado a mí con creces, desde la chambita sobre análisis de datos hasta mi tesis misma. Eso tampoco hay forma de pagarlo. Tú tuviste que sufrir todo este proceso, desde sacrificar parte de nuestro tiempo personal hasta modificar tus hábitos, y aún así (con todo lo ingrato que he sido) tú me has hecho ser alguien mejor. Muchísimas gracias por no dejarme hacer esto solo, por seguir ahí, por apoyarme en todo lo que emprendo, por hacerme alguien mejor (y no sólo en la academia sino en prácticamente todos los ámbitos de

mi vida). Suceda lo que suceda, ahora tú has marcado un punto de corte entre aquel pseudo Dr. House que fui (tú y yo sabemos por qué) y quien soy ahora.

Gracias totales a todos ustedes por sus contribuciones a este trabajo; con todo y mis problemas de memoria créanme que nunca lo olvidaré.

*Raúl Emmanuel Trujano Espinoza.*

*Septiembre de 2010.*

*La ciencia constituye el gran antídoto contra el veneno del entusiasmo y la superstición.*

Adam Smith

*El que tiene un por qué puede superar todos los cómo.*

Friedrich Nietzsche

## Capítulo 1

# Nota introductoria

La evolución ha seleccionado mecanismos que permiten a los organismos anticiparse y responder a los eventos, haciendo que en general los organismos ejecuten la conducta correcta, en el momento apropiado, y en presencia de un evento que se los indique (Malapani & Fairhurst, 2002). De modo que el comportamiento de los organismos usualmente está bajo el control del tiempo transcurrido desde la ocurrencia de ese evento predictor, lo cual se conoce como *estimación de tiempo*. Desde que John Gibbon (1977, 1991) publicó la *Teoría de Expectancia Escalar* (SET por sus siglas en inglés) para explicar las regularidades temporales del comportamiento de los organismos, se han encontrado muchos resultados experimentales que le dan sustento a su teoría (para una revisión, véase Church, 2002). Y aún cuando existen otros modelos cuantitativos de estimación temporal (Killeen & Fetterman, 1988; Machado, 1997), SET ha sido el modelo más influyente en la investigación.

Pero a pesar de que Gibbon (1977, 1991) postuló SET para explicar la estimación temporal en organismos no humanos, el modelo se ha aplicado con mucho éxito en la investigación con humanos (Allan, 1998; Malapani & Fairhurst, 2002; Wearden & Lejeune, 2008). De hecho, se han replicado en humanos algunos de los resultados reportados en otros organismos (Allan, 2002a, 2002b; Allan & Gerhardt, 2001; Allan & Gibbon, 1991; Ortega & López, 2008; Wearden, 1991; Wearden, & Bray, 2001; Wearden, & Ferrara, 1995, 1996).

Ahora bien, generalmente los modelos que se proponen para explicar la estimación temporal se postulan y se ponen a prueba en experimentos con organismos no humanos. Sin embargo, el modelo que ha generado mayor investigación en humanos es SET. Aún cuando hay experimentos en humanos de otros grupos de trabajo (por ejemplo, Fetterman & Killeen, 1992), la aplicación de otros modelos de estimación temporal a resultados en humanos es escasa. Y aún cuando se han aplicado en humanos algunos de los procedimientos experimentales en organismos no humanos, los supuestos teóricos de otros modelos no parecen explicar los hallazgos en humanos. En el presente trabajo se aplicó uno de esos procedimientos en humanos, un análogo al procedimiento de bisección dual, en un esfuerzo por evaluar la generalidad de los resultados que regularmente se encuentran en organismos no humanos.

*El procedimiento de bisección dual* fue ideado por Machado & Keen (1999) para contrastar los supuestos y predicciones de dos modelos de estimación temporal: SET y Aprendizaje de Tiempo (LeT por sus siglas en inglés; Machado, 1997). Y en general, los resultados hasta ahora reportados concuerdan con las predicciones de LeT (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Maia & Machado, 2009; Oliveira & Machado, 2008, 2009). Si los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con los resultados en organismos no humanos, entonces sería posible extender la generalidad de LeT a la estimación temporal en humanos. Sin embargo, también se analizará si los supuestos teóricos de LeT pueden aplicarse a la investigación en humanos.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presenta uno de los procedimientos más usados para estudiar estimación temporal: el procedimiento de bisección temporal. En el capítulo 3 se presenta un esquema de la Teoría de Expectancia Escalar de John Gibbon. En el capítulo 4 se presenta una introducción al modelo de Aprendizaje de Tiempo propuesto por Armando Machado. En el capítulo 5 se presenta una descripción del procedimiento de bisección temporal dual, así como el tipo de análisis que se realiza en los resultados. En el capítulo 6 se presenta el planteamiento y objetivo del trabajo. En el capítulo 7 se presenta el método experimental empleado en este trabajo. Se presenta en el capítulo 8 los resultados obtenidos. Finalmente, en el capítulo 9 se presenta la discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones.

## Capítulo 2

# Psicofísica y el estudio de la estimación temporal

### 2.1. El procedimiento de bisección temporal

Uno de los procedimientos más empleados para estudiar estimación temporal es *bisección temporal* (Church & Deluty, 1977): se entrena al organismo para que emita una respuesta  $R_1$  a una duración de referencia corta  $C$  (por ejemplo, 2 s) y otra respuesta distinta  $R_2$  a una duración de referencia larga  $L$  (por ejemplo, 8 s). Para determinar si el animal ha aprendido a categorizar cada tipo de duración, se emplea un criterio de respuesta de cuando menos el 80% de respuestas correctas.

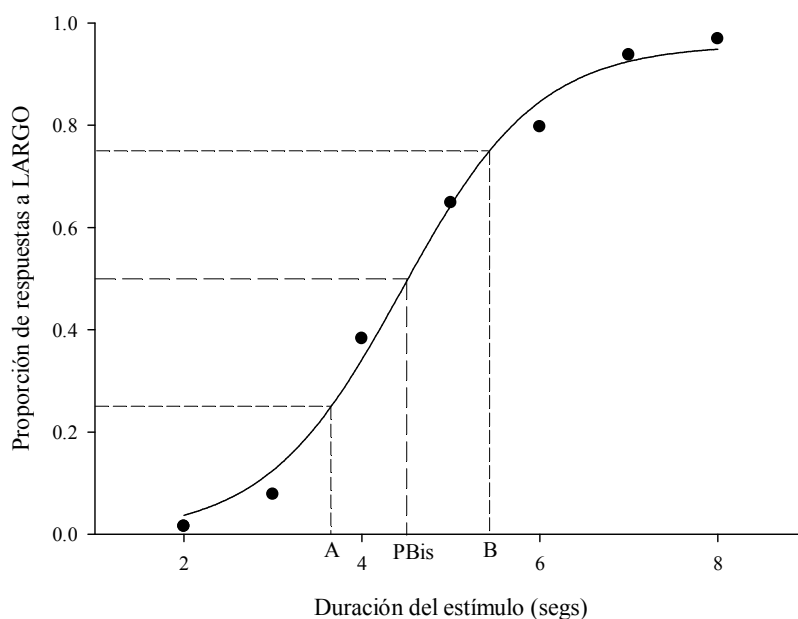
Cuando el animal ha aprendido a discriminar entre  $C$  y  $L$ , se presentan duraciones intermedias  $t$ , donde  $C \leq t \leq L$ . Generalmente se emplean entre cinco y siete duraciones intermedias, y todas se presentan de forma aleatoria. La tarea del animal consiste en categorizar cada duración intermedia como corta o larga. Generalmente, hay más ensayos con las duraciones de referencia que ensayos con duraciones intermedias, esto en aras de que la respuesta de los animales no se extinga.

Nótese que este procedimiento es un análogo al método psicofísico clásico de estímulos constantes (Gescheider, 1997), en el que el mismo conjunto de estímulos (usualmente entre cinco y nueve valores diferentes) se presenta varias veces de forma aleatoria durante un experimento, y la tarea del participante es decir si detectó o no el estímulo. En este método, la proporción de veces que se detecta un estímulo aumenta sistemáticamente conforme aumenta la intensidad del estímulo. Graficando la intensidad del estímulo en el eje de las abscisas y la proporción de veces que se detecta un estímulo en el eje de las ordenadas, se obtiene lo que se conoce como una *función psicométrica*.

### 2.2. La función psicométrica

La figura 1 muestra un ejemplo hipotético de la función psicométrica obtenida con el procedimiento de bisección temporal. La función psicométrica relaciona las magnitudes temporales con el impacto subjetivo que ocasionan. Generalmente, la función psicométrica es





**Figura 1.** Ejemplo hipotético de una función psicométrica característica del procedimiento de bisección temporal. Los puntos representan la proporción de respuestas a la opción “largo” por cada duración presentada. La línea representa la curva que mejor describe esos puntos. (*PBis* = Punto de Bisección; *A* = Duración de tiempo cuando  $p(\text{LARGO}) = 0.25$ ; *B* = Duración de tiempo cuando  $p(\text{LARGO}) = 0.75$ .)

monótonicamente creciente y tiene forma de S cuando se grafica la proporción de respuestas a la opción LARGO en función de la duración del estímulo.

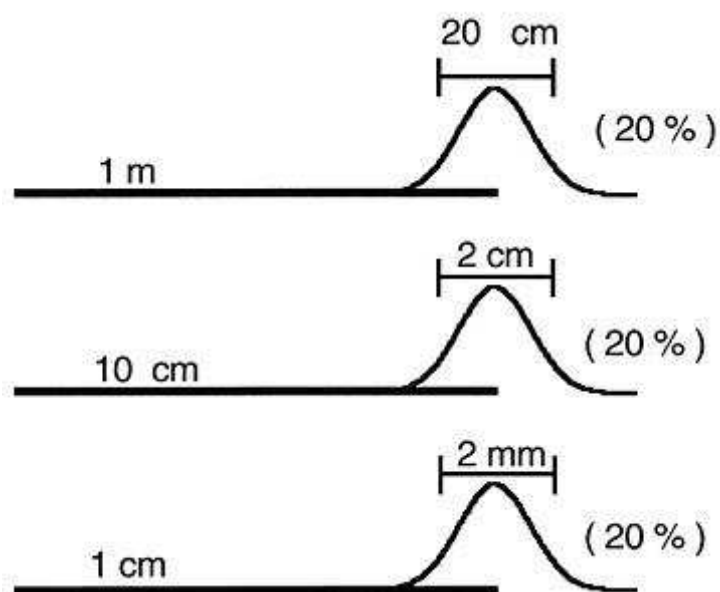
De la función psicométrica se extraen tres parámetros de interés:

1. *El punto de bisección* (o punto de igualdad subjetiva), el cual se define como la duración de tiempo a la cual los animales responden LARGO el 50% de las veces (marcado como *PBis* en la figura). Si los organismos son más sensibles a las razones entre magnitudes que a las diferencias, entonces el punto de bisección será igual a la magnitud  $X$  que iguale las razones  $C/X = X/L$ , de modo que  $X = (C \cdot L)^{1/2}$ . Ésta es una medida de localización de la función.
2. *El umbral diferencial*, o también llamado limen diferencial, el cual se calcula tomando la mitad de la diferencia entre las duraciones de tiempo que generan el 75% y el 25% de las respuestas a LARGO (en la figura, equivale a  $[B - A] / 2$ ). Ésta es una medida de dispersión de la función.

3. *La razón de Weber*, la cual se calcula dividiendo el umbral diferencial entre el punto de bisección. Ésta es una medida de la sensibilidad al tiempo. Siendo que la razón de Weber indica la proporción de cambio mínima necesaria para detectar un cambio, y que la ley de Weber es constante, entonces el umbral diferencial tiene que aumentar proporcionalmente conforme aumenta el punto de bisección para que la razón de Weber se mantenga constante. Gráficamente, esto quiere decir que las funciones psicométricas obtenidas con cualesquiera magnitudes programadas se sobrepondrán si todas se grafican en términos relativos (por ejemplo, dividiendo cada duración entre su punto de bisección).

### 2.3. Variabilidad en las respuestas

Los sistemas perceptuales y motores tiene que ajustarse a la variabilidad del entorno, pero muchos aspectos del ambiente tienen una estructura similar; esto es, sus estructuras son invariantes ante un cambio de escala. A esta invarianza se le conoce como *invarianza escalar* (Chater & Brown, 1999). Para entender lo que esto significa, considérese el ejemplo de la figura 2, en el que se le pide a un grupo de participantes que estime la longitud de tres líneas:



**Figura 2.** Ejemplo hipotético del principio de invarianza escalar, en el que un grupo de participantes tuvo que estimar la longitud de tres líneas: una de 1 m (panel superior), otra de 10 cm (panel central) y otra de 1 cm (panel inferior) de longitud. Obsérvese que las magnitudes de los márgenes de error de estimación son las mismas entre sí en términos proporcionales, aún cuando no es así en términos absolutos.

una línea de 1 m (panel superior), otra línea de 10 cm (panel central) y una línea de 1 cm (panel inferior).

Después de muchos ensayos con cada línea, el promedio de todas las estimaciones es igual a la longitud real de cada línea, pero la magnitudes absolutas de los errores son diferentes entre sí: en el caso de la línea de 1 m de longitud, el margen de error de los participantes fue de 20 cm, para la línea de 10 cm, el margen de error fue de 2 cm, y para la línea de 1 cm, el margen de error fue de 2 mm.

Sin embargo, el tamaño de los márgenes de error de estimación de cada línea es el mismo en términos proporcionales: los márgenes de error de estimación en las tres líneas fueron del 20% de sus longitudes, independientemente de las escala de medición de cada línea. Se podría decir que cada margen de error es entre sí una transformación perfecta de una escala a otra. Por lo tanto, la variabilidad en las estimaciones de cada línea, siendo la misma en términos proporcionales, es de tipo escalar.

De la misma forma, si las funciones psicométricas obtenidas en el procedimiento de bisección temporal se sobreponen al expresarlas en términos relativos, entonces también presentarían invarianza escalar, siendo que la proporción de cambio mínima necesaria para efectivamente detectar un cambio se mantendría constante sin importar las duraciones presentadas. Tal como se verá a continuación y en secciones más posteriores, los hallazgos experimentales han mostrado invarianza escalar.

