



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DE LAS PREFERENCIAS INTERTEMPORALES EN PACIENTES CON  
DIABETES**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
DOCTORADO EN PSICOLOGÍA**

**PRESENTA:**

**RAMSÉS VÁZQUEZ LIRA**

**DIRECTOR:**

**DR. ÁLVARO FLORENCIO TORRES CHÁVEZ**  
**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**

**COMITÉ:**

**DR. ARTURO BOUZAS RIAÑO**  
**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**  
**DR. CARLOS FERNANDO APARICIO NARANJO**  
**PSYCHOLOGY DEPARTMENT, SALEM STATE UNIVERSITY**  
**DR. FLORENTE LÓPEZ RODRÍGUEZ**  
**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**  
**DR. OSCAR VLADIMIR ORDUÑA TRUJILLO**  
**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**

**Cd. Mx.**

**MAYO 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Dedicatorias**

A mi gran orgullo en la vida, mis padres Amelia y Juan; por darme la vida y colmarla de amor, cariño y apoyo incondicional; agradezco también sus valiosas enseñanzas y su incansable determinación para trascender en el universo, ya que ustedes han sido mis mejores maestros, como olvidar nuestras prolongadas y cautivadoras tertulias acompañadas por una buena copa de vino o taza de café...

A mi hermano Juan Carlos, por procurar mi bienestar, cariño y felicidad a lo largo de mi vida, además de sembrar en el corazón de un niño la inquietud y el gusto por la ciencia, además de ser desde siempre el orgullo profesional de mi vida. A Ana Victoria y Alejandra, porque han llenado de luz mi vida, gracias a ustedes conocí el amor incondicional y sepan bien que siempre estaré a su lado por el resto de la eternidad.

A mi amada esposa Daniela y toda la familia Arenas Meneses, mi compañera, camarada, confederada, equipo, brillo mío... así te pienso y concibo, llena de amor, emociones y esperanzas todas ellas mutuas, llena y grandiosa.

Eres mi todo, porque en ti me apoyo, en ti pienso, en ti confío y en ti veo mi presente y mi futuro. Concebirte así, es pensar que te pertenezco, que te entrego palabras de ilusión y hechos de felicidad. Y yo soy tu equipo, aquel que te da todo y sólo te quita tristezas, quien te apoya incondicionalmente para llevarte a mi mundo y a la vez entrar en el tuyo. Y equipo no es sólo una palabra, son promesas, son planes y son mil momentos de compartir.

Recuerda que hay una fuerza extremadamente poderosa para la que hasta ahora la ciencia no ha encontrado una explicación formal. Es una fuerza que incluye y gobierna a todas las otras, y que incluso está detrás de cualquier fenómeno que opera en el universo y aún no haya sido identificado por nosotros. Esta fuerza universal es el Amor. El Amor es Luz, dado que ilumina a quien lo da y lo recibe. El Amor es gravedad, porque hace que unas personas se sientan atraídas por otras. El Amor es potencia, porque multiplica lo mejor que tenemos, y permite que la humanidad no se extinga en su ciego egoísmo. El amor revela y desvela.

Por amor se vive y se muere. Ésta fuerza lo explica todo y da sentido en mayúsculas a la vida. Ésta es la variable que hemos obviado durante demasiado tiempo, tal vez porque el amor nos da miedo, ya que es la única energía del universo que el ser humano no ha aprendido a manejar a su antojo. Tras el fracaso de la humanidad en el uso y control de las otras fuerzas del universo, que se han vuelto contra nosotros, es urgente que nos alimentemos de otra clase de energía. Si queremos que nuestra especie sobreviva, si nos proponemos encontrar un sentido a la vida, si queremos salvar el mundo y cada ser sintiente que en él habita, el amor es la única y la última respuesta, equipo... brillo mío.

## Agradecimientos

A través de estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que con su soporte científico y humano han colaborado en la realización de este trabajo de investigación.

Muy especialmente a mi tutor y director de tesis el Dr. Álvaro Torres, durante la realización de mi proyecto, usted ha sido mi mano derecha y quien me ha guiado en el proceso. Es cierto, no ha sido nada fácil, ni mucho menos, sin embargo, gracias a su ayuda, esto ha parecido un tanto menos complicado. El resultado de este proyecto y las publicaciones ha sido espectacular, mejor de lo que esperaba y una gran parte del desarrollo de este trabajo se lo debo a usted, evidentemente no puedo dejar de lado su gran amistad que fue fundamental para sortear los momentos álgidos del proceso.

Al Dr. Florente López, por ser una parte fundamental en mi formación académica, docente y como ser humano, ha sido un placer trabajar con usted, ya que, al conocer su incansable búsqueda y transmisión del conocimiento, siempre será *EL* ejemplo de vida al conjuntar en todas las áreas un éxito absoluto.

Al Dr. Arturo Bouzas, gracias por otorgarme valiosas horas de su preciado tiempo las cuales contribuirán activamente en mi trabajo y en la vida diaria, es todo un orgullo personal poder trabajar con usted y saber que ha depositado su valiosa confianza en mí.

Al Dr. Carlos Aparicio, mi gratitud por su infinita paciencia y profesionalidad. Ha sido muy importante su presencia en este proyecto, por lo que tiene todo mi respeto y admiración como investigador y maestro.

Al Dr. Eduardo Backhoff, quien es un ejemplo de una combinación de saberes y disposiciones, de un modo singular de transmisión de conocimiento, gracias por tu confianza, pero sobre todo por el rigor, la inspiración y el ejemplo intelectual, la guía de vida y la comprensión en todas las esperas de la vida.

A todos mis amig@s, a los cuales va dirigido este trabajo y que por medio del entrelazamiento vectorial de atracción cuántico nos han permitido fluir a través de espacios *n-dimensionales*; sin ustedes, nada de mi realidad sería posible.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Nacional Autónoma de México.

Gracias  
R

## Índice

Resumen.....	6
Abstract.....	7
1. Introducción .....	8
1.1 Toma de decisiones .....	9
1.2 Autocontrol y toma de decisiones.....	11
1.3 Funcionamiento y operación de la glucosa en seres humanos.....	14
1.4 Elección y descuento temporal.....	17
1.5 Estimación temporal y bisección temporal .....	22
1.6 Modelos de descuento temporal y bisección temporal.....	24
1.7 Descuento temporal y bisección temporal bajo situaciones de estrés.....	30
2. Método.....	35
2.1 Experimento 1.....	35
2.1.1 Participantes.....	35
2.1.2 Protocolo experimental.....	35
2.1.3 Aparatos.....	36
2.1.4 Procedimiento.....	36
2.1.4.1 Tarea de descuento temporal.....	36
2.1.4.1.1 Análisis de datos.....	37
2.1.4.2 Tarea de bisección temporal.....	38
2.1.4.2.1 Análisis de datos.....	40
2.2 Experimento 2.....	42
2.2.1 Participantes.....	42
2.2.2 Protocolo experimental.....	43
2.2.3 Aparatos.....	43
2.2.4 Procedimiento.....	43
2.2.4.1 Tarea de descuento temporal.....	44
2.2.4.1.1 Análisis de datos.....	44
2.2.4.2 Tarea de bisección temporal.....	44
2.2.4.2.1 Análisis de datos.....	44

3. Resultados.....	46
3.1 Experimento 1 .....	46
3.1.1 Tarea de descuento temporal.....	46
3.1.2 Tarea de bisección temporal.....	48
3.2 Experimento 2 .....	52
3.2.1 Estadísticos descriptivos.....	52
3.2.2 Tarea de descuento temporal.....	53
3.2.3 Tarea de bisección temporal.....	55
3.3 Comparación de modelos mediante criterios de información y estimación de parámetros por máxima verosimilitud.....	59
3.3.1 Tarea de descuento temporal.....	60
3.3.2 Tarea de bisección temporal.....	62
4. Discusión.....	65
5. Conclusiones.....	75
6. Referencias .....	78
Anexo 1.....	101
Anexo 2.....	106

## Resumen

Varias líneas de investigación han establecido que existe un fuerte componente fisiológico y anatómico en la toma de decisiones y la estimación temporal, los cuales son procesos fundamentales para la adaptación del comportamiento a las regularidades del entorno. El presente estudio investigó en la primera fase, el efecto que diferentes niveles de cortisol en el torrente sanguíneo tienen en dos tareas temporales, una de descuento y otra de bisección, mediante la manipulación de variables atributivas en diferentes grupos: pacientes con diabetes, participantes fumadores y un grupo de participantes control. La segunda fase manipuló de manera causal el efecto que ejerce el cortisol, a tres grupos de participantes, a los cuales se les aplicó las dos tareas temporales antes mencionadas; a un grupo de participantes sanos se les indujo por vía farmacológica estrés experimental (ingestión de 20 mg de hidrocortisona), se compararon con un grupo de pacientes con diabetes y un grupo de participantes control. Los resultados del primer experimento apuntan hacia que las manipulaciones de las variables atributivas de los diferentes grupos establecieron un vínculo indirecto entre los niveles de cortisol y un incremento en la tasa de descuento temporal y una disminución del punto de bisección. Los resultados del experimento 2 convergen en el mismo sentido, pero ahora debido a la manipulación intencional de los niveles de cortisol en el grupo experimental y que son comparables a las condiciones que experimentan los pacientes con diabetes tipo 2. Se concluye que los niveles de cortisol ejercen un efecto en los participantes a los cuales se les indujo estrés experimental, pero que a su vez son comparables con los participantes fumadores y los pacientes con diabetes, aportando información novedosa en esta línea de investigación que vincula variables fisiológicas sobre el comportamiento de participantes sanos, fumadores y pacientes con diabetes.

## **Abstract**

Several lines of research have established that there is a strong physiological and anatomical component in decision-making and timing, which are fundamental processes for the optimal adaptation of behavior to the regularities of the environment. Therefore, the present study investigated in the first phase, the effect of different levels of cortisol in the bloodstream on two temporary tasks: discounting and bisection, by manipulating attributive variables in different groups: patients with type 2 diabetes, smokers and a control group. The second phase causally manipulated the effect of cortisol on three groups of participants, to whom the two aforementioned temporary tasks were applied. A group of healthy participants was experimentally stress induced by pharmacological way (intake of 20 mg of hydrocortisone), and was compared with a group of patients with type 2 diabetes and a control group. The results of the first experiment suggest that the manipulations of the attributive variables of the different groups established an indirect link between cortisol levels and an increase in the temporal discount rate and a decrease in the bisection point. The results of experiment 2 converge in the same direction, but now due to the intentional manipulation of cortisol levels in the experimental group and that can be compared to the conditions experienced by patients with type 2 diabetes. It is concluded that cortisol levels exert an effect in the participants to whom experimental stress was induced, but who in turn are comparable with smoking participants and patients with diabetes, providing novel information in this line of research that links variables physiological findings on the behavior of healthy participants, smokers and patients with diabetes.

## 1. Introducción

Desde hace algunos años el estudio del estrés ha tomado fuerza en el medio académico en múltiples disciplinas como la medicina, psicología, e incluso ha tenido cabida en la economía y políticas públicas de las naciones. El estrés hace parte de la vida cotidiana y se considera como una reacción normal y adaptativa del ser humano; sin embargo, en los últimos años el estrés ha pasado de ser una respuesta normal a ser objeto de investigaciones. Identificándose, con mayor frecuencia, cómo la presencia de estrés crónico puede causar diversas problemáticas para el individuo, en la medida que tiene un impacto directo y negativo en el funcionamiento y subsecuentemente en la calidad de vida de la persona (Wiener, 2011).

Según estadísticas de la Asociación Psicológica Americana (APA, 2012) el 69% de los empleados reportan tener un nivel significativo de estrés en sus trabajos. Así mismo el 41% de ellos manifiestan tensión durante toda la jornada laboral. La APA (2013) en un estudio realizado con 1226 personas mayores de 18 años encontró que los adultos perciben que sus niveles de estrés están en aumento. El 44% de los encuestados indicaron que, en los últimos 5 años, su nivel de estrés aumentó considerablemente, y solo el 27% reportó una reducción. Estos porcentajes se mantienen cuando se analiza el último año (2013) en donde el 39% asegura que se siente más estresado y tan solo el 17% considera que el estrés se ha reducido. Finalmente, el estudio señala que el 53% de las personas refiere haber tenido o tener alguna enfermedad producto de niveles elevados de estrés.