## *2.4. Hallazgos experimentales*

### *2.4.1. Organismos no humanos*

Lo que normalmente se encuentra en los estudios con organismos no humanos en el procedimiento de bisección temporal es: 1) la función psicométrica entre la proporción de respuestas a la opción LARGO ( $p(\text{LARGO})$ ) y la duración del estímulo crece monotónicamente en forma de ojiva, 2) el punto de bisección cae cerca de la media geométrica (MG) de las duraciones de referencia (esto es,  $X = (C*X)^{1/2}$ ), 3) las funciones psicométricas para todas las razones *LARGO/CORTO* de las duraciones de referencia se sobreponen cuando cada duración se divide entre su correspondiente punto de bisección, 4) la razón de Weber (el umbral diferencial dividido entre el punto de bisección) es constante para todas las razones *LARGO/CORTO* y todos los rangos *LARGO-CORTO* (Church, 2002; Church & Deluty, 1977; véase Gibbon, 1981, para un análisis matemático). Los últimos dos puntos implican invarianza escalar.

#### 2.4.2. Bisección temporal en humanos

En la investigación sobre estimación temporal en humanos, algunos resultados concuerdan con los reportados en otros organismos (Allan, 2002a, 2002b; Allan & Gerhardt, 2001; Allan & Gibbon, 1991; Ortega & López, 2008; Wearden, 1991; Wearden, & Bray, 2001; Wearden, & Ferrara, 1995, 1996). Una excepción es la superposición de las funciones psicométricas: aunque muchos estudios han encontrado superposición (Allan, 1998, 2002a, 2002b; Allan & Gerhardt, 2001; Allan & Gibbon, 1991; Ortega & López, 2008; Wearden, 1991; Wearden, & Bray, 2001; Wearden, & Ferrara, 1995, 1996), hay algunos otros que no (Allan, 1998, Ortega, López & Church, 2009, Penney, Allan, Meck & Gibbon, 1998; véase Wearden & Lejeune, 2008 para una discusión al respecto). Otra excepción importante es la ubicación del punto de bisección: algunos estudios han encontrado que el punto de bisección se ubica cerca de la media geométrica (MG) de las duraciones de referencia (Allan, 2002b, exp. 3; Allan & Gibbon, 1991, Wearden & Ferrara, 1996, exp. 2), otros han encontrado que se ubica cerca de la media aritmética (MA) (Allan & Gerhardt, 2001; Wearden, 1991; Wearden & Ferrara, 1995, 1996).

No obstante, todos estos hallazgos sugieren que el punto de bisección está cerca de MA cuando la razón *LARGO/CORTO* de las duraciones de referencia es grande (por ejemplo, 5:1), y está cerca de MG cuando la razón *LARGO/CORTO* es de 2:1 o menos.

Además, cuando la razón *LARGO/CORTO* es grande, se presenta un efecto de espaciamiento (Wearden & Ferrara, 1995): un espaciamiento lineal de las duraciones intermedias desplaza la función psicométrica a la derecha con respecto a una función psicométrica con un espaciamiento logarítmico de las duraciones intermedias.

¿Cómo se explican teóricamente estos resultados? La forma de hacerlo depende del modelo de estimación temporal que se tome en cuenta. En el presente trabajo se tomarán dos de esos modelos: la *Teoría de Expectancia Escalar* (Gibbon, 1977, 1991) y el modelo de *Aprendizaje de Tiempo* (Machado, 1997; Machado, Malheiro, & Erhagen, 2009), una extensión de la Teoría Conductual de Estimación Temporal (BeT por sus siglas en inglés) propuesta por Killeen & Fetterman (1988), para explicar los resultados obtenidos en bisección temporal. Pero para aplicar estos dos modelos, es necesario hacer una descripción de sus supuestos.

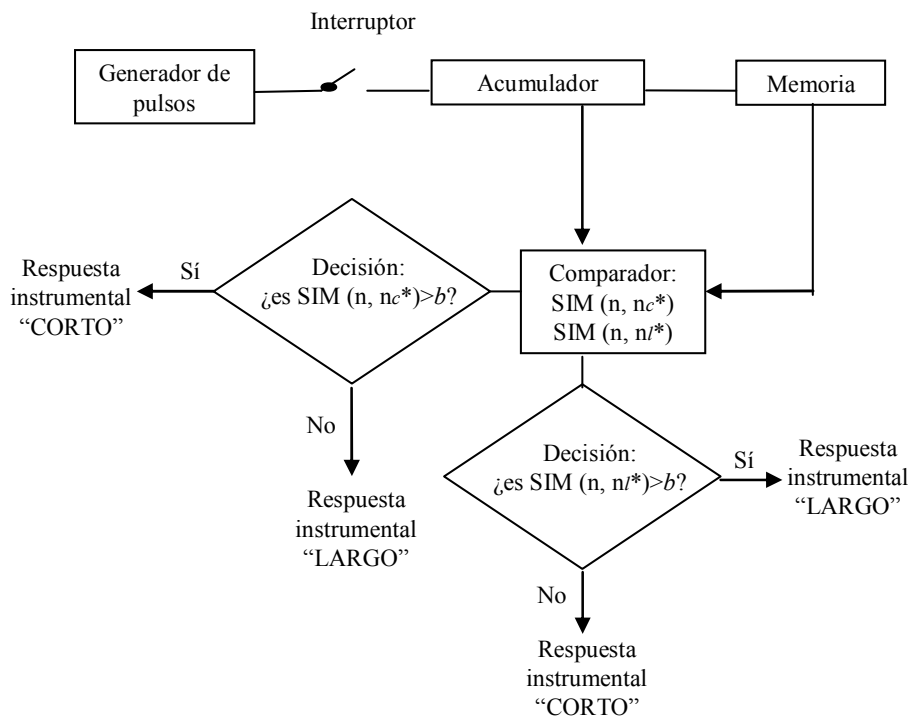
## Capítulo 3

# Teoría de Expectancia Escalar

### 3.1. Elementos de la Teoría

Según Gibbon (1977), los organismos son capaces de hacer estimaciones del tiempo necesario para la entrega de un reforzador, las cuales se hacen por medio de un dispositivo que hace transformaciones de una escala de tiempo real a otra de tiempo subjetivo. La figura 3 muestra un esquema general de la teoría que Gibbon propuso para explicar el modo en que el tiempo controla el comportamiento, teoría que Gibbon denominó *Teoría de Expectancia Escalar* (SET por sus siglas en inglés).

En su forma más simple, la teoría es un modelo de procesamiento de información que postula tres componentes: un reloj interno, memoria y una regla de decisión. El reloj interno posee a su vez tres componentes: un generador de pulsos, un interruptor, y un acumulador. El proceso de estimación temporal según Gibbon (1977, 1991) es de la siguiente manera: al inicio del evento a estimar, el interruptor del reloj interno se cierra y permite que los pulsos emitidos por el generador pasen al acumulador durante el tiempo que el evento a estimar está



**Figura 3.** Diagrama general de la Teoría de Expectancia Escalar para la tarea de bisección temporal.

presente. Cuando el evento finaliza, el interruptor se abre y se dejan de almacenar pulsos en el acumulador. De modo que el tiempo estimado es igual al número de pulsos almacenados en el acumulador. Sin embargo, más adelante se discutirá que la estimación del tiempo es variable debido a fuentes de varianza presentes en el reloj interno.

Si el evento a estimar es relevante para el organismo, al número de pulsos almacenados en el acumulador se le aplica una transformación antes de que sea guardado en un almacén de memoria de referencia (o memoria a largo plazo). Pero debido a la variabilidad en el reloj interno, el almacén de memoria no contiene un valor único sino una distribución de valores. En el procedimiento de bisección temporal, se forman dos distribuciones de valores en memoria de referencia: una de ellas representa el conjunto de valores asociados a la respuesta CORTO, y la otra contiene valores asociados a la respuesta LARGO.

El comparador determina la respuesta emitida al comparar el grado de similitud entre el tiempo en curso y un valor tomado de cada distribución en memoria, contra un umbral. En bisección temporal, dicha similitud se mide tomando la razón entre el valor más pequeño y el más grande (de forma tal que esa razón de similitud adquiere valores de entre cero y uno). Si esta razón supera un valor umbral, entonces se emitirá la respuesta instrumental. Se emitirá la respuesta a CORTO si la razón entre el valor asociado al tiempo actual y la muestra tomada de la distribución de memoria asociada a la opción CORTO supera un valor umbral para esa distribución. De igual forma, se emitirá la respuesta a LARGO si la razón entre el valor asociado al tiempo actual y la muestra tomada de la distribución de memoria asociada a la opción LARGO supera un valor umbral para esa distribución.

### *3.2. Variabilidad en el comportamiento*

Ahora bien, las respuestas emitidas en las tareas de estimación temporal generalmente varían, pero la forma en que varían es de tipo escalar (véase Church, 2002). Por ejemplo: si se le pide a un grupo de participantes que estime varias veces el momento en que ellos perciben que han transcurrido 400 ms, 800 ms y 1600 ms, los márgenes de error de estimación serán los mismos en términos proporcionales, y se distribuirán de la misma forma que en los ejemplos de la figura 2. Éste es uno de los supuestos más fuertes en que se sustenta la Teoría de Expectancia Escalar (Gibbon, 1977, 1991; Gibbon & Church, 1984, 1990). En un modelo de procesamiento de información con varios componentes, se puede atribuir la variabilidad en el comportamiento a cualquiera de ellos, pero al menos uno de estos componentes tiene que dar como resultado variabilidad escalar y ser dominante para poder dar cuenta de la variabilidad

escalar en las respuestas de los organismos (Allan, 1998). Por tanto, Gibbon & Church (1984, 1990) analizaron las fuentes de varianza presentes en el modelo.

La primera fuente de varianza se encuentra en la tasa de disparo del generador de pulsos. Dicha tasa de disparo puede variar de un ensayo a otro, o bien dentro del mismo ensayo de un momento a otro. De cualquier forma, la estimación del tiempo no será siempre la misma en todos los ensayos. Sin embargo, Gibbon & Church (1984) analizaron sólo la variabilidad en la tasa de pulsos de un ensayo a otro, asumiendo que ésta se mantiene constante dentro de un mismo ensayo. De esta forma, se han analizado tres tipos de variabilidad: constante, Poisson y normal. Gibbon & Church (1990) descartaron la variabilidad constante entre ensayos debido a que ello implicaría que la magnitud absoluta de los errores de estimación es la misma ante cualquier tiempo a estimar, lo cual es contradictorio con la evidencia experimental. Gibbon & Church (1984) analizaron también la variabilidad Poisson, pero ésta subestima o sobreestima la eficacia de los organismos en las estimaciones (lo cual depende de la regla de respuesta que adopten); es decir, la magnitud en términos proporcionales de los errores puede o bien aumentar o bien disminuir según sea el tiempo que se tenga que estimar. Esto tampoco es consistente con los hallazgos experimentales. Una forma de hacer congruente la variabilidad Poisson con la variabilidad escalar en los datos, es permitir que todas las fuentes de varianza estén presentes e influyan a la vez en el proceso de estimación de tiempo (Gibbon, 1991). El tipo de variabilidad entre ensayos que es más congruente con la evidencia empírica es la de tipo normal, en el cual la tasa de disparo de pulsos del generador varía de un ensayo a otro de forma proporcional al tiempo a estimar.

La segunda fuente de varianza se encuentra en la latencia de apertura y cierre del interruptor. Según Gibbon & Church (1984), el único tipo de variabilidad en la latencia del interruptor es constante. Pero igual que en la variabilidad constante del generador de pulsos, esto tampoco es consistente con la evidencia empírica.

La tercera fuente de varianza se encuentra en la transformación del número de pulsos en el acumulador al almacén de memoria de referencia. Gibbon & Church (1984, 1990) mostraron que ésta es una transformación lineal del número presente en el acumulador, y determinaron que el tipo de variabilidad en los valores guardados en memoria es el mismo que el tipo de variabilidad presente en la tasa de disparo del generador de pulsos; es decir, esos valores guardados se distribuyen normalmente.

La cuarta fuente de varianza es la regla de respuesta del comparador. En el comparador se puede usar una regla de proximidad relativa, una regla de similitud, o una regla de proximidad absoluta. Aún cuando Gibbon (1991) propuso que la regla de respuesta depende

del tipo de tarea que se esté ejecutando, Gibbon & Church (1984, 1990) descartaron la regla de proximidad absoluta debido a que no implica variabilidad escalar sino variabilidad constante.

La quinta y última fuente de varianza está en el umbral. Gibbon & Church (1990) determinaron que si el umbral es variable, se puede entonces observar variabilidad escalar en las respuestas, siempre y cuando sólo se extraiga una muestra del almacén de memoria.

En suma, para que SET se ajuste a la variabilidad escalar en los hallazgos experimentales, necesita que al menos uno de los componentes del modelo presente varianza escalar (Allan, 1998), y la fuente dominante de varianza escalar se encuentra en el reloj interno y en la distribución de los valores almacenados en memoria (Gibbon, 1991; Gibbon & Church, 1984, 1990).

Dado su planteamiento como modelo de procesamiento de información, la Teoría de Expectancia Escalar ha mostrado ser lo suficientemente flexible para explicar varios hallazgos de diferentes procedimientos de estimación temporal. Esto es así tanto en organismos no humanos (Church, 2002; Church & Deluty, 1977; Gibbon, 1977, 1991; Gibbon & Church, 1984, 1990), como en humanos (Allan, 1998; Penney, Allan, Meck & Gibbon, 1998; Wearden & Lejeune, 2008).