Thompson (2010) afirma que en Estados Unidos las compañías deben emplear más de 300 billones de dólares anuales en incapacidades, bajas de producción y gastos de seguridad social producto del estrés en sus empleados, y se estima que más de 200 millones de personas toman algún medicamento para el estrés. Estas cifras revelan que el estrés afecta a la población en general; y está relacionado con otros problemas de salud que causan muertes en América: síndrome metabólico, enfermedades del corazón, cáncer y enfermedades cerebro-vasculares (OPS, 2013).

Además, el estrés está asociado con respuestas agresivas, el síndrome de burnout, depresión, frustración y negativamente con la capacidad de adaptabilidad y/o afrontamiento, desempeño laboral, memoria y la toma de decisiones (Leka, Griffiths y Cox, 2004). La presente investigación tiene como propósito exponer el efecto que puede tener el estrés como factor condicional del proceso de toma de decisiones y la discriminación temporal, evaluados específicamente en las tareas de descuento temporal y bisección temporal, respectivamente. Adicionalmente, se pretende establecer mediante manipulaciones experimentales el efecto del estrés en seres humanos y su relación comportamental y fisiológica con una de las enfermedades metabólicas más importantes, la diabetes.

### **1.1 Toma de decisiones**

Se entiende por toma de decisiones (TD) al procesamiento de carácter cognitivo que realiza una persona cuando se encuentra en una situación en la que debe evaluar una o más características para establecer cuál de las alternativas es la que cumple con sus expectativas, metas y/o intereses, de las cuales se debe derivar un proceso reflexivo o una conducta a seguir (Wang, 2008). La TD es un proceso complejo en el que intervienen diferentes tipos de conexiones neuronales que actúan de manera interactiva, por lo que no se puede hablar de un proceso lineal del procesamiento de la información, sino de diferentes tipos de decisiones que conforman, a nivel neuronal, vías de respuesta las cuales no se han determinado plenamente (Pearson y Platt, 2012).

En general, diversos modelos animales de TD han relacionado la actividad del córtex prefrontal (CPF) y la porción posterior del lóbulo parietal, como zonas predominantemente involucradas en la modulación de la TD, y consistentemente en estudios con seres humanos se han relacionado las mismas áreas cerebrales con la TD (Gold y Shalden; 2007; Wang, 2008; Wang, 2012; Wang et al., 2007). En un escenario específico, al evaluar la TD por medio de neuroimágenes a partir de diferentes actividades como decisiones basadas en valor y tareas perceptuales en humanos y en primates por medio de estudios electrofisiológicos durante el desarrollo

de actividades de tareas guiadas por memoria, se encontró que la corteza orbitofrontal, así como los ganglios basales están asociados con el comportamiento de búsqueda de recompensa (Gold y Shallden 2007; Kawagoe, Takikawa y Hikosaka, 2004; Watanabe, Lauwereyns y Hikosaka, 2003). Otras investigaciones han concluido que algunas neuronas del córtex orbitofrontal y de la porción ventromedial del CPF son responsables de atribuir un valor independiente a cada alternativa y participan en la decisión y acción correspondientes a la TD (Hunt, Kolling, Soltani, Woolrich, Rushworth y Behrens, 2012; Padoa-Schioppa y Assad, 2006). Adicionalmente, la porción cingular anterior del CPF se ha relacionado con la evaluación negativa de una alternativa (Yeung y Sanfey, 2004).

En otros casos, por ejemplo, Hunt et al., (2012) establecieron por medio de una combinación entre imágenes obtenidas por magnetoencefalograma (MEG) que la ruta de la TD en tareas simples inicia en el córtex visual, pasa por el córtex frontotemporal y ventromedial. De allí la información es transmitida al área medial y lateral del córtex parietal, para finalmente concluir en la respuesta motora. La elección de una alternativa no sólo se relaciona con la información de la situación, sino a su vez con la historia de selecciones pasadas y las consecuencias (Barraclough, Conroy y Lee, 2004; Sugrue, Corrado y Newsome, 2005).

Además, Philiastides, Auksztelewicz, Heekeren y Blankenburg (2011) mostraron resultados en los que la integración de evidencia de los estímulos, es relevante al momento de tomar decisiones de tipo perceptual, determinando a partir de neuroimágenes la participación del CPF dorsolateral en este proceso. El estudio de la TD también se ha relacionado con diferentes variables como la personalidad y las decisiones grupales (Ahmed, Hasnain y Venkatesan, 2012; Muehfeld, Doorn y Witteloostuijin, 2011), manejo de la TD en grupos con dolor crónico (Fenwick, Chaboyer y St-John, 2012) o mujeres diagnosticadas con cáncer de seno (Swainston, Campbell, Wersch y Durning, 2012).

A nivel individual, diversos estudios han mostrado la forma en que las personas toman decisiones simples, como por ejemplo, desde reproducir o no una canción (Major, 2013) la elección de productos teniendo las mismas cualidades físicas (Lysonski y Durvasula, 2013; Zolfani, Rezaeiniya, Pourhossein y Zavadskas, 2012), la preferencia de hombres para elegir entre las mujeres o dinero (Jianmin, Yujiao y Qinglin, 2012) la relación entre el envejecimiento y la TD (Brand y Markowitsch, 2010) y finalmente la relación entre estrés y una pobre o disminuida TD (Van den Bos, Hartevelde y Stoop, 2009).

## **1.2 Autocontrol y toma de decisiones**

El autocontrol es la capacidad de inhibir o anular los impulsos y respuestas automáticas o habituales, por ende, es una forma consciente de autorregulación que requiere de mayor esfuerzo. Dicho constructo engloba el control o regulación de pensamientos, emociones, deseos y comportamientos, particularmente el que concierne a la parte social o de estándares personales como lo son las reglas morales, leyes, ideales, normas sociales, etcétera. Desde una perspectiva biológica, el autocontrol involucra actividad cerebral localizada principalmente en la corteza prefrontal y en la corteza cingulada anterior las cuales están íntimamente relacionadas con la TD (Banfield, Wyland, Macrae, Munte y Heatherton, 2004; Kandel, Schwartz, y Jessell, 2000).

Por lo tanto, el autocontrol es vital para el óptimo funcionamiento de los seres humanos y animales de manera individual y colectiva, un estudio pionero (MacLean et al., 2014) ofrece una explicación razonable, ya que, al comparar filogenéticamente a tres docenas de especies, se respalda la hipótesis de que el principal mecanismo próximo que subyace a la evolución del autocontrol es el aumento del volumen cerebral absoluto, sin descartar las presiones ecológicas que cada especie posee, las que pueden o no favorecer el uso del autocontrol. En el caso específico de los seres humanos, pueden cumplir con sus aspiraciones personales, resistiendo a comportarse de una manera no adaptativa o perjudicial y cumplir con reglas sociales o morales, leyes y otras restricciones de su entorno, en donde bajo ciertas circunstancias, les

permiten adaptarse a las regularidades y restricciones del medio mediante el uso del autocontrol. Por lo tanto, el autocontrol está ha evolucionado y se ha adaptado a diversos ámbitos de la vida, por ejemplo, puede resaltarse su presencia en la TD, el curso de relaciones interpersonales sanas, el desempeño escolar superior, en apropiadas estrategias de afrontamiento de problemas, así como también genera menor susceptibilidad a problemas en el abuso de sustancias prohibidas, desórdenes alimenticios e inclusive criminalidad (Duckworth y Seligman, 2005; Finkel y Campbell, 2001; Gailliot, Schmeichel y Baumeister, 2006; Gottfredson y Hirschi, 1990; Mischel, Shoda y Peake, 1988; Muraven, Collins y Nienhaus, 2002; Pratt y Cullen, 2000; Shoda, Mischel y Peake, 1990; Tangney, Baumeister y Boone, 2004).

El autocontrol es particularmente útil al facilitar la cooperación interpersonal y la armonía grupal, se ha propuesto como una hipótesis que el autocontrol ha evolucionado para este propósito (Baumeister, 2005). Por ejemplo, el autocontrol permite a los individuos suprimir estereotipos y prejuicios (Gordijn, et al., 2004; Richeson y Shelton, 2003; Richeson y Trawalter, 2005), abstenerse de responder negativa o violentamente con su pareja sentimental (Finkel y Campbell, 2001) e inclusive lograr dar una impresión más apropiada ante otras personas (Vohs, Baumeister, y Ciarocco, 2005). Por lo anterior, el autocontrol está íntimamente relacionado a grandes beneficios en una amplia gama de comportamiento social y TD.

Hasta ahora solo se ha plasmado a nivel anatómico y funcional las estructuras relacionadas con la TD, pero es de vital importancia incorporar el sustrato fisiológico subyacente, por ejemplo, la insulina como el cortisol y la glucosa son mediadores fisiológicos de los cuales el autocontrol y la TD dependen. Ya que la insulina, como el cortisol y la glucosa (entre otros), son indispensables en el procesamiento energético adecuado del organismo, su biodisponibilidad en conjunto con otras dinámicas del procesamiento y degradación de las mismas, pueden ayudarnos tener un mejor entendimiento de fenómenos como el autocontrol y la TD.

Se considera de vital importancia centrarse en el autocontrol y la TD, debido a que la mayoría de la actividad cerebral y física en los seres humanos depende del consumo y procesamiento de la energía proveniente de los procesos asociados con la glucosa (formación y degradación); la dinámica de procesamiento energético de la glucosa (al igual que sus mediadores, cortisol e insulina) son el principal combustible para los procesos cerebrales, por lo que también deberían ser evaluados. El rol del procesamiento energético en los seres humanos ocupa un lugar más prominente en los modelos y teorías de autocontrol y TD.

El autocontrol y la TD presentan una característica particular debido a su alta demanda de energía; evidencia reciente sugiere que el alto esfuerzo involucrado en toma de decisiones racionales o estratégicas puede consumir toda esa reserva energética, destinada al autocontrol y la TD, como lo indican los decrementos comportamentales en el autocontrol de las personas tras haber tomado una serie de decisiones (Vohs et al., 2008).

De hecho, evidencia inicial ha indicado que el autocontrol y la TD se basa en una fuente de energía limitada, lo cual dio a lugar al término agotamiento del ego para describir el proceso de autocontrol (Baumeister, Bratslavsky, Muraven, y Tice, 1998). Pero gracias a los recientes avances en neurociencias, nuevamente este tipo de modelos, han sido considerados para integrar procesos como los son la memoria de trabajo, toma de decisiones, lenguaje, etc. con biológicos, por ejemplo, flujo cerebral sanguíneo, respuesta inmune o bien, ritmos circadianos (Dang, 2017; Gailliot et al., 2007 Hagger, Wood, Stiff y Chatzisarantis, 2010).

Esta línea de investigación parece destinada a despertar el interés en modelos que incorporen el componente energético, bajo la premisa de que el cuerpo humano es indiscutiblemente un sistema dinámico, cuya vida es un ciclo ininterrumpido de ingesta y quema de energía. Por otra parte, los procesos psicológicos implican requerimientos de energía; por ejemplo, en la explicación de las limitaciones de la evolución de la inteligencia, Dunbar (1998) enfatizó que el cerebro humano constituye

sólo el 2% de la masa corporal, pero consume 20% de las calorías del cuerpo. Tales órganos y procesos costosos solamente serán apoyados por la selección natural en la medida en que se pagan por sí mismos en beneficios tangibles adaptativos. Como se señaló anteriormente, el autocontrol es sumamente adaptable y beneficioso para la vida a nivel social y cultural, por lo tanto, la evolución podría haber seleccionado en varias ocasiones a favor de los homínidos con una progresivamente mayor capacidad de autocontrol, incluso si esto implicara un consumo de una gran cantidad de energía.

Por lo tanto, el autocontrol y la TD son procesos complejos pero cruciales para el óptimo funcionamiento de los seres humanos, y si en efecto operan sobre la base energética, entonces el papel de la misma tendría que ser considerada en los modelos que estudien estos procesos, por lo tanto la glucosa y sus mediadores (cortisol e insulina) son componentes importantes del sistema energético y metabólico humano, a los cuales se les acredita un robusto cuerpo de evidencia como sustratos fisiológico a considerar para el estudio del autocontrol y la TD.

### **1.3 Funcionamiento y operación de la glucosa en los seres humanos**

La glucosa es un carbohidrato ( $C_6H_{12}O_6$ ), y es el azúcar simple más importante en el metabolismo humano, es el combustible esencial para el cerebro, y las actividades del cerebro dependen casi exclusivamente de la glucosa para obtener energía (Mergenthaler, et al., 2013; Siesjo, 1978; Weiss, 1986). La glucosa del torrente sanguíneo se metaboliza en las regiones cerebrales necesarias para llevar a cabo una tarea particular (por ejemplo, la estimulación de la luz aumenta el metabolismo de la glucosa en la corteza visual; McNay, McCarty y Gold, 2001). La glucosa permite el funcionamiento cerebral, proporcionando el combustible para que las neuronas disparen sus impulsos electroquímicos. El cerebro debe recibir un suministro adecuado de glucosa para funcionar con eficacia.

Toda la actividad cerebral requiere glucosa para su correcto funcionamiento en condiciones normales. Por lo tanto, la actividad cerebral consume la glucosa y reduce las cantidades disponibles de glucosa en el cerebro y la periferia (Benton, Owens y Parker, 1994; Fairclough y Houston, 2004; McNay, Fries y Gold, 2000). La

glucosa puede ser consumida en el cerebro más rápido de lo que puede ser reemplazada, por ello, las actividades cerebrales pueden reducir el suministro cerebral de la glucosa (Benton, Parker y Donohoe, 1996; Fairclough y Houston, 2004). Cuando los niveles de glucosa son muy bajos, el funcionamiento cerebral se altera, produciendo numerosos déficits cognoscitivos y de comportamiento (pérdida de la coordinación, visión borrosa, amnesia, comportamiento extraño, cambios en la personalidad, confusión y ansiedad). Cambios en la glucosa, relativamente sutiles, también pueden tener una importante influencia en el procesamiento cognitivo y el comportamiento (Benton, Brett y Brain, 1987; Donohoe y Benton, 1999a, 1999b; Fairclough y Houston, 2004; Kennedy y Scholey, 2000; Scholey, Harper y Kennedy, 2001).

Aunque el nivel de glucosa disponible es importante para el óptimo funcionamiento cognitivo, también lo es la capacidad del cuerpo para utilizar la glucosa de manera efectiva (Benton et al., 1996). La cantidad de glucosa en el cuerpo se incrementa normalmente por comer, y esto aparece primero como un aumento de los niveles de glucosa en la sangre. Es entonces, cuando el cuerpo libera insulina para ayudar a almacenar la glucosa y mantener los niveles de glucosa en la sangre de regreso a sus niveles basales. De esta manera, el cuerpo es capaz de obtener y almacenar la glucosa para su uso futuro. Algunos individuos, sin embargo, demuestran mala tolerancia a la glucosa como un rasgo estable. Sus cuerpos utilizan la glucosa de forma ineficaz, de tal manera que son menos capaces que otras personas para almacenar y utilizar la glucosa. Después de que estos individuos toman la glucosa, su nivel de glucosa en la sangre permanece ya sea alto o después de que el cuerpo libera insulina, cae por debajo de la línea de base. Un claro ejemplo se presenta en los pacientes con diabetes tipo 2 (*mellitus*), en donde el paciente de dicha enfermedad metabólica, la cual está caracterizada por una alteración en la regulación de la glucosa por la insulina y cortisol. La fisiopatología de la enfermedad involucra un deterioro progresivo de la integridad de las células  $\beta$  pancreáticas encargadas de la secreción de insulina en respuesta al incremento de la glucemia. La muerte celular como consecuencia de la hiperglucemia es un proceso común en los diferentes tipos de

diabetes, en general procesos que se alteran durante la diabetes, como la secreción de insulina y la señalización del receptor para insulina, además de los mecanismos que participan en la pérdida de la integridad de las células  $\beta$  pancreáticas (Wang, Nishinna y Naggert, 2017).

Por lo tanto, el cuerpo debe utilizar la glucosa de manera efectiva, la cual requiere ser capaz de ser almacenada y luego para ser movilizada de sus reservas según sea necesario. Por lo tanto, las personas con buena tolerancia a la glucosa parecen más capaces que otros de transportar glucosa al cerebro frente a la demanda cognitiva. Como resultado, las personas con buena tolerancia a la glucosa se han encontrado que obtienen mejores resultados en algunas tareas cognitivas (por ejemplo, pruebas de razonamiento lógico), en comparación con aquellos con mala tolerancia a la glucosa (Benton et al., 1996). En pocas palabras, el cerebro se basa en glucosa para funcionar y cuando el flujo de glucosa al cerebro es inadecuado, ya sea porque la glucosa es baja o porque la glucosa no puede ser transportada al cerebro, es decir, la mala tolerancia a la glucosa, el funcionamiento cerebral se deteriora, esto se ve reflejado en investigaciones con pacientes con diabetes, en donde hay un efecto negativo en el procesamiento cognitivo debido a la enfermedad (Goetsch, 1989; Ishizawa et al., 2010).

Aunque casi todas las funciones cerebrales dependen principalmente de la glucosa como combustible, algunas capacidades cognitivas parecen ser más sensibles que otras a cambios en la glucosa. En concreto, la influencia de la glucosa parece más pronunciada en procesos que implican esfuerzo, control o un componente ejecutivo (Benton et al, 1994, 1996; Donohoe y Benton, 1999a, 1999b; Fairclough y Houston, 2004; Kennedy y Scholey 2000; Owens y Benton, 1994; Parker, 1995; Parker y Benton, 1995; Scholey et al, 2001; Sünram-Lea, Foster, Durlach, y Pérez, 2002). Dichos procesos requieren más glucosa que los procesos más simples, menos forzosos o automáticos, y es más probable que se deterioren cuando la glucosa es baja o no se puede utilizar con eficacia. En este sentido, dichos procesos que impliquen esfuerzo,

control o ejecución, son procesos cuantitativamente diferentes de otros que requieren más glucosa.

Por supuesto para sustentar los argumentos antes expuestos, se llevó a cabo una revisión de resultados empíricos, los cuales tienen el objetivo de probar la hipótesis de que la glucosa y sus mediadores (cortisol e insulina), son componentes importantes del autocontrol, estos estudios examinaron una amplia gama de comportamientos asociados al autocontrol y la TD. En concreto, se revisaron estudios sobre control atencional (Baumeister et al. 1994; Muraven y Baumeister, 2000; Vohs et al., 2005; Gailliot y Baumeister, 2005; Gailliot et al., 2006), regulación de las emociones (Baumeister et al., 1998; Finkel y Campbell, 2001; Muraven et al., 1998; Schmeichel, Demaree, Robinson y Pu, 2006; Vohs et al., 2005), crimen, agresión y violencia (Baron, 1976, 1983; DeWall, Stillman, Baumeister y Gailliot, 2007; Gottfredson y Hirschi, 1990; Pratt y Cullen, 2000; Tangney et al., 2004), conductas socialmente deseables (Gailliot, Plant, Butz y Baumeister, 2007; Mischel et al., 1988; Richeson y Shelton, 2003; Richeson y Trawalter, 2005; Shoda et al., 1990), consumo de alcohol (Altura, Altura, Zhang y Zakhari, 1996; Kokavec y Crowe, 2003; Wang et al., 2000), consumo de tabaco (Berlin et al., 2003; West et al., 1999; Jarvik et al., 1998), y afrontamiento al estrés (Aikens, Wallander, Bell y McNorton, 1994; Armario, Marti, Molina, de Pablo y Valdes, 1996; Goetsch, Abel y Pope, 1994; Vitaliano, Scanlan, Krenz y Fujimoto, 1996; Vitaliano, Scanlan, Krenz, Schwartz y Marcovina, 1996). De hecho, cada uno de estos comportamientos se relaciona con el autocontrol. La literatura en estas áreas de investigación permite sustentar pruebas acerca de los problemas asociados con la deficiencia de glucosa que merma de manera general la capacidad para ejercer autocontrol.

#### **1.4 Elección y descuento temporal**

En el presente apartado se delinearán las características básicas de la toma de decisiones en escenarios que llevan a los organismos a elegir entre diferentes opciones, posteriormente se vincularán los patrones de elección a un fenómeno particular (descuento temporal) como posible consecuencia de una variable

(impaciencia) que es afectada por los sustratos fisiológicos antes delineados (glucosa, cortisol e insulina).

Dado que todos los seres humanos momento a momento están frente a decisiones que implican la elección de alguna opción de reforzamiento o castigo, algunas inmediatas u otras hacia el futuro, aquellas elecciones que involucran una ventana temporal futura, las denominaremos intertemporales, esto implica que los organismos tienen la posibilidad de elegir alguna opción y ponderar entre los costos y beneficios que se encuentran distribuidos a través del tiempo (Loewenstein y Elster, 1992; Loewenstein, Read y Baumeister, 2003). La versión más común de este dilema es decidir entre beneficios menores disponibles inmediatamente y beneficios mayores disponibles luego de un cierto periodo de tiempo, el cual puede ir desde segundos, minutos hasta años. Por ejemplo, dilapidar todos los ingresos a corto plazo en necesidades y deseos inmediatos en comparación a ahorrar para obtener una vivienda o una buena jubilación es un ejemplo común en las sociedades actuales, y estas decisiones ponen en funcionamiento mecanismos cognitivos y fisiológicos para la planeación, la autorregulación, la representación del tiempo y la comparación de beneficios de distinta naturaleza.

Lo anterior se enmarca en el contexto de las preferencias temporales, las cuales son un fenómeno sistemáticamente observado en el contexto de decisiones intertemporales, referido a la preferencia de utilidades inmediatas sobre utilidades futuras (Frederick, Loewenstein y O'Donoghue, 2002). En la visión económica clásica, Samuelson (1937, 1952) fue uno de los primeros en describir cómo la mayoría de las personas están dispuestas a sacrificar el valor del beneficio conseguido con tal de obtener un beneficio en un intervalo de tiempo más corto. Del lado de una visión psicológica existe un área denominada economía conductual, la cual ha acuñado el concepto de descuento temporal y que se emplea para describir la disminución gradual del valor de una recompensa conforme se manipula la variable responsable de su presentación (Mazur, 1987; Rachlin, 2006). Específicamente, el descuento temporal se refiere a la disminución del valor de una recompensa conforme aumenta su demora

de entrega y se ha relacionado con los comportamientos impulsivos y falta de autocontrol (Logue, 1988; Rachlin, 2000).

La importancia de las preferencias temporales en las decisiones intertemporales parece evidente para entender las decisiones económicas. Por lo tanto, el tiempo es una dimensión relevante en dilemas con claras consecuencias económicas: buscar trabajo ahora o buscar oportunidades de educación que aumenten las probabilidades de conseguir un mejor trabajo en el futuro; o gastar ahora versus ahorrar para que en el futuro se tenga la posibilidad de invertir, por señalar un par. El resultado de estos procesos de decisión tiene un efecto económico importante en lo individual y social.

Diversas investigaciones en economía del comportamiento han demostrado un claro papel del descuento temporal en fallas a la hora de planear, ahorrar, invertir o derribar los obstáculos sociales mediante la aplicación de los principios básicos de la economía comportamental (Angeletos et al, 2001; Laibson, 1997, 2003; Thaler y Sunstein, 2008). Más aún, por efecto de agregación, las preferencias temporales pueden afectar la economía de un modo más general, al repercutir en el momento socioeconómico de la población general. Investigaciones del Banco Mundial (1992) y Lawrence (1991) encontraron que las personas que viven en situación de pobreza tienen mayores descuentos temporales relativos, factor que inhibe inversiones durables y de largo plazo (Becker, 1976; Becker y Mulligan, 1997) que son claves para romper círculos de pobreza. Diversos factores macroeconómicos y de condiciones de vida pueden, a su vez, influir la inclinación de la pendiente de este descuento temporal, llegando incluso, desde un punto de vista ecológico, a afectar la definición de racionalidad. Un claro ejemplo de esto puede observarse en países extremadamente pobres, donde la expectativa de vida no excede los 40 años de edad (por ejemplo, en Guinea-Bissau). En dichos contextos la meta es la supervivencia día con día y no la maximización de beneficios a largo plazo (Pennings y Garcia, 2005).