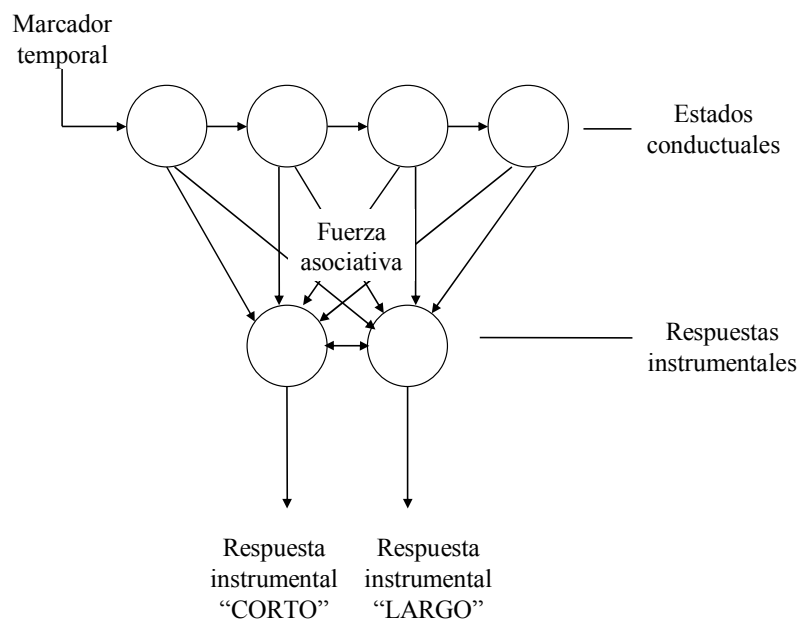
## Capítulo 4

# Modelo de Aprendizaje de Tiempo

### 4.1. Elementos de la Teoría

Ahora bien, según Machado (1997), los organismos son capaces de hacer estimaciones del tiempo necesario para la entrega de un reforzador, las cuales se hacen por medio de una asociación entre el estado conductual que esté más activo y la respuesta instrumental, en el tiempo en que se entrega el reforzador. La figura 4 muestra un esquema general de la teoría que Machado propuso para explicar el modo en que el tiempo adquiere control sobre el comportamiento, teoría que Machado denominó *Aprendizaje de Tiempo* (LeT por sus siglas en inglés; véase también Machado, Malheiro, & Erlhagen, 2009).

El modelo es una versión dinámica de la Teoría Conductual de Estimación de Tiempo (BeT por sus siglas en inglés) propuesta por Killeen & Fetterman (1988), y postula tres componentes: una serie sucesiva de estados conductuales, respuestas instrumentales, y fuerzas asociativas entre los estados conductuales y las respuestas instrumentales.



**Figura 4.** Diagrama general del modelo de Aprendizaje de Tiempo para bisección temporal.

El proceso de estimación temporal según Machado (1997) es de la siguiente manera: al inicio del marcador temporal (el evento a estimar), se dispara una serie de estados conductuales cuya probabilidad de ocurrencia depende del tiempo en curso. Este supuesto se basa en que se ha demostrado que las conductas desplegadas en los programas dependientes del tiempo presentan un orden serial poco variable (Staddon & Simmelhag, 1971), de modo tal que es más probable que ciertas conductas se presenten más que otras al inicio del intervalo de tiempo, y es más probable que otras conductas diferentes se presenten más al final del intervalo que otras. Esta serie de estados conductuales incluyen lo que otros estudios han denominado conductas iniciales, intermedias y terminales, o bien interinas y consumatorias.

A lo largo del tiempo, el nivel de activación de cada conducta varía según Machado (1997) de acuerdo a una distribución Poisson de probabilidad: los primeros estados conductuales tienen su más alto nivel de activación al inicio del intervalo, las conductas intermedias lo tienen a la mitad del intervalo, y los estados terminales tienen su más alto grado de activación hacia el final del intervalo de tiempo. Pero a cambio de eso, el nivel de activación de los estados iniciales decae muy pronto, y conforme transcurre el tiempo, el nivel de activación de los estados conductuales posteriores decae más lentamente.

Si se ejecuta la respuesta instrumental y se entrega un reforzador mientras uno de los estados conductuales está más activo que otros, ese estado conductual recibe mayor crédito por la ocurrencia del reforzador respecto a otros estados, con lo cual se fortalece la asociación entre ese estado conductual mayormente activo y la respuesta instrumental, a la vez que la asociación entre el resto de los estados conductuales y la respuesta instrumental se debilita en la misma proporción. La regla de asociación obedece, según Machado (1997), a un modelo de operador lineal. Y siendo que los diferentes estados están mayormente activos en diferentes momentos del intervalo a estimar, la respuesta instrumental que ellos controlan presenta regularidades temporales específicas.

No obstante, en el procedimiento de bisección, en el cual el organismo tiene que escoger entre dos respuestas instrumentales, las reglas de asociación se tienen que aplicar de forma más extensa: si después de transcurrida una duración corta el organismo emite la respuesta asociada a CORTO y recibe un reforzador, el estado conductual más activo en ese momento recibe el crédito por la ocurrencia del reforzador y se fortalece su asociación con la respuesta instrumental a CORTO, *al tiempo que se debilita su asociación con la respuesta instrumental a LARGO en la misma proporción*. De igual forma, si después de transcurrida una duración larga el organismo emite la respuesta asociada a LARGO y recibe un reforzador, el estado

conductual más activo en ese momento recibe el crédito por la ocurrencia del reforzador y se fortalece su asociación con la respuesta instrumental a LARGO, a la vez que se debilita su asociación con la respuesta instrumental a CORTO en la misma proporción (para mayores detalles, véase Machado, 1997).

Por lo tanto, la estimación del tiempo, según Machado (1997), es resultado de qué tan fuerte es la asociación entre el estado conductual más activo en la serie y la respuesta instrumental, dado el momento en el que haya ocurrido un reforzador. Nótese que, a diferencia de SET, LeT no asume ninguna transformación del tiempo real a tiempo subjetivo, sino que las respuestas en un programa dependiente del tiempo se dan por aprendizaje asociativo de una conducta asociada con la conducta que provoca la entrega de un reforzador.

#### *4.2. Variabilidad en el comportamiento*

A pesar de que LeT es en principio un modelo determinista, tiene que ajustarse a la variabilidad del comportamiento. Como ya se mencionó previamente, la variabilidad en las respuestas emitidas en una tarea de estimación de tiempo es escalar, por lo que LeT tiene también que ajustarse a la variabilidad escalar de los hallazgos.

En un primer intento por explicar la variabilidad escalar en los hallazgos experimentales, LeT postula que la velocidad de transición de un estado conductual al siguiente tiene que ser inversamente proporcional al tiempo entre reforzadores (Machado, 1997): entre más tiempo tenga que transcurrir entre un reforzador y el siguiente, menor tiene que ser la velocidad de transición entre los estados conductuales. Además, los efectos relativos de extinción también tienen que ser inversamente proporcionales al tiempo entre la ocurrencia de un reforzador y la ocurrencia del siguiente: entre más tiempo tenga que transcurrir entre un reforzador y el siguiente, más persistente tiene que ser el comportamiento, es decir, menores tienen que ser los efectos del período de extinción. No obstante, esto no puede dar cuenta por completo de la variabilidad escalar observada en los hallazgos empíricos.

En su versión moderna, LeT además asume que la velocidad de transición de un estado conductual a otro varía de ensayo a ensayo, y esa variación se distribuye normalmente, además de que los efectos de la extinción varían en función del estado conductual activo en el tiempo  $t$  (Machado, Malheiro, & Erlhagen, 2009). Esta versión híbrida de LeT sí puede predecir variabilidad escalar en las respuestas de los organismos.

Dado su planteamiento como modelo asociativo, el modelo de Aprendizaje de Tiempo permite explicar cómo se da el proceso de adquisición de control del tiempo sobre el comportamiento, cosa que SET tiene problemas para explicar. Para contrastar cuál de estos dos modelos puede explicar mejor el comportamiento de los organismos en programas dependientes del tiempo, el grupo de trabajo de Machado (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Maia & Machado, 2009; Oliveira & Machado, 2008, 2009) ha realizado una serie de ingeniosos experimentos que ponen a prueba las diferentes predicciones de SET y LeT, en los cuales se emplea un procedimiento experimental conocido como *el procedimiento de bisección temporal dual* (Machado & Keen, 1999).

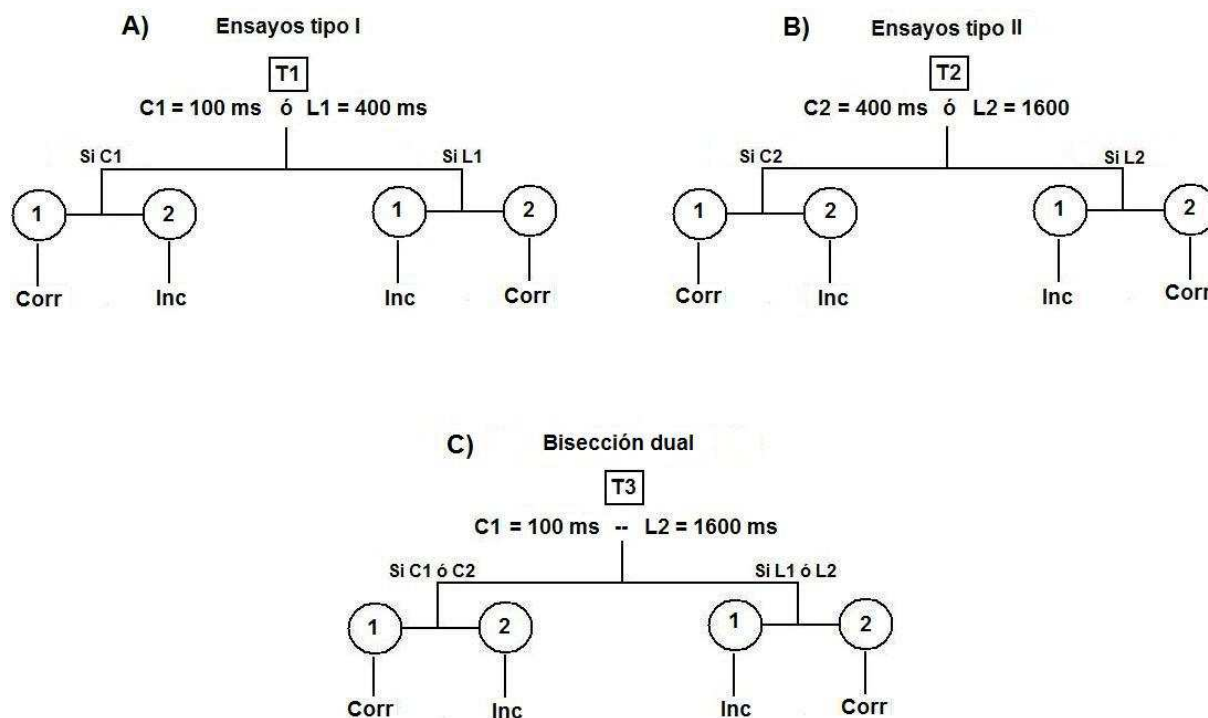
## Capítulo 5

# El procedimiento de bisección temporal dual

### 5.1. Instrumentación del procedimiento

El procedimiento de bisección dual fue ideado por Machado & Keen (1999) para contrastar los supuestos y predicciones de SET y LeT. La estructura de la tarea es la siguiente (véase la figura 5):

1. Las palomas realizan una tarea de bisección temporal simple (digamos, Tipo I): tienen que discriminar entre un estímulo de duración corta  $C_1$  y otro de duración larga  $L_1$  (comúnmente el marcador temporal es una luz blanca). Una vez que aprendieron eso, tienen que categorizar duraciones intermedias  $t$ . Usualmente,  $C_1$  y  $L_1$  se asocian con un color de tecla (como rojo y verde para  $C_1$  y  $L_1$ , respectivamente).
2. Después de esto, las palomas realizan otra bisección temporal simple (digamos, Tipo II) similar a la bisección Tipo I y con el mismo marcador temporal (luz blanca): tienen que discriminar entre un nuevo estímulo de duración corta  $C_2$  y un nuevo estímulo de duración larga  $L_2$ . Una vez que aprendieron eso, tienen que categorizar duraciones intermedias  $t$ .  $C_2$  y  $L_2$  también se asocian con colores diferentes de teclas (como azul y amarillo para  $C_2$  y  $L_2$ , respectivamente). (Aunque los rangos  $C - L$  son diferentes para cada bisección, las razones *LARGO/CORTO* son iguales, y  $L_1 = C_2$ .)
3. Una vez que las palomas han aprendido ambos tipos de bisección, se presentan duraciones temporales de ambas bisecciones en una misma sesión (fase de bisección simultánea); cada duración se presenta con sus respectivos colores de tecla asociados de acuerdo al tipo de bisección a la que pertenezca. La tarea de las palomas es la misma: categorizar las duraciones de tiempo.
4. Finalmente se presentan estímulos de duraciones de entre  $C_1$  y  $L_2$ , y se presentan distintas combinaciones de pares de colores de teclas (fase de bisección dual propiamente dicha). Se evalúan las respuestas del organismo para cada duración y combinación presentada.

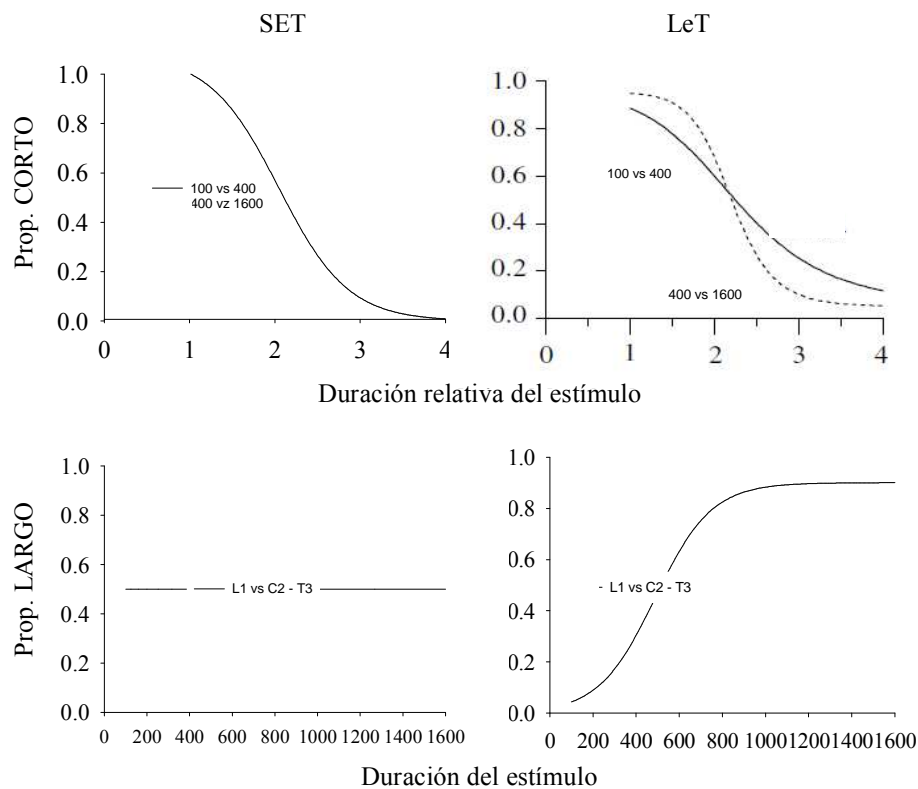


**Figura 5.** Estructura general del procedimiento de bisección dual. A) Fase I: Bisección simple Tipo I. Se entrenan duraciones de referencia  $C_1$  y  $L_1$  con un tono (T1) y después se presentan duraciones intermedias. B) Fase 2: Bisección simple Tipo II. En sesiones diferentes se entrenan duraciones de referencia  $C_2$  y  $L_2$  con un segundo tono (T2) y después se presentan duraciones intermedias. Hágase notar que  $L_1 = C_2 = 400$  ms. C) Fase 4: Bisección dual. Se presentan duraciones de entre  $C_1$  and  $L_2$  con un tercer tono (T3). Véase la sección de Procedimiento para mayores detalles.