Este tema ha sido también ampliamente estudiado en psicología, integrando recientemente conocimientos de otras ciencias, por ejemplo, mediante la utilización de métodos en neurociencias. Mucho del interés de los profesionales en ciencias cognitivas y del comportamiento se basa en la expectativa de que un mejor entendimiento de los mecanismos neuronales y cognitivos del descuento temporal facilitaría el entendimiento de las causas, y por ende el tratamiento, de problemas de autorregulación comportamental tradicionalmente clasificados como disfunciones en el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (APA, 2013). En efecto, una serie de estudios sugieren que parte de la explicación de algunos de trastornos, como el déficit de atención (Critchfield y Kollins, 2001; Plichta et al., 2009), la adicción a sustancias prohibidas (Bickel et al., 2007; Perry y Carroll, 2008), la adicción al juego (Petry, 2001) o inclusive la obesidad (Takahashi, 2010; Weller et al., 2008), pueden estar siendo influenciados por desregulaciones en mecanismos cerebrales asociados a la toma de decisiones.

Un ejemplo clásico, son los resultados de Mischel et al., (1988), los cuales mostraron en un estudio pionero, que las diferencias individuales en las pautas de decisiones intertemporales, se asocian a importantes consecuencias para el curso de vida de los individuos. Mischel y colaboradores encontraron que la capacidad de postergar la gratificación demostrada por niños durante su época preescolar se correlaciona positiva y altamente con las competencias sociales y cognitivas de cada individuo al iniciar la adolescencia. Finalmente, y de manera importante para el interés más general de la psicología en explicar la cognición y el comportamiento, se ha apreciado repetidamente que los efectos del descuento temporal son ubicuos tanto para recompensas primarias (por ejemplo, comida, jugo; Ainslie, 1974; Kobayashi y Schultz, 2008; McClure et al., 2007; Mischel et al, 1988; Richards et al, 1997) y secundarias (por ejemplo, dinero, reputación; Thaler, 1981; véase una revisión del tema en Loewenstein y Prelec, 1992).

Los intereses de diversos investigadores en ciencias sociales convergen al estudiar cómo las manipulaciones conductuales pueden modular el valor subjetivo de

costos y beneficios en decisiones intertemporales (Tesch y Sanfey, 2008). Por ejemplo, Thaler (1981) fue el primero en demostrar un efecto de la magnitud del premio al mostrar cómo la pendiente del descuento temporal aumenta para beneficios pequeños. En el mismo trabajo Thaler describió por primera vez el efecto del valor de la recompensa, de acuerdo con el cual las ganancias son descontadas de un modo más pronunciado que las pérdidas. Read (2001) presentó un efecto del número de elecciones, mostrando que cuanto mayor es el número de elecciones que un individuo debe realizar, mayor es el descuento temporal. Loewenstein y Sicherman (1991) propusieron un efecto de ordenamiento refiriendo a un fenómeno según el cual recompensas incluidas en una secuencia creciente en el tiempo resultan más valoradas que las mismas recompensas en una secuencia decreciente.

En un trabajo anterior, Loewenstein (1988) había mostrado que las personas prefieren acelerar en vez de detener programas de pago. Pero nuevamente, Loewenstein y Prelec (1993) entregaron pruebas en contra del supuesto de la separabilidad de las preferencias que establece que el valor de una secuencia de resultados es igual a la suma del valor de sus componentes. Los autores mostraron que las personas prefieren recompensas distribuidas en el tiempo. Un efecto del tipo de recompensa también ha sido observado, por ejemplo, el valor de la comida es descontado más rápidamente que el dinero (Odum y Rainaud, 2003). El estado mental de los participantes al momento de tomar las decisiones puede modular las tasas de descuento temporal (Berns, Laibson y Loewenstein, 2007). Por lo que se puede hipotetizar, que las preferencias temporales son modificadas en función del uso de estrategias de autocontrol que los sujetos emplean (Baumeister y Heatherton, 1996); por ejemplo, pueden ser incrementadas en sujetos excitados emocional o sexualmente (Loewenstein, 1996), en fumadores tras ser privados de la nicotina (Field et al., 2006), o bien disminuidos en sujetos que muestran un buen control atencional (Baumeister, Heatherton y Tice, 1994).

De especial interés, es resaltar cómo se relacionan los resultados anteriores con la atención hacia el estímulo y sus características, en específico la capacidad de

demorar la gratificación, lo cual para lograrlo de manera exitosa requiere que la persona renuncie a las recompensas disponibles de manera inmediata en favor de aquellas más grandes pero más remotas en el tiempo, adicionalmente que se mantenga un buen control atencional en las recompensas inmediatas a menudo es una parte vital de ese éxito (Mischel, 1974; Rodriguez, Mischel y Schoda, 1989). Por otra parte, Karniol y Miller (1983) mostraron que existen fallas autoregulatorias en los seres humanos, (en este caso, fallas en la elección de opciones demoradas a través del tiempo) las cuales son frecuentemente precedidas por cambios en la atención de la opción inmediata, por lo que este cambio en la atención es una forma o precursor del fenómeno conocido como descuento temporal.

### **1.5 Estimación temporal y bisección temporal**

La habilidad para estimar con precisión el paso del tiempo y ejercer control temporal sobre nuestras propias acciones es importante para adaptarnos a muchas situaciones, por lo cual es un proceso fundamental para la organización del comportamiento (Killeen y Fetterman, 1988). Internamente aún no se conoce con total certeza cómo se mide o se representa el tiempo, aunque todos tenemos una noción del tiempo transcurrido al realizar alguna actividad o si las consecuencias positivas o negativas de nuestro comportamiento ocurren con mayor o menor frecuencia, es decir, somos capaces de estimar la densidad del reforzamiento para decidir la frecuencia de emisión de las conductas (Killeen, Fetterman y Bizo, 1997).

A nivel motor, coordinamos temporalmente nuestros movimientos, para llevar a cabo infinidad de acciones, por ejemplo, la cadencia de pedaleo o la velocidad adecuada para entablar una conversación fluida, etcétera, del lado cognitivo, la estimación temporal es crítica para el aprendizaje asociativo y para la representación de relaciones secuenciales entre estímulos en el ambiente, entre muchas otras actividades. Debido a que no existen receptores sensoriales explícitos para el tiempo, la información temporal posiblemente se derive a través de la operación de algunos mecanismos neuronales, cuyas propiedades están sujetas a gran controversia.

A lo largo de varias décadas de investigación, se ha demostrado que la estimación temporal tiene un importante papel en diversos paradigmas utilizados en psicología, por ejemplo, en el condicionamiento temporal Pavloviano, en donde el reforzamiento ocurre a intervalos fijos de tiempo; en el condicionamiento operante, por ejemplo, en los programas intervalo fijo (IF) en donde la entrega de reforzamiento depende de la emisión de una respuesta después de haber transcurrido un periodo de tiempo fijo, o bien en la discriminación temporal en donde se otorga un reforzador solamente si el sujeto emite una respuesta correcta ante una duración específica (para una revisión ver Church, 2002).

Cabe resaltar que existen diversos procedimientos que han sido utilizados para estudiar el proceso de estimación temporal, entre ellos se incluyen el programa intervalo fijo (Ferster y Skinner, 1957), el procedimiento pico (Catania, 1970), y el procedimiento de pico con interrupciones (Roberts y Church, 1978), bisección temporal (Church y Deluty, 1977), y el reforzamiento diferencial de tasas bajas (Ferster y Skinner, 1957), entre otros. De los anteriores el procedimiento de bisección temporal, el cual producen datos ordenados con animales (Church y Deluty, 1977), así como con niños, jóvenes, adultos y ancianos (Wearden, Rogers y Thomas, 1997).

En esta tarea se entrena a los participantes a discriminar dos estímulos de referencia que difieren en duración. Los participantes tienen que emitir una respuesta particular cuando el estímulo es "corto" y una respuesta diferente cuando es "largo". Después, se introducen estímulos de duración intermedia y se registra si los sujetos los clasifican como "cortos" o "largos". Por lo tanto, debe existir un modelo que puede explicar dichos resultados es la Teoría de Expectancia Escalar, SET, por sus siglas en inglés, (para una revisión ver Church, 1984) la cual sugiere la existencia de un marcapasos que emite pulsos a una determinada frecuencia y un registro que lleva la cuenta de los pulsos que ocurren a partir de un momento arbitrario. (Gibbon y Church, 1984; Gibbon, Church y Meck, 1984).

El entrenamiento actualiza la representación de éste registro en memoria a largo plazo, de tal manera que cuando ocurre un estímulo, un módulo de comparación indica si la "cantidad" de pulsos que ha emitido el marcapaso es mayor o menor al registro en memoria a largo plazo; dependiendo del resultado de la comparación, un módulo de decisión genera la respuesta. Los diversos modelos en estimación temporal difieren en la forma en que el marcapasos genera los pulsos, las propiedades del acumulador, del proceso de decisión, de la representación en memoria, para una revisión detallada consultar (Gibbon, 1977, 1991).

### **1.6 Modelos de descuento temporal y bisección temporal**

El concepto de descuento se emplea para describir la disminución gradual del valor de una recompensa conforme se manipula la variable responsable de su presentación (Rachlin, 2006). Específicamente, el descuento temporal se refiere a la disminución del valor de una recompensa conforme aumenta su demora de entrega y se ha relacionado con las conductas impulsivas (Logue, 1988; Rachlin, 2000). Para poder dar cuenta de los resultados empíricos antes planteados, es necesario describir los modelos más importantes que abordan el fenómeno del descuento temporal, el primero de ellos, denominado como el modelo hiperbólico se muestra en la ecuación 1 (Mazur, 1987):

$$V = \frac{M}{(1 + kD)} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $V$  es el valor subjetivo estimado de la recompensa,  $M$  es el valor objetivo de la recompensa,  $D$  es la demora y el parámetro  $k$  representa la tasa de descuento del valor de la recompensa. Una tasa de descuento relativamente grande refleja conducta impulsiva. Por el contrario, una tasa de descuento relativamente pequeña indica mayor conducta autocontrolada (Green y Myerson, 2004). Es importante resaltar que el grado de descuento temporal es relativamente más pronunciado en los intervalos de tiempo en un futuro próximo que en los períodos de tiempo en el futuro lejano, dando lugar al fenómeno de la impaciencia decreciente (Ebert y Prelec, 2007).

Desde otra perspectiva, bajo el modelo exponencial de descuento de la utilidad ampliamente utilizado en economía clásica (Samuelson, 1937) se supone que los tomadores de decisiones se comportan racionalmente en el sentido de que el efecto de una demora particular es independiente del momento en que se produce la misma. Según el modelo exponencial (ecuación 2, y para el cual se tiene la misma interpretación de los parámetros  $M$ ,  $k$  y  $D$ , definidos previamente para la ecuación 1), un período de espera de 1 semana a partir de hoy debe ser tratado del mismo modo que un período de espera de 1 semana dentro de un año.

$$V = M * \exp^{(-kD)} \quad \text{Ecuación 2}$$

En contraste con esta predicción de descuento exponencial "normativo", y en línea con el descuento hiperbólico, los seres humanos a menudo violan esta suposición, un efecto que se ha denominado inconsistencia dinámica (Thaler, 1981). Alineado con este efecto, queda claro que el modelo hiperbólico proporciona un mejor ajuste a los datos, explicando una mayor proporción de variabilidad en comparación al modelo exponencial (Green y Myerson, 2004; McKerchar et al., 2009; Yi, Landes & Bickel, 2009).

El detalle surge en estudios relativamente recientes donde sugieren que es probable que más de un parámetro libre sea necesario para modelar con precisión los datos de descuento temporal (McKerchar et al., 2009; Takahashi, Oono y Radford, 2008). En particular, tanto el modelo hiperbólico como el exponencial suelen sobrestimar los valores descontados del reforzador en intervalos más cortos y subestimar los valores descontados del reforzador a intervalos más largos (McKerchar et al., 2009). Tanto el ajuste pobre y el frecuente uso de estos dos modelos (hiperbólico y exponencial) ha llevado a los investigadores a proponer criterios para identificar (y tratar apropiadamente) conjuntos de datos problemáticos (Johnson y Bickel, 2008) o apoyar el uso de modelos más flexibles (Bleichrodt, Rohde y Wakker, 2009).

Al mismo tiempo, el modelado más adecuado del comportamiento de elección intertemporal puede aportar ideas teóricas adicionales sobre los mecanismos subyacentes al proceso de decisión o inclusive forjar las bases para la formulación de otra teoría como alternativa a las existentes. Por lo que, varios modelos alternativos de descuento temporal (ecuaciones 3 a 5, las cuales mantienen el mismo significado para sus parámetros  $M$ ,  $k$  y  $D$ ) abordan la cuestión del modelado del tiempo subjetivo como una función no lineal del tiempo objetivo (Read, 2001). A lo largo de líneas similares, el escalamiento no lineal de la magnitud de recompensa se ha incorporado en algunos modelos de descuento temporal (Killeen, 2009).

Una propiedad deseable de un modelo de descuento temporal con tal componente de escalamiento temporal psicofísico sería, por lo tanto, la posibilidad potencial de disociar los efectos de la impaciencia (es decir, la inclinación de la función de descuento) de los efectos psicofísicos del tiempo (si el tiempo subjetivo se expande o contrae). Sin embargo, esto requeriría que los respectivos parámetros del modelo sean independientes, una cuestión que los esfuerzos de comparación de modelos anteriores no han abordado (Ebert y Prelec, 2007; McKerchar et al., 2009; Takahashi, Oono y Radford, 2008).

Por lo tanto, las ecuaciones 3 y 4, muestran dos modificaciones del modelo hiperbólico de un solo parámetro, las cuales incluyen un exponente  $s$  de escalamiento adicional en diferentes posiciones en el denominador. La ecuación 3 eleva el denominador entero del modelo hiperbólico estándar a una potencia  $s$  (Myerson y Green, 1995). Como muestra Takahashi, Oono y Radford (2008), este modelo es equivalente al descuento exponencial con escalamiento logarítmico del tiempo objetivo. Este modelo es también un caso especial de la hipérbola generalizada propuesta por Loewenstein y Prelec (1992), cabe señalar que es una alternativa más viable que la ecuación 2, porque proporciona un mejor ajuste de los datos en seres humanos, pero no en el caso de animales (Green, Fry y Myerson, 1994; Myerson y Green, 1995), nótese también que cuando  $s = 1.0$  la ecuación 3 se reduce a la ecuación 1.

$$V = \frac{M}{(1+kD)^s} \quad \text{Ecuación 3}$$

Por su parte Rachlin (2006), propone un modelo de dos parámetros, el cual se puede observar en la ecuación 4 es una posible alternativa a la ecuación 2, ya que plantea la demora a una potencia  $s$  y, por tanto, corresponde a un descuento hiperbólico con escala de potencia de tiempo objetivo (Stevens, 1957).

$$V = \frac{M}{(1+kD^s)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Finalmente, Ebert y Prelec (2007) propusieron una función de descuento de sensibilidad constante (ecuación 5) basada en una consideración de decisión heurística. En este modelo, el parámetro  $a$  mide el nivel de impaciencia, mientras que la sensibilidad temporal se mide con el parámetro  $b$ . El descuento exponencial corresponde al caso especial donde  $b = 1$ . Este modelo puede explicar de manera heurística la dicotomía presente-futuro (Ebert y Prelec, 2007), donde todas las recompensas futuras son ponderadas similarmente relativas con el presente inmediato, por un factor pequeño en  $b$  ( $b < 1$ ).

$$V = M * \exp^{-(aD)^b} \quad \text{Ecuación 5}$$

Por el contrario, una heurística de presente extendido en la que todas las opciones hasta una demora particular no son descontadas y todas las opciones posteriores se descuentan a un grado similar pueden ser capturadas por un factor grande (es decir,  $b > 1$ ). En este sentido, lo que Ebert y Prelec (2007) denominan la dicotomía presente-futuro ( $b < 1$ ) puede surgir porque el impacto relativo de los retrasos cortos vs. largos se incrementa debido a una escala de tiempo comprimida. El presente extendido ( $b > 1$ ), por otra parte, puede surgir porque el impacto relativo

de demoras largas versus demoras cortas se incrementa debido a una escala de tiempo expandida.

Por lo tanto, el denominado modelo "beta-delta" (ecuación 5), explica la inconsistencia dinámica a través de un "efecto de inmediatez", de modo que todos los resultados que no están disponibles *ahora* se descuentan según la tasa de descuento  $\beta$ , mientras que todos los demás (no inmediatos) el descuento se produce de acuerdo con la tasa de descuento  $\delta$  (Laibson, 1997). Este modelo ha recibido una atención especial sobre la base de la idea de que los dos componentes del modelo ( $\beta$  y  $\delta$ ) pueden tener distintos sustratos neuronales (McClure et al., 2007). Sin embargo, un "efecto de inmediatez" tal vez no sea suficiente para dar cuenta de los datos del comportamiento humano (Kable y Glimcher, 2007).

Por su parte, los modelos que dan cuenta de la estimación temporal bajo el procedimiento de bisección temporal asumen que los datos mantienen varias propiedades psicofísicas, la primera es que al graficar la proporción de respuestas "largas" que se emiten ante cada estímulo se obtiene una función psicofísica que adopta una forma sigmoideal en la cual la proporción de respuestas "largas" incrementa en función de la duración de los estímulos; segunda, las funciones obtenidas con diferentes rangos de estímulos se superponen cuando el eje se normaliza respecto a la media de la distribución (propiedad escalar).

Tercera, de la función psicofísica se deriva el punto de Bisección (PB, valor en el cual los participantes emiten 50% de respuestas "largas"), el Limen Diferencial (LD, que es la mitad del intervalo entre los estímulos ante los cuales se emite el 25% y el 75% de las respuestas asociadas con el estímulo largo) y la Fracción de Weber ( $FW=LD/PB$ , que expresa el LD como una fracción del PB y, por tanto es una medida relativa de la sensibilidad temporal que, a diferencia del LD, no depende de la magnitud física del intervalo de estímulos utilizados).

Para calcular el valor del *punto de bisección* se ajusta un modelo logístico, en donde  $P(L)$  es la probabilidad de clasificar un estímulo como largo,  $T_{50}$  es el parámetro libre que expresan el punto de bisección. El valor  $T_{50}$  de la función psicofísica o punto de bisección, es aquella duración a la que se clasifica el 50% de las presentaciones como “largo” y el otro 50% como “corto”, es decir, aquella duración a la que se es indiferente. Este modelo se desprende del modelamiento psicométrico de respuestas dicotómicas (Rasch, 1960 y Birnbaum, 1968), en donde es una simplificación de la ecuación 7, cuando el valor del parámetro  $b = 1$ , asumiendo una pendiente constante entre todos los individuos.

$$P(L) = \frac{1}{1 + e^{-(t-T_{50})}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Al existir aproximaciones alternativas, se plantean dos de ellas, las cuales se muestran en las ecuaciones 7 y 8, en donde en la primera es una extensión de la ecuación 6, se extrae de igual manera del modelamiento psicométrico de respuestas dicotómicas (Birnbaum, 1968), pero a diferencia de la ecuación 6, se estima el punto de bisección ( $T_{50}$ ) y la pendiente de la función ( $b$ ). El valor del parámetro  $b$ , al ser la pendiente de la función psicofísica es un índice de sensibilidad temporal que refleja la conducta observada, de manera general se le atribuye que a mayores valores de la pendiente se asocia una mayor sensibilidad temporal.

$$P(L) = \frac{1}{1 + e^{-b(t-T_{50})}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Finalmente, en la ecuación 8, se plasma uno de los modelos más utilizados en donde se estiman nuevamente dos parámetros ( $T_{50}$  y  $b$ ), pero que por su formulación opera el parámetro de discriminación  $b$  sobre la razón de la duración del estímulo y el punto de bisección, el cual puede servir como modelo de comparación al ser uno de los más ampliamente utilizados en el modelamiento de este fenómeno (Allan, 1998; Church y Deluty, 1977; Droit-Volet y Wearden, 2001; Ortega y Lopez, 2008).

$$P(L) = \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{T_{50}}\right)^b}$$

Ecuación 8

En específico, algunos resultados concuerdan con los reportados en otros organismos, pero en ciertas ocasiones no se encuentra la sobreposición de las funciones psicométricas: aunque muchos estudios han encontrado sobreposición (Allan, 1998, 2002a, 2002b; Allan y Gerhardt, 2001; Allan y Gibbon, 1991; Ortega y Lopez, 2008; Wearden, 1991; Wearden y Bray, 2001; Wearden y Ferrara, 1995, 1996), hay algunos otros que no (Ortega, Lopez y Church, 2009, Penney, Allan, Meck y Gibbon, 1998; véase Wearden y 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 y de las duraciones de referencia (Allan, 2002b; Allan y Gibbon, 1991, Wearden y Ferrara, 1996), otros han encontrado que se ubica cerca de la media aritmética (Allan y Gerhardt, 2001; Wearden, 1991; Wearden y Ferrara, 1995, 1996).

### **1.7. Descuento temporal y bisección temporal bajo situaciones de estrés**

Desde el punto de vista psicológico el estrés es una respuesta desencadenada ante una demanda o situación potencialmente peligrosa que excede la capacidad para responder adecuadamente percibida por el organismo, lo cual provoca una respuesta fisiológica para compensar y/o responder a tales demandas del ambiente (Koolhaas, et al., 2011). El efecto del estresor desencadena repuestas fisiológicas que buscan preparar al organismo para enfrentar las demandas ambientales, estas repuestas están reguladas por el sistema eje hipotalámico–hipofisario–adrenal (HHA), el cuál es una red compleja a la cual se le atribuye el control de las reacciones al estrés por medio de la liberación de neurotransmisores, esteroides y péptidos que cumplen funciones de acuerdo al tipo de estrés y a la prolongación de la situación estresante (Joëls y Baramans, 2009).

La estructura activadora del HHA es el hipocampo, y como resultado de esta activación se liberan diferentes hormonas; así mismo el hipocampo regula la liberación de hormonas de la hipófisis; las cuales se han relacionado con la respuesta al estrés como el cortisol y en general los glucocorticoides. Resultado de la liberación hormonal producida por el HHA, el hipocampo es inhibido (Cook y Wellman, 2010) limitando la capacidad de dicha estructura para detener la respuesta hormonal del HHA y como consecuencia las hormonas actúan de manera prolongada en el sistema nervioso; este fenómeno se conoce como la Hipótesis de la Cascada de Glucocorticoides (Bruce y McEwen, 2007).

Las principales estructuras cerebrales que se afectan negativamente por la continua exposición al estrés son el hipocampo, la amígdala y la corteza prefrontal (CPF); en las cuales se produce una pérdida de las conexiones dendríticas entre éstas áreas (Fuchs, Flugge y Czeh, 2006; Cook y Wellman, 2010). Por esta causa, el estrés agudo puede llegar a generar cambios negativos en las redes neuronales; de modo que una exposición prolongada a una situación estresante en el hipocampo puede producir cambios en las dendritas de la capa CA3 de las neuronas piramidales y en la reducción del número de sinapsis de las mismas (Kole, Czeh y Fuchs, 2004). También se ha documentado que la exposición a estrés crónico en el CPF produce una retracción de las dendritas y la pérdida de espinas de las neuronas piramidales (Fuchs, Flugge y Czeh, 2006; Radley et al. 2004).