## 5.2. Resultados predichos en el procedimiento de bisección dual

La figura 6 muestra las predicciones que hacen SET y LeT sobre los resultados a obtener en el procedimiento de bisección dual. Los paneles izquierdos muestran los resultados predichos por SET, los del lado derecho muestran resultados predichos por LeT. Los paneles superiores indican las predicciones para la fase de bisección simultánea, y los paneles inferiores las predicciones para la fase de bisección dual propiamente dicha. Como puede apreciarse, cada modelo predice patrones diferentes:

Cuando las funciones psicométricas se normalizan dividiendo cada duración entre la duración más corta ( $t/C$ ), SET predice sobreposición de las funciones psicométricas entre la proporción de respuestas a la opción CORTO y la duración del estímulo (donde  $p(\text{CORTO}) = 1 - p(\text{LARGO})$ ) de ambos tipos de bisección, mientras que LeT predice que la función psicométrica con las duraciones de tiempo más grandes tendrá una mayor pendiente.



**Figura 6.** Predicciones de los resultados del procedimiento de bisección dual hechas por la Teoría de Expectancia Escalar (SET, paneles izquierdos) y por el modelo de Aprendizaje de Tiempo (LeT, paneles derechos) para las fases de bisección simultánea (paneles superiores) y de bisección dual propiamente dicha (paneles inferiores). Nótese que, a diferencia del procedimiento de bisección temporal, en bisección simultánea se grafica en el eje de las ordenadas la proporción de respuestas a la opción CORTO. (Basado en Oliveira & Machado, 2008.)

Además, cuando se presentan los dos colores asociados a  $L_1$  y  $C_2$  como *opciones de respuesta*, SET predice indiferencia ante cualquier duración de tiempo, mientras que LeT predice un aumento en la proporción de respuestas a  $L_1$  (verde, en este caso) conforme aumenta la duración del estímulo.

Finalmente, SET predice que el punto de bisección se ubicará cerca de la media geométrica de las duraciones de referencia, mientras que LeT predice que se ubicará en valores superiores a la media geométrica.

### 5.3. Resultados obtenidos en el procedimiento de bisección dual

Todos los resultados hasta ahora encontrados empleando este procedimiento concuerdan con las predicciones de LeT (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes,

2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Maia & Machado, 2009; Oliveira & Machado, 2008, 2009): las funciones psicométricas entre la proporción de respuestas a la opción CORTO y la duración del estímulo de los dos tipos de bisección no siempre se sobreponen cuando se normalizan por  $t/C$ , aún cuando las razones *LARGO/CORTO* son las mismas para las dos bisecciones. En vez de eso, la función con los valores de  $C$  y  $L$  más grandes tiene una pendiente mayor. (Aunque no se analiza formalmente en ningún reporte, ésta es una violación a la ley de Weber.) Además, el punto de bisección no está cerca de la media geométrica de las duraciones  $C$  y  $L$  de referencia, sino que es mayor, justo como LeT predice (véase Machado, 1997).

Cabe mencionar que el procedimiento de bisección dual sólo ha sido aplicado hasta ahora en palomas, por lo que las predicciones de LeT no han sido puestas a prueba en la investigación con humanos, a diferencia de SET.



## Capítulo 6

# Justificación del problema y objetivo

Dado que el modelo de Aprendizaje de Tiempo (LeT) no se ha aplicado en la investigación con humanos, la generalidad de sus predicciones es dudosa. Y aún cuando el modelamiento matemático se ajuste a los datos, ello no necesariamente significa que sea un buen descriptor de los potenciales hallazgos experimentales a obtener. Por tanto, el propósito del presente trabajo es verificar si en un análogo de la tarea de bisección dual en humanos se encuentran resultados similares a los previamente reportados, y así contrastar la generalidad de LeT con la de SET.

La naturaleza del procedimiento de bisección dual implica que se tengan que estimar varios intervalos de tiempo en un presente muy inmediato, por lo que los organismos tienen que estimar más de un intervalo de tiempo simultáneamente. Se ha demostrado previamente en otros estudios que organismos no humanos pueden procesar intervalos de tiempo simultáneos (Church, Guilhardi, Keen, MacInnis & Kirkpatrick, 2003).

Existe además evidencia de que los humanos también son capaces de hacerlo (Grondin, 2005; Grondin, Gamache, Roussel, Pouliot & Plourde, 2005; Wearden & Bray, 2001). Siendo así, entonces es posible adaptar el procedimiento de bisección dual para humanos.

Por otra parte, los efectos de espaciamiento y de rango previamente reportados (Wearden & Ferrara, 1995, 1996) pueden hacer que sólo algunos de los potenciales resultados de ajusten a las predicciones de uno u otro modelo. Por ejemplo, si se presenta un efecto de espaciamiento, entonces un espaciamiento lineal de las duraciones temporales de prueba haría que los resultados se ajustaran más a las predicciones de LeT, debido a que el punto de bisección se ubicaría más cerca de la media aritmética; mientras que un espaciamiento logarítmico generaría resultados más congruentes con las predicciones de SET, al provocar que el punto de bisección se ubique más cerca de la media geométrica. Junto con ello, un efecto de rango provocaría que las funciones psicométricas no se sobrepongan cuando éstas se normalicen, lo cual sería congruente con las predicciones de LeT; pero si efectivamente se sobreponen, ello sería congruente con las predicciones de SET. Por tanto, es necesario evaluar si esos efectos se presentan en bisección dual.

Para un grupo de participantes que realizó la tarea de bisección dual, se analizaron las funciones psicométricas entre la proporción de respuestas a la opción CORTO y las

duraciones de los estímulos en las primeras tres fases del procedimiento. En la última fase, se analizaron las funciones psicométricas entre la proporción de respuestas a la opción LARGO y las duraciones de los estímulos. Junto a ello, se calcularon y analizaron puntos de bisección, umbrales diferenciales y razones de Weber para todas las fases del experimento.

## Capítulo 7

# Método

### 7.1. Participantes

Cuarenta y dos estudiantes de la licenciatura en psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México participaron en el experimento (36 mujeres y 6 hombres; promedio de edad = 20.24 años, D. E. = 1.86). Todos los participantes tenían vista normal o corregida, y ninguno reportó tener problemas auditivos. Todos los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos de comparación (véase la sección de Procedimiento): lineal (LIN;  $n = 21$ ) y logarítmico (LOG;  $n = 21$ ). Todos los estudiantes participaron por créditos extra en sus cursos.

### 7.2. Aparatos

Los participantes realizaron la tarea en grupos de seis por sesión en una sala en silencio. Para cada participante, una computadora Dell modelo DM051 con un monitor SVGA presentó los estímulos y registró las respuestas con el programa Super Lab Pro 4.0 para Windows (Cedrus Corporation). El monitor estaba a 50 cm de distancia de los ojos de cada participante. Se usaron dos teclas numéricas (1 y 2) del teclado como respuestas. Los estímulos a estimar fueron tres tonos (500, 1000 y 1500 Hz), presentados con audífonos. Se contrabalanceó la asignación de cada tono a cada fase experimental entre los participantes.

### 7.3. Procedimiento

Se dividieron a los participantes en dos grupos de acuerdo al espaciamiento de las duraciones de los estímulos presentados: para un grupo se empleó un espaciamiento lineal (grupo LIN); para el otro, se empleó un espaciamiento logarítmico (grupo LOG).

La figura 5 muestra la estructura general del experimento, el cual se dividió en las siguientes fases:

*Fase 1: Bisección simple Tipo I (100-400).* La figura 5A muestra la estructura de esta fase: los participantes tenían que presionar una tecla para iniciar cada ensayo. Se presentó un

bloque de entrenamiento que consistió en cinco presentaciones alternadas (CLCLCLCLCL) de las dos duraciones de referencia: un estímulo de duración corta  $C_1$  de 100 ms y un estímulo de duración larga  $L_1$  de 400 ms. Para cada duración de referencia se presentó previamente una pantalla que indicaba qué duración se presentaría en ese ensayo (“ÉSTA ES UNA DURACIÓN CORTA” para  $C_1$ , y “ÉSTA ES UNA DURACIÓN LARGA” para  $L_1$ ), y se le dijo a los participantes que solamente pusieran atención. Después de presentar cada estímulo, se presentó un intervalo entre ensayos (IEE) con un valor de entre 1000 y 3000 ms, tomado aleatoriamente de una distribución uniforme ( $M = 2000$  ms).

Después del bloque de entrenamiento, se presentó un bloque de generalización. Aquí se presentaron cinco duraciones intermedias  $t$  junto con las duraciones de referencia. La estructura de un ensayo de generalización fue de la siguiente forma: los participantes tenían que presionar una tecla para iniciar cada ensayo, a continuación se presentó una demora de 750 ms, seguida inmediatamente de una de las siete duraciones de tiempo y, después de una demora de 750 ms, los participantes tenían que juzgar si el estímulo fue de duración corta o de duración larga presionando la tecla correspondiente. Después de emitida la respuesta, se presentó un IEE con un valor de entre 1000 y 3000 ms, tomado aleatoriamente de una distribución uniforme ( $M = 2000$  ms), y comenzaba el siguiente ensayo. Para cada grupo, las duraciones presentadas (en ms) fueron:

LIN100: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400

LOG100: 100, 125, 159, 200, 252, 317, 400

Para los dos grupos, cada duración se presentó 10 veces, sumando un total de 70 ensayos de generalización presentados aleatoriamente. Cuando los participantes completaron esta fase, se les permitió tomar un descanso antes de iniciar la siguiente fase.

En esta fase, el marcador temporal fue un intervalo auditivo de tiempo sostenido empleando uno de los tres tonos (por ejemplo, 500 Hz).

*Fase 2: Bisección simple Tipo II (400-1600).* La figura 5B muestra la estructura de esta fase: fue similar a la fase 1 excepto que: 1) el marcador temporal fue un intervalo auditivo de tiempo sostenido empleando un tono diferente al usado en la fase 1 (por ejemplo, 1000 Hz); 2) se entrenaron dos nuevas duraciones de referencia: 400 ms como nueva duración corta  $C_2$ , y 1600 ms como nueva duración larga  $L_2$ ; 3) Para cada grupo, las duraciones presentadas (en ms) en el bloque de generalización fueron:

LIN400: 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600

LOG400: 400, 504, 635, 800, 1008, 1269, 1600

Para ambos grupos, cada duración se presentó también 10 veces, sumando un total de 70 ensayos de generalización presentados aleatoriamente. (Nótese que, aunque los rangos *C-L* son diferentes entre los dos tipos de bisección, sus razones *LARGO/CORTO* son iguales -4:1-, y que  $L_1 = C_2 = 400$  ms.) Y cuando los participantes completaron esta fase, se les permitió tomar otro descanso antes de iniciar la siguiente fase.

A la mitad de los participantes se les presentó primero la bisección simple Tipo I; a la otra mitad se les presentó primero la bisección simple Tipo II.

*Fase 3: Bisección simultánea (Tipos I y II simultáneamente).* En esta fase, se presentaron todas las duraciones de ambos tipos de bisección simple en un mismo bloque para ambos grupos. Cada duración se presentó usando el marcador temporal con el que se había asociado en cada tipo de bisección en las fases 1 y 2. Por ejemplo, si en bisección simple Tipo I se usó un tono de 500 Hz y en bisección simple Tipo II se usó uno de 1500 Hz, se utilizaba esta misma asignación al presentar ambas bisecciones en un mismo bloque. De la bisección Tipo I, cada una de sus siete duraciones se presentó 6 veces para un subtotal de 42 ensayos. De la bisección Tipo II, cada una de sus siete duraciones también se presentó 6 veces para otro subtotal de 42 ensayos. En total, se presentaron 84 ensayos de forma aleatoria en esta fase. Al término de esta fase, se les permitió a los participantes tomar otro descanso antes de iniciar la siguiente fase

*Fase 4: Bisección dual.* La figura 5C muestra la estructura de esta fase: se presentaron todas las duraciones de tiempo de ambos tipos de bisección simple en un mismo bloque para ambos grupos. A diferencia de la fase 3, el marcador temporal para todas las duraciones fue un intervalo auditivo de tiempo sostenido empleando un tono diferente a los usados en las fases 1 y 2 (por ejemplo, 1500 Hz). (Hágase notar que este tercer tono no se había presentado antes.) Todas las duraciones de tiempo de la bisección Tipo I se presentaron 6 veces cada una, para un subtotal de 42 ensayos; las de bisección Tipo II también se presentaron 6 veces cada una, para un subtotal de 42 ensayos. En total, se presentaron 84 ensayos de forma aleatoria en esta fase.

Todas las fases del experimento se presentaron en una única sesión, la cual duró aproximadamente 45 minutos.