De igual manera, Pruessner et al., (2008) llevaron a cabo una investigación en la cual por medio de neuroimágenes obtenidas de 40 participantes llegaron a la conclusión de que la exposición a tareas estresantes por periodos relativamente largos (estrés agudo) ocasionan cambios metabólicos en el área prefrontal, límbica, ganglios basales, entre otros. El estrés agudo, como lo menciona Arsten (2009) puede llegar a causar una rápida y dramática pérdida de las habilidades cognitivas directamente relacionadas con el CPF donde la exposición prolongada a uno o a varios elementos estresantes pueden tener consecuencias a nivel estructural y por ende funcionales; así las decisiones que son tomadas bajo condiciones estresantes se ven moduladas

por el efecto que tiene el estrés en el área dorsolateral del CPF. Las investigaciones demuestran que las regiones que están asociadas con la TD son sensibles al efecto que produce el estrés, por lo que se apoya la hipótesis de que el estrés tiene un impacto negativo en la TD, alterando negativamente la capacidad de procesar información recibida del medio ambiente (Starcke y Brand, 2012).

Con lo que respecta a estudios en donde se ha demostrado que la estimación del tiempo es crucial para muchas funciones cognitivas superiores y de supervivencia, por ejemplo, el control motor (Edwards, Alder y Rose, 2002) o bien las señales de comunicación acústica, incluyendo el habla humana y la música (Mauk y Buonomano, 2004). Estas funciones se basan en la percepción temporal precisa y desempeñan papeles importantes para el funcionamiento cotidiano (Buhusi y Meck, 2005). Por lo que, al mantener una estimación exacta y precisa del tiempo es esencial para la adaptación de los individuos a un entorno dinámico, especialmente cuando se enfrentan a condiciones estresantes (Hancock y Weaver, 2005; Eisen, 2009). Sin embargo, aún se desconoce cómo se altera la percepción del tiempo con las respuestas al estrés.

Adicionalmente, se ha encontrado que los componentes cognitivos de la percepción del tiempo son sensibles al estrés agudo y que varían en función de los niveles de cortisol (Buchanan y Tranel, 2008, Buchanan, Tranel y Adolphs, 2006, Schoofs, Wolf y Smeets, 2009). Estudios anteriores encontraron que los participantes con mayores aumentos de cortisol inducidos por el estrés se desempeñaron peor en las tareas de memoria de trabajo (Qin et al., 2009). Las respuestas más altas de cortisol al estrés se asociaron con mayores deterioros de la memoria a largo plazo (Smeets, 2011). También se informaron correlaciones negativas entre las respuestas ante situaciones estresantes de individuos masculinos y las decisiones desventajosas. Los participantes masculinos con respuestas más altas en sus niveles de cortisol salival, mostraron un desempeño más pobre en la tarea de toma de decisiones (Van den Bos, Harteveld y Stoop, 2009).

Mientras tanto, las regiones cerebrales involucradas en la estimación del tiempo (Coull, Cheng y Meck, 2011; Gu, Van Rijn y Meck, 2015), especialmente la corteza prefrontal y el hipocampo, son los principales objetivos de las hormonas del estrés, incluyendo el cortisol (Arnsten, 2009; McEwen, 2004). Más importante aún, son las actividades funcionales que desempeñan estas regiones del cerebro, que también mostraron una correlación con el estrés inducido por cortisol. Por ejemplo, se encontró que los aumentos de cortisol al estrés estaban relacionados con la activación reducida en la corteza prefrontal dorsolateral durante una tarea de memoria de trabajo (Qin et al., 2009). Los estudios también encontraron una correlación positiva entre el grado de desactivación en el hipocampo y la liberación de cortisol en respuesta a la tarea de estrés (Pruessner et al., 2008).

Estudios previos que ilustran la relación entre el estrés y la percepción del tiempo se han centrado en comparar las diferencias entre grupos en condiciones de estrés y grupos control. Se observó que las duraciones subjetivas bajo estrés agudo eran más largas que aquellas bajo condiciones de control (Meck, 1983; Watts y Sharrock, 1984; Campbell y Bryant, 2007; Droit-Volet et al., 2010; Tamm et al., 2014). Sin embargo, se encontraron resultados mixtos con respecto a la sensibilidad temporal bajo estrés agudo. En un estudio pionero, Watts y Sharrock (1984) encontraron que el estrés agudo disminuyó la precisión temporal. Sin embargo, dos estudios recientes mostraron una mayor sensibilidad temporal en condiciones de estrés en relación con la condición de control (Tamm et al., 2014, 2015). Además, existe también otro estudio que reportó que el estrés agudo no afectó la sensibilidad temporal (Droit-Volet et al., 2010).

Una de las razones de estos resultados complejos entre los grupos podría ser la gran diferencia individual en el efecto del estrés en la percepción del tiempo. Como lo demostraron los estudios anteriores, las diferencias individuales en las respuestas al estrés son enormes (Lupien et al., 2007), y las deficiencias del estrés en los componentes cognitivos, incluyendo la memoria y la toma de decisiones, varían mucho entre los individuos (por ejemplo, Qin et al., 2009, Smeets, 2011). De acuerdo con el

marco de los modelos cognitivos, la sensibilidad temporal se asocia con la memoria y los componentes decisionales (Grondin y Rammsayer, 2003). Algunos individuos pueden tener deficiencias severas en estos componentes bajo estrés, y por lo tanto muestran una percepción temporal imprecisa. Pero estos componentes cognitivos de otros individuos pueden no ser afectados por el estrés y estos individuos pueden permanecer con buena sensibilidad temporal. Por lo tanto, además de las comparaciones entre los grupos o condiciones, las investigaciones sobre las correlaciones entre las respuestas de estrés de los individuos y la percepción del tiempo son necesarios. Sin embargo, estas relaciones aún no han sido investigadas empleando las tareas experimentales de descuento temporal y bisección temporal.

Por lo tanto, el presente estudio investigó en la primera fase, el posible efecto que diferentes niveles de cortisol en el torrente sanguíneo tienen en dos tareas temporales, una de descuento y otra de bisección, mediante la manipulación de variables atributivas en diferentes grupos: pacientes con diabetes, participantes fumadores y un grupo de participantes control. La segunda fase manipuló de manera causal el efecto que ejerce el cortisol, a tres grupos de participantes, a los cuales se les aplicó las dos tareas temporales antes mencionadas; a un grupo de participantes sanos se les indujo por vía farmacológica estrés experimental (ingestión de 20 mg de hidrocortisona), se compararon con un grupo de pacientes con diabetes y un grupo de participantes control, se propone como hipótesis central, que si el cortisol es un mediador en la toma de decisiones y la estimación temporal, tendrá un efecto en la tasa de descuento temporal y el punto de bisección entre los grupos comparados, entonces dadas las condiciones fisiológicas generadas en el grupo experimental, se podrá tener mayor evidencia y comparabilidad entre este grupo con el grupo de pacientes con diabetes.

## **2. Método**

### **2.1 Experimento 1**

#### **2.1.1 Participantes**

150 participantes fueron seleccionados a través de invitación abierta a la investigación en el Centro Especializado en el Manejo de la Diabetes del Instituto Politécnico Nacional con una edad promedio de 47 años y un rango de 27 a 69 años. El primer grupo que constó de 50 pacientes, presentaron un diagnóstico de diabetes tipo 2 (26 mujeres y 24 hombres) con reciente diagnóstico y sin tratamiento farmacológico. El segundo grupo se conformó de 50 participantes (25 mujeres y 25 hombres) que fumaban por lo menos 15 cigarrillos al día y que puntuaron en promedio 6 puntos en la prueba Fagerström (Fagerström et al., 1996) de dependencia a la nicotina, adicionalmente se controló la comorbilidad con otras enfermedades y se les consultó si tenían un diagnóstico declarado de diabetes o hipertensión. El tercer grupo estuvo conformado por 50 participantes (26 mujeres y 25 hombres) que no cumplían ninguno de los criterios para ser considerados en los dos grupos previos y no presentaban comorbilidad con otras enfermedades metabólicas o de práctica frecuente de conductas de riesgo (por ejemplo, problemas de apuestas, uso excesivo de alcohol o sustancias prohibidas, entre otras).

#### **2.1.2 Protocolos experimentales**

Las muestras de sangre de todos los participantes fueron obtenidas entre las 8:00 y 8:30 de la mañana, las cuales eran parte de los estudios de laboratorio que integraron su expediente médico. Para los participantes de los grupos 2 y 3 se gestionó un permiso especial con la institución para poder llevar a cabo la toma de muestras y entrega de resultados, pese que a ellos no se les integraría un expediente médico en forma. A todos los participantes se les instruyó de mantener un ayuno de entre 8 a 10 horas previo a la obtención de muestras sanguíneas, solo podían ingerir pequeñas cantidades de agua y abstenerse totalmente de ejercicio físico extenuante.

### 2.1.3 Aparatos

El experimento fue conducido en una sola sesión con cada participante siendo evaluado en un mismo equipo de cómputo, de manera simultánea se pudo tener hasta a 5 participantes ya que se contó con cubículos independientes con computadora. Para los participantes de los grupos Diabetes y Fumadores se agendó una fecha en la cual les ajustara mejor para su colaboración en el experimento. Todos los estímulos fueron presentados en computadoras de escritorio con pantallas de 17 pulgadas, resolución 1680x1050 pixeles, sistema operativo Windows 7 y estuvo habilitado solo el uso del ratón. La plataforma en la cual se programaron las tareas experimentales fue Visual Basic.

### 2.1.4 Procedimiento

Una vez completada la lectura y firma del consentimiento informado, los participantes completaron dos tareas experimentales: tarea de descuento temporal y tarea de bisección temporal. Se implementó mediante un diseño aleatorio el orden de administración de las dos tareas experimentales.

#### 2.1.4.1 Tarea de descuento temporal

Se utilizó una versión computarizada como la desarrollada por Holt, Green y Myerson (2003) que será descrita a continuación.

La sesión comenzó cuando las siguientes instrucciones aparecían en el monitor:

En esta tarea te pediremos que tomes decisiones acerca de cuál de dos recompensas prefieres. Una de ellas estará siempre disponible de manera inmediata, mientras que para obtener la otra tendrías que esperar cierto tiempo. Por ejemplo, te pediremos que elijas entre: “**346 pesos entregados hoy ó 4518 pesos entregados en 2 días y medio**”, o bien en otro momento “**x pesos entregados hoy o z pesos entregados en 6 años**” Las cantidades entre las que elegirás serán distintas a las de este ejemplo. El ejercicio se repetirá con 6 pares de recompensas. Habrá un botón con el cual podrás

reiniciar tus elecciones si tienes duda en alguna de ellas o bien por si quieres elegir otra opción, este botón estará situado en la parte central de la pantalla. Las decisiones que tomes dependen totalmente de ti. Por favor selecciona la opción que tú prefieras, no la que pienses que queremos que elijas. Te informamos que no hay respuestas correctas ni incorrectas, por lo que nosotros no esperamos que elijas alguna en particular. Solo te pedimos que realices tus elecciones como si realmente fueras a obtener la recompensa que elijas.

Cuando el participante reportó una completa comprensión de las instrucciones, se presentaron 6 ensayos de entrenamiento para familiarizarlos con la tarea experimental. Una vez completada esa fase los participantes realizaron cinco ensayos de elección para cada tipo de descuento y para cada una de las siete demoras: dos semanas, un mes, seis meses, un año, tres años, cinco años y diez años. La primera posibilidad de elección presentada consistía en obtener una opción demorada y una inmediata, que era la mitad de la cantidad de la demorada. Si el participante elegía la recompensa pequeña-inmediata (\$5,000), para el siguiente ensayo el valor de la recompensa pequeña-inmediata disminuía la mitad de la cantidad inmediata previa. Si el participante elegía la opción grande-demorada (\$10,000), para el siguiente ensayo se incrementaba la cantidad de la recompensa pequeña-inmediata la mitad de la cantidad pequeña-inmediata previa. Este procedimiento iterativo se repitió hasta que de manera eficiente se encontró el valor de la recompensa pequeña-inmediata subjetiva equivalente a la cantidad grande-demorada, cabe aclarar que el valor subjetivo de cada una de las siete demoras fue obtenido para cada participante.