#### 7.4. Análisis de datos

Para cada participante se obtuvo una función psicométrica entre la proporción de respuestas a la opción CORTO y las duraciones de los estímulos en las fases 1 y 2. Para la fase 3, se obtuvieron dos de estas funciones psicométricas, una para cada tipo de bisección. Para la fase 4, se obtuvo una función psicométrica entre la proporción de respuestas a la opción LARGO y las duraciones de los estímulos. Dado que los métodos de sobreposición de las funciones psicométricas son diferentes en bisección en humanos y bisección dual en palomas, se emplearon dos métodos de sobreposición para todas las funciones psicométricas: 1) se normalizaron las duraciones de tiempo dividiendo cada duración entre la duración más corta en cada tipo de bisección; 2) se normalizaron las duraciones de tiempo dividiendo cada duración entre el punto de bisección correspondiente en cada tipo de bisección.

Para poder comparar las funciones psicométricas de cada fase, a todas se les ajustó una función sigmoide de tres parámetros:

$$p(Y) = \frac{a}{1 + e^{\left(\frac{-t-x_0}{b}\right)}} \quad (1),$$

donde  $t$  es la duración del estímulo,  $a$  es el valor máximo de la función,  $x_0$  es el punto de bisección (la duración de tiempo a la cual  $p(\text{LARGO}) = 0.5$ ) y  $b$  es un parámetro de pendiente.

Una vez calculados los parámetros, se obtuvieron puntos de bisección, umbrales diferenciales (la diferencia entre la duración de tiempo a la cual  $p(\text{CORTO}) = 0.25$  y aquella a la cual  $p(\text{CORTO}) = 0.75$ , dividida entre dos) y razones de Weber (el umbral diferencial dividido entre el punto de bisección), y se compararon tanto entre los tipos de espaciamento (LIN vs LOG) como entre las fases experimentales.

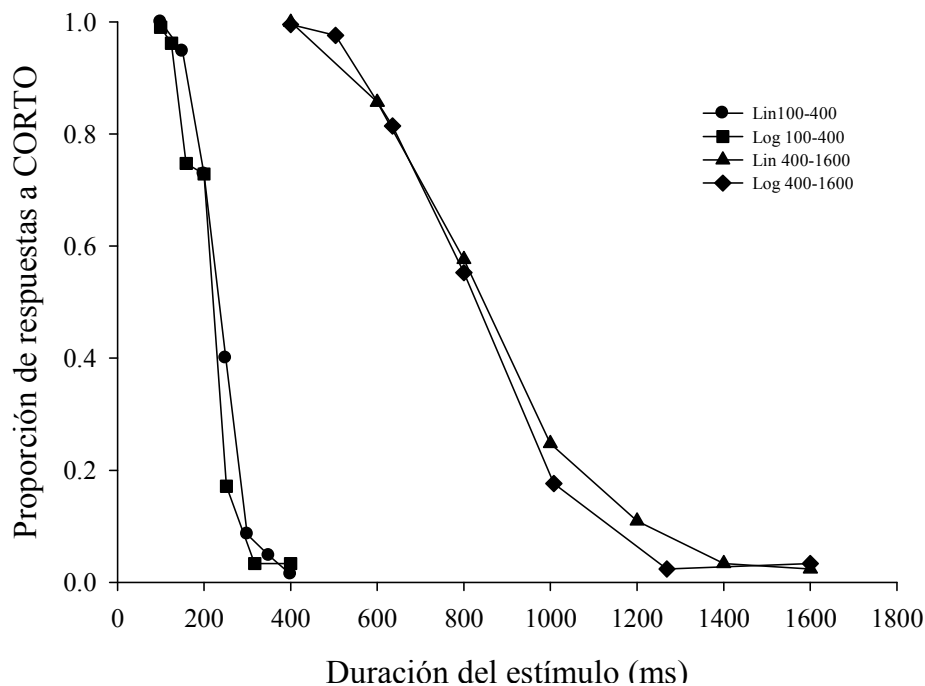
## Capítulo 8

# Resultados

### 8.1. Bisecciones temporales simples

La figura 7 muestra el promedio de las proporciones de respuesta a la opción CORTO en función de las duraciones del estímulo para las bisecciones simples Tipo I y Tipo II por cada grupo de espaciamiento. Como se puede observar, la proporción de respuestas a CORTO disminuye monótonicamente conforme aumenta la duración del estímulo. La forma y ubicación de las funciones psicométricas sugieren que son muy similares entre los grupos LIN y LOG.

Para evaluar si existen diferencias en las funciones psicométricas entre los dos tipos de espaciamiento, se compararon los puntos de bisección, umbrales diferenciales y razones de Weber (véase la Tabla 1). Como puede verse en la Tabla 1, el grupo LIN tendió a tener puntos de bisección y umbrales diferenciales mayores en ambos tipos de bisección simple. Sin embargo, en una prueba *t* para muestras independientes no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tipos de espaciamiento en los puntos de bisección



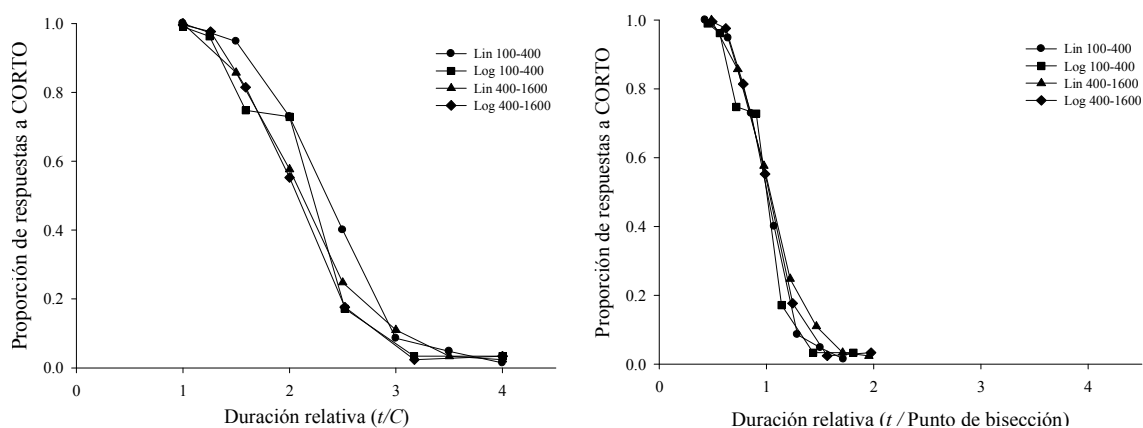
**Figura 7.** Promedio de la proporción de respuestas a la opción CORTO en función de la duración del estímulo para las bisecciones simples Tipo I (100-400) y Tipo II (400-1600) en ambos tipos de espaciamiento.

**Tabla 1.** Promedio (y desviación estándar) de los puntos de bisección (en ms), umbrales diferenciales y razones de Weber por tipo de espaciamento en bisección simple Tipo I y Tipo II.

Parámetros	Tipo de Bisección	Tipo de Espaciamento	
		LIN	LOG
Punto de bisección	Tipo I (100-400)	229.84 (36.47)	209.65 (41.56)
	Tipo II (400-1600 )	816.91 (206.05)	798.69 (131.38)
Umbral diferencial	Tipo I (100-400)	26.08 (15.13)	22.19 (21.95)
	Tipo II (400-1600 )	101.90 (57.47)	90.85 (54.35)
Razón de Weber	Tipo I (100-400)	0.12 (0.07)	0.13 (0.13)
	Tipo II (400-1600 )	0.13 (0.09)	0.12 (0.08)

(para bisección Tipo I,  $t_{(40)} = 1.67$ ,  $p > 0.05$ ; para bisección Tipo II<sup>1</sup>,  $t_{(40)} = 0.05$ ,  $p > 0.05$ ), ni entre los umbrales diferenciales (para bisección Tipo I,  $t_{(40)} = 0.67$ ,  $p > 0.05$ ; para bisección Tipo II,  $t_{(40)} = 0.64$ ,  $p > 0.05$ ).

Para poner a prueba la propiedad escalar, se sobrepusieron las cuatro funciones psicométricas (véase la figura 8). En ambos tipos de bisección y ambos tipos de espaciamento, las duraciones de tiempo se dividieron tanto entre la duración más corta (panel izquierdo) como entre su correspondiente punto de bisección (panel derecho).



**Figura 8.** Promedio de la proporción de respuestas a la opción CORTO en función de la duración relativa del estímulo para las fases 1 y 2. *Panel izquierdo:* cada duración se dividió entre la duración más corta en cada bisección. *Panel derecho:* cada duración se dividió entre su correspondiente punto de bisección.

<sup>1</sup> Para corregir la heterocedasticidad en la distribución del punto de bisección en la bisección Tipo II, se aplicó una transformación logarítmica.

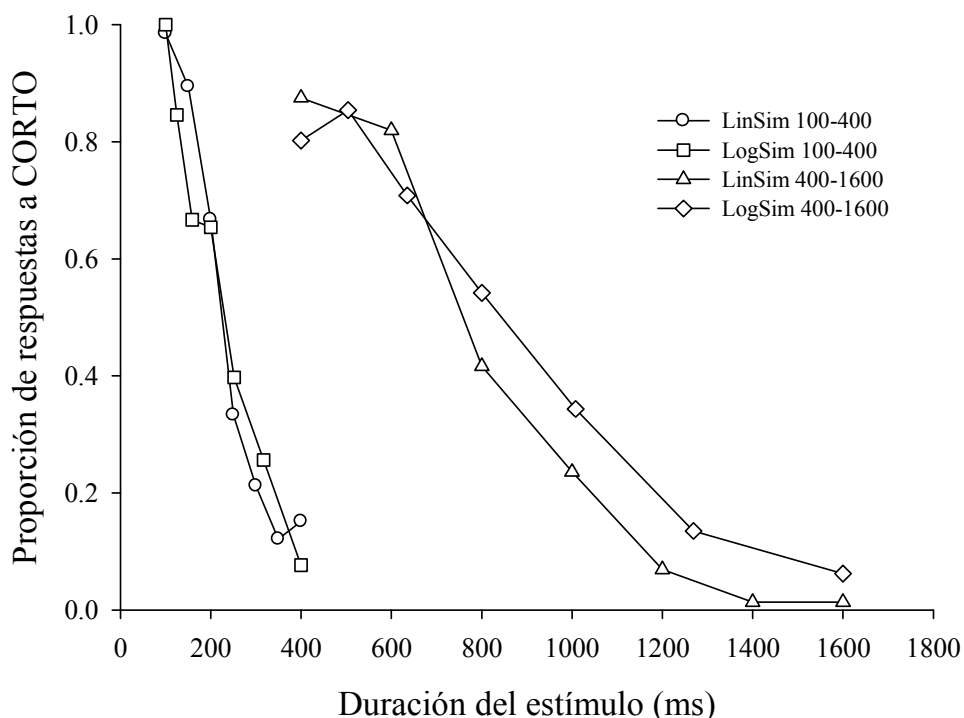


Como se muestra en la figura 8, las funciones psicométricas presentan buena sobreposición; y aunque la sobreposición no es perfecta con ningún método, ésta mejora cuando cada duración se divide entre su correspondiente punto de bisección.

Pero pese a ello, un Análisis de Varianza (ANOVA) mixto de dos factores sobre las razones de Weber, con el tipo de espaciamento como factor entre sujetos y el tipo de bisección como factor intrasujetos, no reveló efectos de espaciamento ( $F_{(1,40)} = 0.04, p > 0.05$ ), ni del tipo de bisección ( $F_{(1,40)} = 0.09, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,40)} = 0.37, p > 0.05$ ).

### 8.2. Bisección temporal simultánea

La figura 9 muestra el promedio de las proporciones de respuesta a la opción CORTO en función de las duraciones del estímulo por cada tipo de espaciamento y para bisección temporal Tipo I y Tipo II presentadas simultáneamente. Hay que recordar que la única diferencia entre las primeras tres fases experimentales es cómo se presentaron los tipos de bisección: en las fases 1 y 2, los dos tipos de bisección aparecieron por separado, y en la fase 3 se presentaron en un mismo bloque. Pero dado que las duraciones y la tarea son las mismas



**Figura 9.** Promedio de la proporción de respuestas a la opción CORTO en función de la duración del estímulo en las bisecciones Tipo I (100-400) y Tipo II (400-1600) presentadas simultáneamente para ambos tipos de espaciamento.

en todas las fases, no debería haber diferencia alguna ni entre las funciones psicométricas ni entre sus parámetros.

La forma de las funciones psicométricas de la figura 9 sugiere que la eficacia al discriminar duraciones decayó en la bisección simultánea en comparación con las bisecciones presentadas por separado. Esto puede verse al observar que 1) las funciones en bisección simultánea Tipo I no decaen hasta cero, y 2) las funciones de bisección simultánea Tipo II no decaen desde 1.0. Para evaluar si existen diferencias entre las funciones psicométricas según el tipo de espaciamento y entre las fases 1 y 3 (bisección Tipo I por separado y simultánea, respectivamente), se compararon los puntos de bisección, umbrales diferenciales y razones de Weber (véase la Tabla 2). Dado que no todos los participantes ejecutaron la bisección simultánea consistentemente, se analizaron datos de solamente 24 participantes. En un ANOVA mixto de dos factores sobre los puntos de bisección, con el tipo de espaciamento como factor entre sujetos y la fase como factor intrasujetos, no se encontraron efectos del espaciamento ( $F_{(1,22)} = 0.24, p > 0.05$ ), ni de la fase ( $F_{(1,22)} = 1.69, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,22)} = 1.08, p > 0.05$ ).

Para comparar la sensibilidad de los participantes a las duraciones de tiempo entre fases, se realizó un ANOVA mixto de dos factores sobre los umbrales diferenciales, con el tipo de espaciamento como factor entre sujetos y la fase como factor intrasujetos, el cual reveló un efecto significativo de la fase ( $F_{(1,22)} = 8.52, p < 0.05$ ), pero no del espaciamento ( $F_{(1,22)} = 0.85, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,22)} = 1.41, p > 0.05$ ).

**Tabla 2.** Promedio (y desviación estándar) de los puntos de bisección (en ms), umbrales diferenciales y razones de Weber por tipo de espaciamento en bisección Tipo I por separado y simultánea.

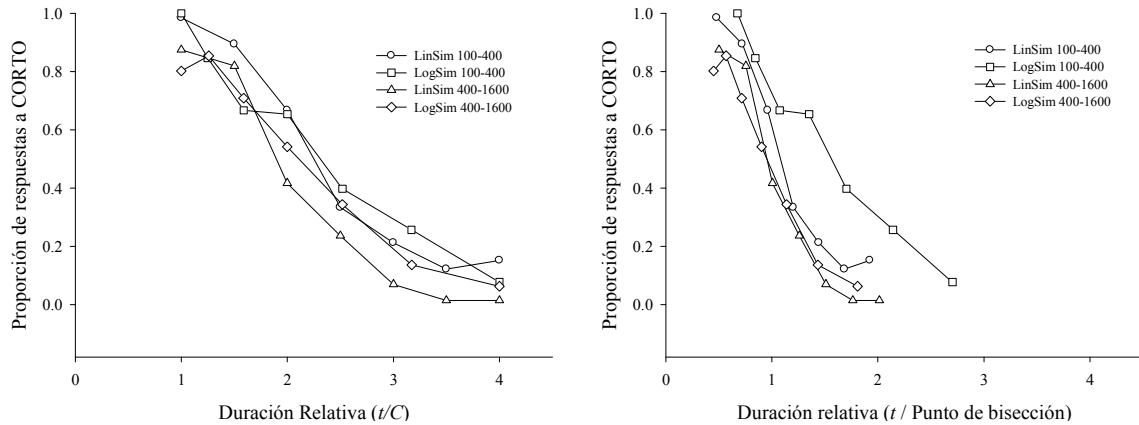
Parámetros	Tipo de Bisección	Tipo de Espaciamento	
		LIN	LOG
Punto de bisección	Tipo I	217.81 (43.44)	198.44 (45.72)
	Tipo I (Sim)	219.49 (38.92)	220.82 (67.72)
Umbral diferencial	Tipo I	25.51 (12.31)	21.94 (16.14)
	Tipo I (Sim)	42.06 (23.65)	62.76 (57.46)
Razón de Weber	Tipo I	0.12 (0.07)	0.13 (0.11)
	Tipo I (Sim)	0.20 (0.11)	0.26 (0.18)

Además, se realizó otro ANOVA mixto de dos factores, con los mismos predictores, sobre las razones de Weber, el cual reveló un efecto de la fase ( $F_{(1,22)} = 8.897, p < 0.05$ ), pero no del tipo de espaciamento ( $F_{(1,22)} = 0.12, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,22)} = 0.09, p > 0.05$ ).

Se hicieron los mismos análisis sobre las funciones psicométricas según el tipo de espaciamento y entre las fases 2 y 3 (bisección Tipo II por separado y simultánea, respectivamente; véase la tabla 3). Una vez más, dado que no todos los participantes ejecutaron la bisección simultánea consistentemente, se analizaron datos de solamente 28 participantes. En un ANOVA mixto de dos factores realizado sobre los puntos de bisección, con el tipo de espaciamento como factor entre sujetos y la fase como factor intrasujetos, no se encontraron efectos de la fase ( $F_{(1,26)} = 0.02, p > 0.05$ ), ni del tipo de espaciamento ( $F_{(1,26)} = 0.38, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,26)} = 0.74, p > 0.05$ ). En un ANOVA mixto de dos factores similar hecho sobre los umbrales diferenciales tampoco se encontraron efectos de la fase ( $F_{(1,26)} = 0.08, p > 0.05$ ), ni del tipo de espaciamento ( $F_{(1,26)} = 0.83, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,26)} = 1.77, p > 0.05$ ). Finalmente, en otro ANOVA mixto de dos factores hecho sobre las razones de Weber tampoco se encontraron efectos de la fase ( $F_{(1,26)} = 0.001, p > 0.05$ ), ni del tipo de espaciamento ( $F_{(1,26)} = 0.34, p > 0.05$ ), ni un efecto de interacción ( $F_{(1,26)} = 1.27, p > 0.05$ ).

**Tabla 3.** Promedio (y desviación estándar) de los puntos de bisección (en ms), umbrales diferenciales y razones de Weber por tipo de espaciamento en bisección Tipo II por separado y simultánea.

Parámetros	Tipo de Bisección	Tipo de Espaciamento	
		LIN	LOG
Punto de bisección	Tipo II	834.84 (186.65)	843.50 (118.03)
	Tipo II (Sim)	804.45 (203.69)	875.11 (242.75)
Umbral diferencial	Tipo II	107.57 (53.39)	96.20 (55.05)
	Tipo II (Sim)	81.42 (76.13)	126.18 (95.54)
Razón de Weber	Tipo II	0.14 (0.08)	0.12 (0.08)
	Tipo II (Sim)	0.10 (0.10)	0.15 (0.11)



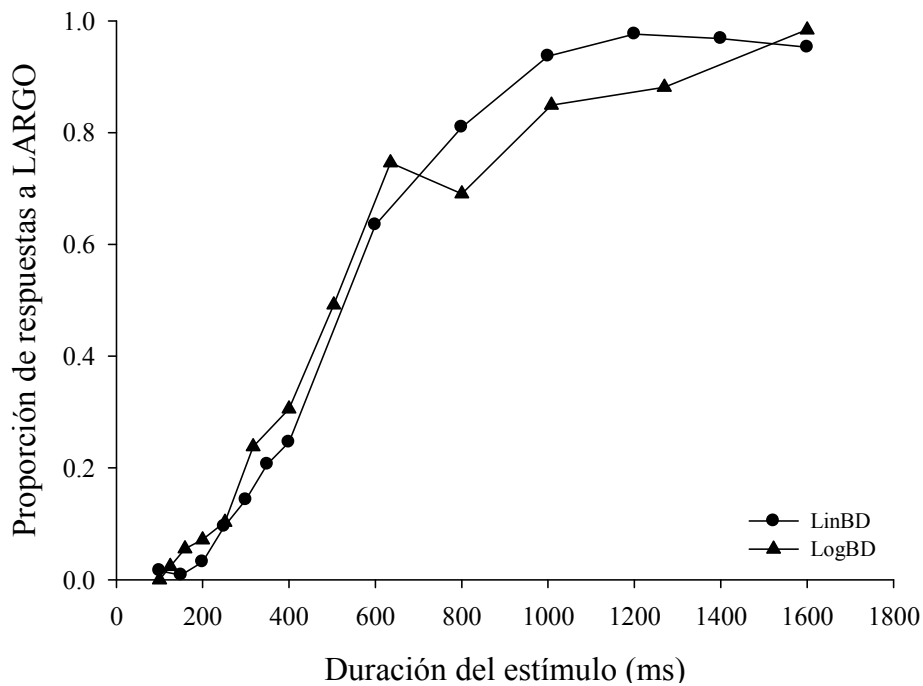
**Figura 10.** Promedio de la proporción de respuestas a la opción CORTO en función de la duración relativa del estímulo para la fase de bisección simultánea. *Panel izquierdo:* cada duración se dividió entre la duración más corta en cada bisección. *Panel derecho:* cada duración se dividió entre su correspondiente punto de bisección.

Para poner a prueba la propiedad escalar, se superpusieron las cuatro funciones psicométricas de la figura 9 (véase la figura 10). Se usaron los mismos métodos de superposición usados en la figura 8. Como se puede apreciar, la superposición no es perfecta y, además, la ubicación de cada función psicométrica sugiere que las bisecciones Tipo I generaron más respuestas a CORTO que las bisecciones Tipo II; esto es así siendo que las funciones de bisección Tipo I se encuentran por encima de aquéllas de la bisección Tipo II, independientemente del método de superposición empleado.

### 8.3. Bisección temporal dual

La figura 11 muestra el promedio de las proporciones de respuesta a la opción LARGO en función de las duraciones del estímulo por cada tipo de espaciamento en la fase de bisección dual. Las dos funciones psicométricas aumentan desde 0 hasta 1 en forma de S, y de manera muy similar. Se calcularon también puntos de bisección, umbrales diferenciales y razones de Weber por grupo (véase la tabla 4). Cuando se analizaron estos parámetros, no hubo diferencias por tipo de espaciamento en ninguno de ellos (para el punto de bisección<sup>2</sup>,  $t_{(39)} = -0.02$ ,  $p > 0.05$ ; para el umbral diferencial,  $t_{(40)} = 0.41$ ,  $p > 0.05$ ; para la razón de Weber,  $t_{(40)} = 1.09$ ,  $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup> Para corregir un sesgo en el promedio del punto de bisección en el grupo LOG, se excluyeron los datos de un participante del grupo LOG dado que constituían un *outlier*.

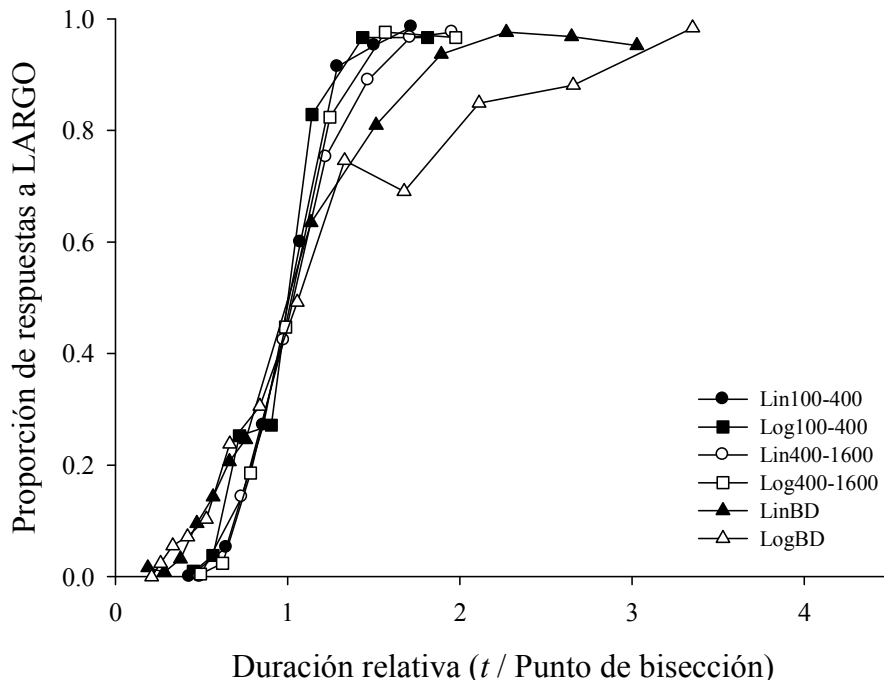


**Figura 11.** Promedio de la proporción de respuestas a la opción LARGO en función de la duración del estímulo para la fase de bisección dual en ambos tipos de espaciamento.

Además, para poner a prueba la propiedad escalar, se superpusieron las funciones psicométricas de las bisecciones Tipo I y Tipo II presentadas por separado (fases 1 y 2), y de la bisección dual (fase 4; véase la figura 12). Para ello, todas las duraciones de tiempo se dividieron entre su correspondiente punto de bisección. Como puede verse, casi todas las funciones psicométricas se sobrepone, a excepción aquéllas de la fase de bisección dual, las cuales tienen una pendiente menos inclinada con respecto a las demás.

**Tabla 4.** Promedio (y desviación estándar) de los puntos de bisección (en ms), umbrales diferenciales y razones de Weber por tipo de espaciamento en la fase de bisección dual.

Parámetros	Tipo de Espaciamento	
	LIN	LOG
Punto de bisección	533.77 (137.45)	535.14 (248.47)
Umbral diferencial	117.99 (120.13)	102.21 (132.17)
Razón de Weber	0.20 (0.14)	0.16 (0.11)



**Figura 12.** Promedio de la proporción de respuestas a la opción LARGO en función de la duración relativa del estímulo para bisección Tipo I (100-400) y Tipo II (400-1600) por separado, y para bisección dual (BD) en ambos tipos de espaciamento.

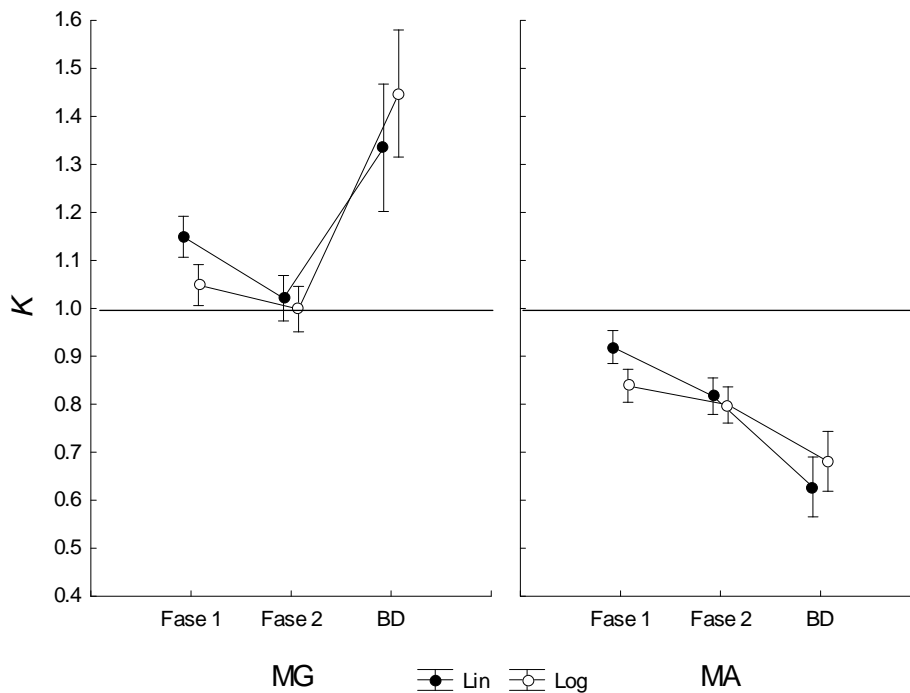
Al comparar las razones de Weber de estas fases (véase la Tabla 5) por medio de un ANOVA mixto de dos factores, se encontró un efecto significativo de la fase ( $F_{(2,80)} = 4.13, p < 0.05$ ), y comparaciones planeadas revelaron que la razón de Weber es mayor en bisección dual que en las otras dos fases ( $F_{(1,40)} = 6.27, p < 0.05$ ). No se encontraron efectos de tipo de espaciamento ( $F_{(1,40)} = 0.55, p > 0.05$ ) ni un efecto de interacción ( $F_{(2,80)} = 0.71, p > 0.05$ ).