#### **2.1.4.1.1 Análisis de datos**

El análisis estadístico se condujo mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios y el ajuste de una función no lineal sobre los valores subjetivos promedio de la tarea de elección como una función de la demora de entrega. Se evaluó el grado de descuento a una cantidad de dinero hipotética mediante el ajuste de una función hiperbólica (Ecuación 1) a los datos individuales y se estimó el valor del parámetro

libre ( $k$ ), para obtener la tasa de descuento temporal la cual es una estimación de que tan pronunciado disminuye el valor subjetivo (la apreciación) del dinero subjetivo evaluado en las múltiples combinaciones de opciones intertemporales (recompensas pequeñas-inmediatas vs grandes-demoradas). Adicionalmente se realizaron comparaciones post hoc para cada par de grupos con la intención de evaluar si los grupos diferían en su grado de descuento.

#### **2.1.4.2 Tarea de bisección temporal**

Se presentó una tarea computarizada como la reportada por Droit-Volet y Wearden (2001), La sesión comenzó cuando las siguientes instrucciones aparecían en el monitor:

A continuación, te presentaremos una actividad en donde tu objetivo será prestar toda tu atención a las instrucciones que se presenten en la pantalla, de manera general tu objetivo será el diferenciar entre dos duraciones de tiempo que un círculo azul aparece en la pantalla de tu monitor, pueden ser una duración **corta** y una duración **larga**, para que posteriormente puedas clasificar diversas duraciones **intermedias** de tiempo nuevamente como **cortas** o **largas**, te recordamos que pongas toda tu atención y no te distraigas porque el círculo azul puede durar muy poco tiempo en la pantalla. Te informamos nosotros no esperamos que elijas alguna opción en particular. Solo te pedimos que realices tus clasificaciones con la mayor certeza posible.

La tarea de bisección se compuso de tres fases secuenciales, una de entrenamiento, una de evaluación del entrenamiento y finalmente una fase de prueba. En la etapa de entrenamiento únicamente se presentaron a los participantes, de manera alternada, dos duraciones estándares una corta (1000 ms) y una larga (4000ms) indicando mediante un mensaje previo al estímulo si se trataba de un estímulo corto o de uno largo; el total de ensayo de entrenamiento fueron 20 ensayos, 10 ensayos con duración corta y 10 ensayos con duración larga. El objetivo de esta

fase fue que los participantes asociaran las duraciones temporales de los estímulos con cada una de las dos posibles categorías de las duraciones (corta o larga), para que posteriormente pudieran discriminarlos apropiadamente. Una vez completada la fase de entrenamiento, se les presentaron a los participantes 10 ensayos al azar para cuantificar el grado de discriminación que presentaban, los estímulos podían ser de duración corta o larga solo que sin la presencia del mensaje inicial que indicaba su duración (segunda fase o evaluación del entrenamiento).

Si los participantes se les presentaba un ensayo (con duración corta o larga) y lo clasificaban apropiadamente (ya sea como corta o larga, según el caso) se presentaba un mensaje de retroalimentación indicando si su clasificación había sido correcta o incorrecta. Por lo que, de los 10 ensayos al azar, se esperaba que tuvieran un índice del 100% de clasificaciones correctas para poder pasar a la fase de prueba. Si los participantes presentaban un error en esta fase, se les volvía a presentar la fase de evaluación del entrenamiento para poder completar el criterio de discriminación del 100%. Si en algún caso los participantes habían tenido más de dos errores en la fase de evaluación del entrenamiento o bien ya habían repetido la fase de evaluación del entrenamiento en una ocasión, se les podía presentar nuevamente toda la fase de entrenamiento desde el inicio; si finalmente no volvían a cumplir el criterio de discriminación del 100% ya no serían participantes elegibles para la segunda fase (prueba) de la tarea de bisección temporal, debido a que los resultados podrían verse influenciados por una mala discriminación per se inherente a los participantes y no a las duraciones de los estímulos. Cabe resaltar que en ninguno de los casos se descartó algún participante por no haber completado el criterio de discriminación del 100% dentro de los criterios antes descritos.

Finalmente, en la etapa de prueba se presentaron de manera aleatoria tanto las duraciones estándares (corta o larga) como estímulos de duraciones intermedias entre ellas (duraciones prueba). La tarea de los participantes consistió en clasificar cada una de estas duraciones como “corto” o “largo”, según consideraban si la duración presentada se asemejaba más a la duración estándar corta o a la larga. La respuesta

de los participantes se emitió inmediatamente después de la presentación del estímulo. Ambas etapas de la tarea se presentaron diez veces de manera alternada, aleatorizando en cada etapa de prueba la aparición de las duraciones prueba y estándares. Los valores del rango de las duraciones presentadas fueron de 1000 a 4000 ms. El número de los estímulos prueba fue de cinco (1500, 2000, 2500, 3000 y 3500 ms), por lo que el total de duraciones presentadas es de siete (1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 y 4000 ms).

#### 2.1.4.2.1 Análisis de datos

Con la distribución de las respuestas de los participantes de la clasificación “corto o largo” de los estímulos presentados en la etapa de prueba, se obtuvo una función psicofísica en la que se intersectan los valores de las duraciones de los estímulos y su proporción de respuestas a la opción “largo”. Para calcular la *proporción de respuestas* a largo primero se obtiene, para cada duración presentada, el número de veces en que cada participante clasificó el estímulo como “largo”. Posteriormente se dividió el número de respuestas a “largo” obtenido entre el total de presentaciones de esa duración (10 ocasiones).

Para calcular el valor del *punto de bisección* se ajustó un modelo no lineal (logístico) de dos parámetros (ecuación 8) mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios. En donde  $P(L)$  es la probabilidad de clasificar un estímulo como largo,  $T_{50}$  y  $b$  son parámetros libres que expresan el punto de bisección y la pendiente de la función, respectivamente.

$$P(L) = \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{T_{50}}\right)^b} \quad \text{Ecuación 8}$$

El valor  $T_{50}$  de la función psicofísica o punto de bisección, es aquella duración a la que se clasifica el 50% de las presentaciones como “largo” y el otro 50% como “corto”, es decir, aquella duración a la que se es indiferente. El valor del parámetro  $b$ , al ser la pendiente de la función psicofísica es un índice de sensibilidad temporal que

refleja la conducta observada, de manera general se le atribuye que a mayores valores de la pendiente se asocia una mayor sensibilidad temporal.

Una vez que los parámetros han sido calculados mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios, el punto de bisección (la duración temporal en la cual  $p(\text{largo}) = 0.5$ ) el limen diferencial (la mitad de la diferencia entre el tiempo en el que  $p(\text{largo}) = 0.75$  y  $p(\text{largo}) = 0.25$ ) y la fracción de Weber (limen diferencial dividido por el punto de bisección) fueron analizados usando análisis de varianza de una vía mediante pruebas independientes, de existir diferencias estadísticamente significativas se computaron las pruebas *post-hoc* correspondientes a cada efecto principal.

## **2.2 Experimento 2**

### **2.2.1 Participantes**

En total, 90 participantes dieron su consentimiento informado por escrito y posteriormente completaron las tareas experimentales a la par de las manipulaciones farmacológicas. En este estudio se evaluaron a 30 pacientes con diabetes tipo 2 recién diagnosticada ( $38 \pm 7$  años) y 60 participantes control o sanos ( $35 \pm 5$  años). Sólo se trabajó con varones para evitar diferencias hormonales en el desempeño de las tareas, debido a que se han reportado diferencias relacionadas con el sexo en varios procesos cognitivos, tales como la inhibición de la respuesta (Fillmore y Weafer, 2004) y la expectativa de recompensa (Azim et al., 2005) y memoria de trabajo (Duff y Hampson, 2001).

Para evitar la influencia de la edad, la medicación y las complicaciones vasculares en la cognición, hemos reclutado sólo pacientes recién diagnosticados de mediana edad sin complicaciones diabéticas que nunca habían recibido ningún medicamento para la diabetes del Centro de Gestión de la Diabetes del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Todos los pacientes fueron diagnosticados con diabetes tipo 2 según la definición de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2016). Todos los pacientes fueron sometidos a evaluación oftalmológica en la participación en el estudio, y los que tenían retinopatía fueron excluidos debido a que la retinopatía diabética es un marcador de daño cerebral microvascular que deteriora la función de PFC (Wessels et al., 2006).

Los criterios de exclusión para todos los participantes fueron antecedentes de trastorno psiquiátrico o neurológico, demencia, epilepsia, traumatismo craneal, pérdida del conocimiento, abuso de alcohol y/o sustancias, complicaciones microvasculares o macrovasculares, incluyendo accidente cerebrovascular o enfermedad cardiovascular y antecedentes de tratamiento regular hipertensión arterial. Se les pidió a los participantes que se abstuvieran de fumar, tomar cafeína, comer o realizar ejercicio pesado antes de la participación, los participantes fueron recompensados con una cantidad de dinero (\$100 pesos mexicanos) con una probabilidad de 1/6.

### **2.2.2 Protocolo experimental**

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de dos grupos, algunos participantes sanos fueron asignados al grupo estrés inducido y otros participantes sanos al grupo placebo, aquellos pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión fueron asignados al grupo diabetes. Se empleó una dosis única de 20 mg de hidrocortisona para elevar el cortisol endógeno a un nivel equivalente al estrés agudo moderado para el grupo experimental (Abercrombie et al., 2003, 2011). Para reducir el impacto de la variación diurna en los niveles de cortisol, todas las pruebas se realizaron por la tarde, entre las 16:00 h ( $\pm$  30 min) y las 18:00 h ( $\pm$  30 min), cuando los niveles hormonales son relativamente más estables. La administración del fármaco y las tareas experimentales se realizaron en 3 cubículos independientes aislados lo más posible de ruido. Se realizaron evaluaciones múltiples con la colaboración de dos asistentes de investigación. A su llegada, los participantes recibieron un folleto de información sobre el procedimiento, dieron su consentimiento informado y completaron un cuestionario de admisión para asegurar que se cumplieran los criterios de inclusión y exclusión. Treinta minutos después de la llegada, se tomó una primera muestra de saliva.

### **2.2.3 Aparatos**

El experimento fue conducido en una sola sesión con cada participante siendo evaluado en un mismo equipo de cómputo, de manera simultánea se pudo tener hasta a 3 participantes ya que se contó con cubículos independientes con computadora. Todos los estímulos fueron presentados en una computadora de escritorio con pantalla de 21 pulgadas con una resolución 1920x1080 pixeles, sistema operativo Windows 8 y estuvo habilitado solo el uso del ratón. La plataforma en la cual se programaron las tareas experimentales fue Visual Basic.

### **2.2.4 Procedimiento**

Se llevó a cabo el mismo procedimiento delineado en el apartado 2.1.4.

### **2.2.4.1 Tarea de descuento temporal**

La tarea de descuento temporal fue similar a la presentada en el experimento 1.

#### **2.2.4.1.1 Análisis de datos**

La metodología de estimación de parámetros y selección de modelos se llevó a cabo mediante técnicas bayesianas que permitieron comparar los 5 modelos de descuento temporal propuestos, pero que a su vez estiman los parámetros que hacen más verosímil los datos empíricos encontrados, por lo que una vez que se tuvo evidencia empírica de los pacientes con diabetes y el efecto que el cortisol ejerció sobre la tarea de descuento temporal, se procedió a implementar la estimación por máxima verosimilitud de los parámetros para estos modelos en R (R Development Core Team, 2017) y RStudio (RStudio Team, 2017). Una vez elegido el modelo que haga más verosímil a los datos, se procedió a estimar el/los parámetros correspondientes para cada participante de en cada uno de los tres grupos, y poder comparar por medio de un ANOVA Bayesiano, las diferencias que existen entre los grupos, teniendo información robusta acerca del tamaño del efecto, el análisis estadístico se llevó a cabo en JASP (JASP Team, 2017). Para más detalles consultar el Anexo 1.

### **2.2.4.2 Tarea de bisección temporal**

La tarea de bisección temporal fue similar a la presentada en el experimento 1.