**Tabla 5.** Promedio (y desviación estándar) de las razones de Weber por tipo de espaciamento en bisección Tipo I y Tipo II por separado, y bisección dual.

Parámetros	Tipo de Espaciamento	
	Lin	Log
Weber 100-400	0.12 (0.07)	0.13 (0.13)
Weber 400-1600	0.13 (0.09)	0.12 (0.08)
Weber Dual	0.20 (0.14)	0.16 (0.11)

#### 8.4. Ubicación de los puntos de bisección

Finalmente, al analizar los puntos de bisección obtenidos, éstos tienden a ubicarse cerca de la media geométrica (MG) de las duraciones de referencia en todas la fases. Como hicieron Wearden & Ferrara (1996), una manera de probar esta tendencia es dividir los puntos de bisección entre el valor de MG (proporción denominada  $K_{MG}$ ), y así expresar los puntos de bisección como una fracción de MG. Si el punto de bisección es igual a MG, entonces  $K_{MG} = 1$ , valores mayores a 1.0 indican que el punto de bisección está por encima de MG y valores menores a 1.0 que está por debajo de MG. Y lo mismo puede hacerse para la media aritmética (MA; proporción denominada  $K_{MA}$ ). La figura 13 muestra los promedios de las proporciones  $K$  y sus errores estándar para las fases 1, 2 y bisección dual (BD) por tipo de espaciamiento. La línea horizontal muestra el valor de  $K$  en el cual el punto de bisección es igual a la media geométrica (panel izquierdo) o a la media aritmética (panel derecho). Como se puede observar,  $K_{MG} > K_{MA}$ , lo cual sugiere que los puntos de bisección se ubican entre MG y MA.



**Figure 13.** Promedio de las proporciones  $K$  por tipo de espaciamiento en función de las fases experimentales. Las barras verticales denotan los errores estándar de las medias. La línea horizontal muestra el valor de  $K$  en el cual el punto de bisección es igual a MG ( $K_{MG}$ , panel izquierdo) o a MA ( $K_{MA}$ , panel derecho). (*Fase 1* = Bisección Tipo I (100-400); *Fase 2* = Bisección Tipo II (400-1600); *BD* = Bisección dual) Véase el texto para mayores detalles.)

Para poder computar y comparar qué proporción  $K$  es la que mejor describe la ubicación de los puntos de bisección, se tomaron las desviaciones respecto de 1 de todas las proporciones  $K$  individuales, y el logaritmo de esas desviaciones se analizó en un ANOVA mixto de tres factores, con el tipo de espaciamento como factor entre sujetos, y la media y la fase como factores intrasujetos. El análisis reveló únicamente un efecto de interacción significativo entre fase y media ( $F_{(1.59, 63.78)} = 26.28, p < 0.05$ )<sup>3</sup>, y una prueba *post hoc* de Scheffé mostró que la desviación de 1 de  $K_{MA}$  en la fase de bisección dual es mayor respecto a las otras dos  $K$  en la fase 2 y a  $K_{MA}$  en la fase 1; mostró también que  $K_{MA}$  en la fase 1 se desvía más de 1 respecto a  $K_{MG}$  en la fase 1; finalmente,  $K_{MG}$  en la fase BD se desvía más de 1 respecto a  $K_{MA}$  en la fase 1. (Hágase notar que, independientemente de esto, no hay una descripción clara de la ubicación de los puntos de bisección.)

---

<sup>3</sup> Dado que el supuesto de esfericidad no se cumplió, se aplicó la corrección de Geisser & Greenhouse.



## Capítulo 9

# Discusión y conclusiones

### *9.1. Resultados generales en bisección temporal en humanos*

En este experimento se analizó la ejecución de los humanos en el procedimiento de bisección dual. Uno de los primeros resultados es que no hubo efecto de espaciamiento en ninguna fase del experimento. A pesar de que otros estudios han mostrado que un espaciamiento logarítmico desplaza la función psicométrica a la izquierda respecto a un espaciamiento lineal (Allan, 2002b; Wearden & Ferrara, 1995, 1996; véase Penney, Allan, Meck & Gibbon, 1998, para un análisis teórico), los resultados de este experimento no mostraron este efecto, aún cuando se emplearon razones *LARGO/CORTO* grandes (4:1). Aunque Penney, Allan, Meck & Gibbon (1998) propusieron que las duraciones de tiempo espaciadas logarítmicamente se representan en memoria como más similares a la duración más corta presentada, los resultados obtenidos no sugieren que éste sea el caso: sugieren más bien que las duraciones de ambos tipos de espaciamiento se representaron en memoria de la misma forma. Más aún, considérese la fase de bisección dual: dado que la duración más corta fue de 100 ms y la más larga fue de 1600 ms, la razón *LARGO/CORTO* fue de 16:1; pero ni siquiera con una razón tan grande fue posible observar un efecto de espaciamiento.

Ahora bien, la ubicación del punto de bisección es inexacta. No obstante el análisis de las proporciones  $K$  sugiere que los promedios de los puntos de bisección se aproximan a la media geométrica de las duraciones de referencia (y dado que los puntos de bisección en bisección simultánea no son estadísticamente diferentes de aquéllos en las bisecciones por separado, también se puede decir lo mismo sobre la fase de bisección simultánea). Sin embargo el efecto de rango, que dice que conforme aumenta el rango *LARGO-CORTO* más se acerca el punto de bisección a MA (Wearden, & Ferrara, 1996), no se encontró en este experimento; y esto es así debido a que hubo mucha variabilidad en los promedios de los puntos de bisección. Allan (2002a) y Allan & Gerhardt (2001) encontraron resultados similares: no hubo consistencia en la ubicación del punto de bisección; más bien, su variabilidad lo ubicó en un punto entre MG y MA. Más aún, Grondin, Gamache, Roussel, Pouliot & Plourde (2005) encontraron que la desviación estándar de los puntos de bisección promedio aumenta cuando se usan más duraciones de referencia en un solo bloque. Por lo

tanto, hay que considerar que todos estos resultados, junto con los obtenidos en este experimento, fueron obtenidos con procedimientos complejos, de modo tal que la complejidad de la tarea disminuye la capacidad de discriminar de los participantes al tener que completar todo el experimento en una sola sesión.

Además, cuando se comparan las funciones psicométricas de las fases de bisección por separado con la de bisección simultánea, se observa que la discriminación disminuye cuando las dos bisecciones se presentan de forma simultánea. Hay tres hallazgos en este experimento que lo confirman: 1) la función psicométrica de bisección Tipo I (100-400) no decae hasta cero cuando esta bisección se presentó de forma simultánea, pero sí al ser presentada por separado; 2) la función psicométrica de bisección Tipo II (400-1600) no decae desde 1 cuando esta bisección se presentó simultáneamente, pero sí al ser presentada por separado; y 3) el umbral diferencial y la razón de Weber fueron más grandes en bisección Tipo I (100-400) cuando se presentó simultáneamente respecto a cuando se presentó por separado, de modo que el cambio en las duraciones tenía que ser mayor para que los participantes lo detectaran. Una vez más, estos resultados concuerdan con los hallados por Grondin, Gamache, Roussel, Pouliot & Plourde (2005). (En el siguiente apartado se presentará y discutirá un argumento sobre estos hallazgos.)

## *9.2. Bisección simultánea*

Estudios previos de bisección dual (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Maia & Machado, 2009; Oliveira & Machado, 2008, 2009) han encontrado que las funciones psicométricas de las bisecciones de tiempo de rangos diferentes no se sobreponen cuando se grafican duraciones relativas (obtenidas al dividir cada duración entre la duración más corta); sino que las funciones con los valores  $C$  y  $L$  más grandes tienen una pendiente más pronunciada. Sin embargo, se desconoce si los animales se comportaron así desde el entrenamiento o no debido a que no se han reportado análisis de las bisecciones presentadas por separado. En este experimento, los análisis de las bisecciones presentadas por separado (fases 1 y 2) muestran algunos de los resultados usuales en bisección temporal en humanos (Allan, 1998, 2002a, 2002b; Allan & Gerhardt, 2001; Allan & Gibbon, 1991; Ortega & López, 2008; Wearden, 1991; Wearden, & Bray, 2001; Wearden, & Ferrara, 1995, 1996): 1) la función psicométrica tiene forma de S (véase la figura 7), aunque se presenta de forma decreciente para poder comparar estos resultados con los anteriormente reportados en bisección dual, 2) hay

sobreposición de todas las funciones psicométricas (véase la figura 8), y mejora cuando cada duración se divide entre su punto de bisección (aunque para poder comparar con los reportes previos, también se dividió cada duración entre la más corta de cada rango, lo cual no muestra una sobreposición tan buena); y 3) constancia de la razón de Weber, lo cual indica que las pendientes de las funciones psicométricas son las mismas y, *ergo*, la sensibilidad al tiempo es constante.

Cuando se considera la bisección simultánea, no se encontraron en este experimento los resultados de estudios previos: contrario a las predicciones de LeT (Machado, 1997; Machado & Keen, 1999), las funciones psicométricas de bisección Tipo I tienen menor pendiente cuando se presentó en un mismo bloque junto con bisección Tipo II (fase 3) respecto a cuando se presentó por separado, y el incremento de su razón de Weber es prueba de ello. De modo que los resultados de este experimento no presentan variabilidad escalar. Además, las funciones psicométricas con las menores duraciones de tiempo (bisección Tipo I) están ligeramente por encima de aquéllas con las duraciones más grandes (bisección Tipo II; véase la figura 10), tal y como encontraron previamente Grondin (2005) y Grondin, Gamache, Roussel, Pouliot & Plourde (2005). Se ha encontrado este efecto aún cuando se presentan diferentes duraciones de referencia entre varias sesiones pero no en una misma sesión (Allan, 2002a). Estos estudios previos y los resultados de este experimento indican que, en general, todas las duraciones de bisección Tipo I fueron percibidas como más cortas respecto a aquéllas de bisección Tipo II y viceversa, todas las duraciones de bisección Tipo II fueron percibidas como más largas respecto a aquéllas de bisección Tipo I.

Puede hallarse una explicación en un experimento de Grondin (2005), quien empleó un método de partición en el que se presentaron dos duraciones de referencia al mismo tiempo, y encontró que las funciones psicométricas no se sobrepusieron, resultado que es igual al hallado en la fase de bisección simultánea de este experimento. Según Grondin, esta presentación simultánea sobrecargó la memoria temporal para ambos referentes y sus duraciones de generalización, lo cual derivó en otra ilustración de la ley de contraste aplicada al tiempo (Fraisse, 1957; citado en Grondin, 2005), es decir, la tendencia a percibir un intervalo como más corto si se presentó uno largo en el ensayo anterior, o a percibirlo como más largo si se presentó una duración corta inmediatamente antes. Dado que la presentación de todas las duraciones fue aleatoria, los resultados de este experimento dan sustento a esta instancia de la ley de contraste. Además, la ley de contraste puede explicar la variabilidad entre sujetos en el valor de los puntos de bisección en todas las fases del experimento y los incrementos en el umbral diferencial y la razón de Weber en bisección simultánea Tipo I:

dado que la percepción de la duración temporal en curso se sesga debido a la duración presentada inmediatamente antes, se necesitaba que el cambio en las duraciones fuera mayor para que los participantes lo detectaran como cambio.

### 9.3. Bisección dual

El resultado crucial en los experimentos de bisección dual es la función psicométrica resultante cuando aparecen dos opciones de respuesta asociadas con la misma duración absoluta (es decir, cuando  $L_1 = C_2$ ; véase la figura 6). Según Machado (Arantes & Machado, 2008; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Oliveira & Machado, 2008), SET predice indiferencia a cualquier duración del estímulo, mientras que LeT predice una función monótonicamente creciente conforme aumenta la duración del estímulo. Todos los experimentos previos (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Maia & Machado, 2009; Oliveira & Machado, 2008, 2009) han encontrado que se cumplen las predicciones de LeT. En este experimento se han encontrado resultados similares: la proporción de respuestas a la opción LARGO aumenta en función de la duración del estímulo (véase la figura 11). Hágase notar que la fase de bisección dual es similar al método de partición (Wearden, & Ferrara 1995, 1996) con una razón *LARGO/CORTO* igual a 16:1, es decir, se tuvo que clasificar la duración del estímulo sin referentes especificados, pero aún así la discriminación se dio (Allan, 1998).

La interpretación, por otra parte, no necesariamente tiene que ser la misma que LeT ofrece: LeT asume que la respuesta en el tiempo  $t$  durante una tarea de estimación temporal depende del estado conductual asociado con reforzamiento cuando éste ocurre (Machado, 1997; Machado, Malheiro, & Erlhagen, 2009). El problema en este experimento es que no es posible asumir estados conductuales porque, primero, se necesitan alrededor de 120 ms desde que aparece un estímulo para que se enfoque la atención hacia él (Tse, Intriligator, Rivest & Cavanagh, 2004); y segundo, aunque el tiempo de reacción más corto hasta ahora reportado es de 87.7 ms, en general toma cerca de 150 ms ejecutar la primera respuesta motora (véase Valls-Solé, Solé, Valldeoriola, Muñoz, Gonzalez & Tolosa, 1995). Dado que algunas de las duraciones de tiempo presentadas en este experimento fueron menores a 120 ms, ése no es el tiempo mínimo necesario para observar alguna conducta, por no mencionar toda una serie de estados conductuales.

Se puede hallar una explicación alterna en un argumento que Church & Deluty (1977, pp. 226) sugirieron: ¿qué tal que los participantes simplemente están generalizando una

respuesta previamente aprendida, en vez de asociar un estado (ya sea interno o conductual) a una respuesta? Si éste es el caso, y si por tanto los participantes juzgan y responden a las duraciones de los estímulos de forma relativa, entonces se esperaría que una tarea que es similar a otras previamente ejecutadas favoreciera la aplicación de la misma regla de respuesta. De modo que el patrón observado de los datos en este experimento, junto con los de todos los resultados previos en el procedimiento de bisección dual, son una instancia de *transposición* (Lazareva, Miner, Wasserman & Young, 2008). De hecho, dado que Machado, Malheiro, & Erlhagen (2009) aplicaron con éxito el modelo híbrido de LeT a generalización temporal, LeT híbrido brinda el modelamiento matemático apropiado de los gradientes de generalización necesarios para predecir transposición, algo que no se había podido lograr en la investigación previa (véase Lazareva, Wasserman, & Young, 2005).

Una segunda explicación alterna se halla en el trabajo de Jozefowicz, Staddon & Cerutti (2009): la respuesta de los participantes en una tarea de bisección dual depende de dos cosas: una representación variable  $x_i$  del tiempo, con una distribución Gaussiana centrada en el logaritmo natural del tiempo real  $t_i$ , y una función de valor por cada respuesta  $b_i$  que se pueda emitir en cualquier valor que  $x_i$  pueda tomar, de modo que la regla de respuesta es igual a la suma de los productos entre la probabilidad de emitir una respuesta  $b_i$  cuando el tiempo subjetivo es  $x_i$ , y la probabilidad de que  $x_i$  sea igual al tiempo real  $t_i$ . En este modelo de economía conductual de la estimación temporal (BEM por sus siglas en inglés), dado que ambas opciones de respuesta tienen un valor esperado asociado a cada tiempo subjetivo  $x_i$ , entonces no tiene sentido responder cuando  $x_i$  está asociado a valores esperados bajos, y se esperaría que la tasa de respuesta aumentara cuando  $x_i$  esté asociado a valores esperados altos. Por tanto, debido a que la opción de respuesta a LARGO tiene un valor esperado bajo para duraciones de tiempo cortas, la tasa de respuesta no debería ser alta, pero debería aumentar conforme las duraciones de tiempo se hacen más largas. Esto es lo que Jozefowicz, Staddon & Cerutti encontraron cuando aplicaron su modelo a los datos de Machado & Pata (2005), y esto es exactamente lo que se encontró en este experimento. Sin embargo, como BEM asume que el valor esperado de cada respuesta  $b_i$  influye en el comportamiento controlado por el tiempo, entonces cambios en ese valor esperado (ya sea la probabilidad de ocurrencia o el valor del reforzador) debería acarrear cambios en la ejecución de una tarea de estimación temporal, por lo cual se necesitan estudios de detección de señales para poner a prueba este potencial efecto sobre la estimación de tiempo.

Finalmente, y contradiciendo estudios previos (Allan, 1998, 2002b; Penney, Allan, Meck & Gibbon, 1998; Wearden, & Ferrara 1995, 1996), tampoco se encontró el efecto de

espaciamiento en la fase de bisección dual: aún cuando la razón *LARGO/CORTO* fue grande, las funciones psicométricas con espaciamiento lineal y logarítmico son muy similares entre sí; de hecho, casi se sobreponen. Los análisis hechos sobre los puntos de bisección, los umbrales diferenciales y las razones de Weber no revelaron diferencia alguna entre ambos tipos de espaciamiento. Una vez más, esto sugiere que todas las duraciones de tiempo se representaron de manera similar.

Además, aunque SET predice que todas las funciones psicométricas se sobreponen cuando cada duración se divide entre su correspondiente punto de bisección, (Allan, 1998, 2002b; Allan & Gerhardt, 2001; Penney, Allan, Meck & Gibbon, 1998), las funciones de la fase de bisección dual tienen una pendiente menor respecto a las funciones de ambas bisecciones simple presentadas por separado (véase la figura 12). El incremento en la razón de Weber de las funciones de bisección dual es evidencia de esta pendiente menor, de tal forma que los resultados de este experimento constituyen una violación a la ley de Weber. Existen estudios previos que evidencian que la ley de Weber no siempre se cumple (para una discusión al respecto, véase Allan, 1998; y Wearden & Lejeune, 2008); sin embargo, no es claro en qué sentido se viola: Allan (1998) y Wearden & Lejeune (2008) han sugerido que la pendiente de la función psicométrica disminuye conforme la razón *LARGO/CORTO* aumenta, lo que implica que la razón de Weber aumenta conforme aumentan los valores de las duraciones de referencia; y esto fue lo que Lavoie & Grondin (2004) encontraron. Pero la forma generalizada de la ley de Weber sugiere que la razón de Weber debería aumentar conforme los valores de las duraciones de referencia *disminuyen*; eso es lo que sucede en los sistemas sensoriales (Gescheider, 1997), y eso es justamente lo que Fetterman & Killeen (1992) y Grondin (1993) encontraron. Los resultados de este experimento concuerdan con los de Allan (1998), Wearden & Lejeune, y Lavoie & Grondin, lo cual implica que la sensibilidad de los humanos al tiempo disminuye conforme la razón *LARGO/CORTO* aumenta. Lavoie & Grondin han sugerido además que esta disminución en la sensibilidad al tiempo se debe a los límites en el procesamiento de información: bisección dual impone más información por procesar dentro de la misma ventana temporal porque integra duraciones de todas las bisecciones presentadas, pero después de haber completado tres bloques previos de ensayos, disminuye la habilidad de los participantes para procesar información del bloque de ensayos de la fase de bisección dual, y dado que ya se ha sobrecargado la memoria temporal (Grondin, 2005), todo esto lleva a que sea más complicado estimar el tiempo. Los resultados de este experimento apoyan esta hipótesis.

#### 9.4. En conclusión...

El procedimiento de bisección dual fue desarrollado por Machado & Keen (1999) para contrastar los modelos SET y LeT de estimación temporal en animales. Este experimento presenta resultados de investigación con humanos que concuerdan con algunas de las predicciones matemáticas de LeT, y presenta análisis adicionales para verificar cómo los humanos llegan a la fase experimental crítica. Y aunque no todas las predicciones del modelo original de LeT se cumplen, LeT híbrido sí se ajusta al resto de los resultados presentados en este experimento.

Pero aunque los resultados de este experimento concuerdan con las predicciones de LeT, difícilmente se puede asumir que los supuestos subyacentes de LeT puedan aplicarse a los datos en humanos debido a que los datos en humanos se obtienen en una escala temporal muy corta, y observar series de estados conductuales en escalas de tiempo tan cortas como las empleadas en la investigación con humanos es sumamente complicado.

Por tanto, se han propuesto explicaciones alternas en este experimento (que asumen otros procesos subyacentes): 1) los humanos aplican la misma regla de respuesta cuando se enfrentan a una misma tarea pero con valores diferentes (transposición); 2) los humanos se desempeñan de acuerdo al valor esperado que cada respuesta  $b_i$  tiene en cualquier tiempo subjetivo  $x_i$  dadas las contingencias de reforzamiento, respondiendo más a tiempos asociados con altos valores esperados. De modo que, por una parte, los resultados de este experimento ponen en duda la generalidad de los supuestos del modelo LeT, aún cuando se cumplen sus predicciones cuantitativas. Pero hay que tomar en cuenta su potencial para aplicarlo a otros fenómenos como transposición: Aprendizaje de Tiempo puede proporcionar los supuestos teóricos necesarios para generar un gradiente de generalización que prediga transposición, pero hace falta que se realice. Por otra parte, si los humanos están asignando valores esperados de acuerdo al tiempo, entonces es necesario demostrar que cambios en esos valores esperados producen cambios en el desempeño en una tarea de estimación temporal; de otra forma, no se puede aplicar este supuesto.

## Referencias

- Allan, L. G. (1998). The influence of scalar timing model on human timing research. *Behavioral Processes*. 44 (2). 101-117.
- Allan, L. G. (2002a). Are the referents remembered in temporal bisection?. *Learning and Motivation*. 33. 10-31.
- Allan, L. G. (2002b). The location and interpretation of the bisection point. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 55 B (1). 43-60.
- Allan, L. G. & Gerhardt, K. (2001). Temporal bisection with trial referents. *Perception & Psychophysics*. 63 (3). 524-540.
- Allan, L. G. & Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning and Motivation*. 22. 39-58.
- Arantes, J. (2008). Comparison of Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time (LeT) model in a successive temporal bisection task. *Behavioral Processes*. 78. 269-278.
- Arantes, J. & Machado, A. (2008). Context effects in a temporal discrimination task: further tests of the Scalar Expectancy Theory and Learning-to-Time models. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*. 90. 33-51.
- Chater, N. & Brown, G. D. A. (1999). Scale-invariance as a unifying psychological principle. *Cognition*. 69 (3). B17-B24.
- Church, R. M. (2002). Temporal learning. En H. Pashler & C. R. Gallistel (eds.). *Stevens' Handbook of Experimental Psychology, Volume III: Learning, Motivation and Emotion*. New York: John Wiley & Sons. 365-393.
- Church, R. M. & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*. 3 (3). 216-228.
- Church, R. M., Guilhardi, P., Keen, R., MacInnis, M. & Kirkpatrick, K. (2003). Simultaneous temporal processing. En H. Helfrich (Ed.). *Time and Mind II: Information Processing Perspectives*. Gottingen: Hogrefe & Huber Publishers. 3-19.
- Fetterman, J. G. & Killeen, P. R. (1992). Time discrimination in *Columba livia* and *Homo sapiens*. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*. 18 (1). 80-94.
- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics: The Fundamentals*. 3rd edition. Mahwan, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.



- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*. 84 (3). 279-325.
- Gibbon, J. (1981). On the form and location of the psychometric bisection function for time. *Journal of Mathematical Psychology*. 24. 58-87.
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing. *Learning and Motivation*. 22. 3-38.
- Gibbon, J. & Church, R. M. (1984). Sources of variance in an information processing theory of timing. En H. L. Roitblatt, T. G. Bever, & H. S. Terrace (Eds.). *Animal Cognition*. New Jersey: Erlbaum. 465-488.
- Gibbon, J. & Church, R. M. (1990). Representation of time. *Cognition*. 37. 23-54.
- Grondin, S. (1993). Duration discrimination of empty and filled intervals marked by auditory and visual signals. *Perception & Psychophysics*. 54 (3). 383-394.
- Grondin, S. (2005). Overloading temporal memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 31 (5). 869-879.
- Grondin, S., Gamache, P. L., Roussel, M. E., Pouliot, M. & Plourde, M. (2005). Mixing durations and sensory modes in temporal memory. In J. S. Monahan, S. M. Sheffert, & J. T. Townsend, (Eds.). *Fechner Day 2005: Proceedings of the Twenty-first Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. Mt. Pleasant, MI: The International Society for Psychophysics. 107-112.
- Jozefowicz, J., Staddon, J. E. R. & Cerutti, D. T. (2009). The behavioral economics of choice and interval timing. *Psychological Review*. 116 (3). 519-539.
- Killeen, P. R. & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review*. 95 (2). 274-295.
- Lavoie, P. & Grondin, S. (2004). Information processing limitations as revealed by temporal discrimination. *Brain and Cognition*. 54 (3). 198-200.
- Lazareva, O. F., Miner, M., Wasserman, E. A. & Young, M. E. (2008). Multiple-pair training enhances transposition in pigeons. *Learning & Behavior*. 36 (3). 174-187.
- Lazareva, O. F., Wasserman, E. A. & Young, M. E. (2005). Transposition in pigeons: Reassessing Spence (1937) with multiple discrimination training. *Learning & Behavior*. 33 (1). 22-46.
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological Review*. 104 (2). 241-265.
- Machado, A. & Arantes, J. (2006). Further tests of the Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time (LeT) model in a temporal bisection task. *Behavioral Processes*. 72. 195-206.

- Machado, A. & Keen, R. (1999). Learning to Time (LeT) or Scalar Expectancy Theory (SET)? A critical test of two models of timing. *Psychological Science*. 10 (3). 285-290.
- Machado, A., Malheiro, M. T. & Erlhagen, W. (2009). Learning to time: A perspective. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 92 (3). 423-458.
- Machado, A. & Pata, P. (2005). Testing the Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time model (LeT) in a double bisection task. *Learning & Behavior*. 33 (1). 111-122.
- Maia, S. & Machado, A. (2009). Representation of time intervals in a double bisection task: relative or absolute? *Behavioral Processes*. 81. 280-285.
- Malapani, C. & Fairhurst, S. (2002). Scalar timing in animals and humans. *Learning and Motivation*. 33. 156-176.
- Oliveira, L. & Machado, A. (2008). The effect of sample duration and cue on a double temporal discrimination. *Learning and Motivation*. 39. 71-94.
- Oliveira, L. & Machado, A. (2009). Context effect in a temporal bisection task with the choice keys available during the sample. *Behavioral Processes*. 81. 286-292.
- Ortega, L. & López, F. (2008). Effects of visual flicker on subjective time in a temporal bisection task. *Behavioral Processes*. 78. 380-386.
- Ortega, L., López, F. & Church, R. M. (2009). Modality and intermittency effects on time estimation. *Behavioral Processes*. 81. 270-273.
- Penney, T. B., Allan, L. G., Meck, W. H., & Gibbon, J. (1998). Memory mixing in duration bisection. En D. A. Rosenbaum & C. E. Collyer (Eds.). *Timing of behavior: Neural, psychological, and computational perspectives*. Cambridge MA: MIT Press. 165-193.
- Staddon, J. E. R. & Simmelhag, V. L. (1971). The superstition experiment: a reexamination of its implications for the principles of adaptive behavior. *Psychological Review*. 78 (1). 3-43.
- Tse, P. U., Intriligator, J., Rivest, J. & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics*. 66 (7). 1171-1189.
- Valls-Solé, J., Solé, A., Valldeoriola, F., Muñoz, E., Gonzalez, L. E. & Tolosa, E. S. (1995). Reaction time and acoustic startle in normal human subjects. *Neuroscience Letters*. 195 (2). 97-100.
- Wearden, J. H. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 43 B (1). 59-81.

- Wearden, J. H. & Bray, S. (2001). Scalar timing without reference memory? Episodic temporal generalization and bisection in humans. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 54 B (4). 289-309.
- Wearden, J. H. & Ferrara, A. (1995). Stimulus spacing effects in temporal bisection by humans. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 48 B (1). 289-310.
- Wearden, J. H. & Ferrara, A. (1996). Stimulus range effects in temporal bisection by humans. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 49 B (1). 24-44.
- Wearden, J. H. & Lejeune, H. (2008). Scalar properties in human timing: conformity and violations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 61 (4). 569-587.