#### **2.2.4.2.1 Análisis de datos**

La metodología de estimación de parámetros se llevó a cabo mediante la estimación por máxima verosimilitud de los 3 modelos logísticos, de uno y dos parámetros, al igual que en la tarea de descuento temporal, y se explotará la técnica bayesiana para estimar los parámetros que hagan más verosímiles las funciones psicofísicas de la tarea, lo cual a su vez nos permitirá comparar entre los diversos modelos que difieren en complejidad, se procedió a implementar la estimación por máxima verosimilitud de los parámetros para estos modelos en RStudio (RStudio Team, 2017). Una vez definido el modelo que haga más verosímil los datos, se procedió a estimar el/los

parámetros correspondientes para cada participante de en cada uno de los tres grupos, y poder comparar por medio de un ANOVA Bayesiano, las diferencias que existen entre los grupos, teniendo información robusta acerca del tamaño del efecto, el análisis estadístico se llevó a cabo en JASP (JASP Team, 2017). En el Anexo 2, se muestra el diseño general de los experimentos.

### **3. Resultados**

#### **3.1 Experimento 1**

La estructura de esta sección se desarrolla con base en la información proveniente de la tarea de descuento temporal la cual será descrita al principio, posteriormente se describen los resultados pertenecientes a la tarea de bisección temporal y finalmente, la relación entre los indicadores de ambas tareas, todas las estimaciones de los parámetros, el ajuste de los modelos y las pruebas estadísticas en el presente experimento están realizados mediante el ajuste de modelos no lineales a través del algoritmo de mínimos cuadrados ordinarios.

##### **3.1.1 Tarea de descuento temporal**

En la figura 1 se muestra los puntos de indiferencia (momento en que los participantes evaluaron que la opción pequeña-inmediata era equiparable a la opción grande-demorada) los círculos rellenos representan el grupo control, los círculos vacíos al grupo de pacientes con diabetes, y los triángulos invertidos al grupo de fumadores. Los datos representan las medianas de los respectivos grupos y las líneas continuas, el mejor ajuste de la ecuación 1 a esos datos, las líneas continuas representan el mejor ajuste de la función de descuento temporal hiperbólico (ecuación 1). En el eje de las abscisas se encuentra la demora de entrega en meses y en el eje de las ordenadas se observa el valor subjetivo del dinero a recibir.

Para el grupo diabetes la tasa de descuento temporal hiperbólico ( $k$ ) fue de 3.46 y para el grupo fumadores 1.80. Se observa que estos dos grupos tienen valores más altos de descuento temporal hiperbólico en comparación al grupo control ( $k = 0.13$ ). Dicho en otras palabras, se observa en la figura 1, que la preferencia por las opciones pequeñas-inmediatas fue mayor en el grupo de pacientes con diabetes y fumadores; sin embargo, ambos grupos (pacientes con diabetes y fumadores) muestran básicamente el mismo patrón de elecciones intertemporal. Por su parte lo que caracteriza al grupo control, es una mayor preferencia por las opciones grandes-demoradas en comparación con los otros dos grupos.

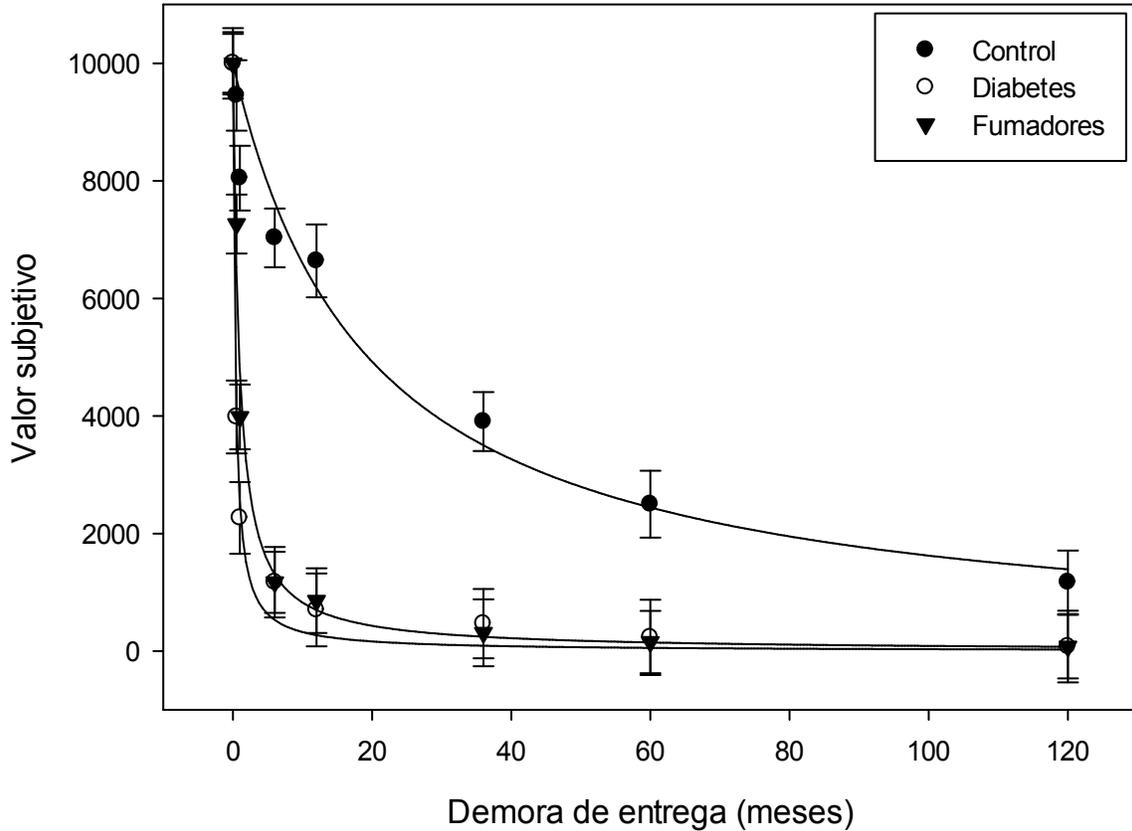


Figura 1. Funciones de descuento temporal hiperbólicas (Ecuación 1). El valor subjetivo (magnitud de dinero hipotético) en función de la demora de entrega del mismo, para los tres grupos en el experimento. Las líneas continuas indican las funciones de descuento de mejor ajuste de acuerdo a la ecuación 1.

El análisis de varianza ómnibus de una vía (ANOVA) mostró diferencias significativas entre los diferentes grupos  $F(2,147) = 79.858, p < 0.01$ . En la Tabla 1, se muestra la prueba post-hoc de Sheffé, los resultados nos indican que la mediana del grupo de pacientes con diabetes y del grupo de fumadores es diferente a la del grupo control con un nivel de significancia de  $p < 0.01$  en ambos grupos. Es importante señalar la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de pacientes con diabetes y fumadores.

Tabla 1. Pruebas Post-hoc de Sheffé para la tasa de descuento temporal hiperbólica en los tres grupos.

	Control	Diabetes	Fumadores
Control		**	**
Diabetes	**		x
Fumadores	**	x	

(\*\* :  $p < 0.01$ ; x:  $p > 0.05$ ).

### 3.1.2 Tarea de bisección temporal

La Figura 2 muestra el trazo de la proporción promedio de las respuestas a la opción “Largo” en función de la duración del estímulo para cada grupo. Una inspección detallada de las funciones psicofísicas sugiere que, en todos los grupos, la proporción de respuestas a la opción largo incrementaron con la duración del estímulo: el punto de bisección del grupo de pacientes con diabetes fue de 1860 ms, para el grupo de fumadores fue de 2134 ms y para el grupo control fue de 2489 ms (los puntos de bisección se indican con las líneas punteadas verticales de la figura 2). Las funciones psicofísicas provenientes de los grupos de pacientes con diabetes y fumadores están sistemáticamente desplazadas a la izquierda, en comparación con el grupo control. Por lo tanto, el punto de bisección de los grupos de pacientes con diabetes y fumadores es más pequeño que el observado en el grupo control. Sin embargo, el grupo de pacientes con diabetes, muestra una mayor sobreestimación de tiempo en comparación con los grupos restantes.

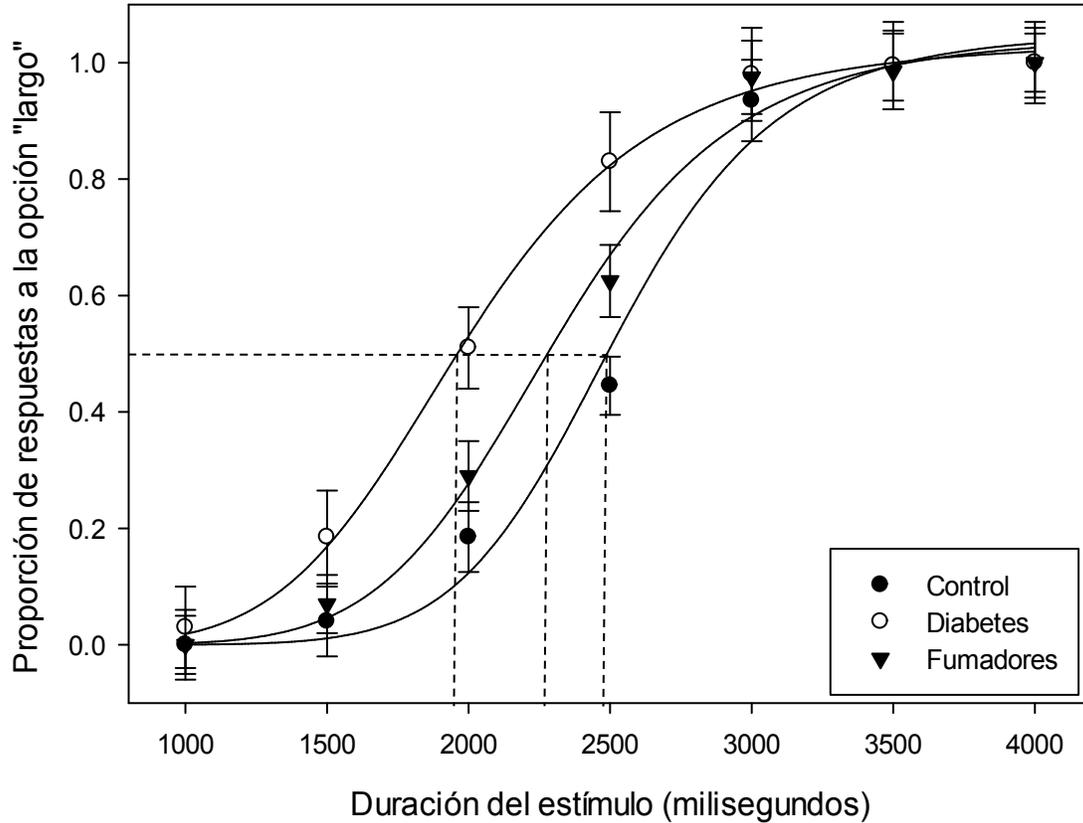


Figura 2. Proporción de respuestas a la opción “Largo” en función de la duración del estímulo. La figura muestra los datos de los tres grupos y las líneas continuas son las funciones logísticas de 2 parámetros que mejor ajustan (ecuación 8) a los datos, las líneas punteadas indican los puntos de bisección para cada grupo.

El ANOVA ómnibus de una vía mostró diferencias significativas en el punto de bisección de todos los grupos [ $F(2, 147) = 49,51, p < 0.01$ ]. En la Tabla 2, se muestra la prueba Post-hoc de Sheffé, la cual muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de pacientes con diabetes, fumadores y el grupo control. A su vez se puede observar que no existen diferencias en el punto de bisección entre los pacientes con diabetes y fumadores.

Tabla 2. Pruebas Post-hoc de Sheffè para el punto de bisección en los tres grupos.

	Control	Diabetes	Fumadores
Control		**	*
Diabetes	**		x
Fumadores	*	x	

(\*\*:  $p < 0.01$ ; \*:  $p < 0.05$ ; x:  $p > 0.05$ ).

Para establecer relaciones entre los índices de elección intertemporal y de estimación temporal, la figura 3 muestra las correlaciones entre la tasa de descuento temporal ( $k$ ) de la ecuación 1 y la concentración de cortisol en el torrente sanguíneo (mg/dL) para los diferentes grupos, se puede observar que hay una correlación más robusta en los grupos de pacientes con diabetes y fumadores, (en donde en ambos casos se encontró que existía significancia estadística) en comparación al grupo control.

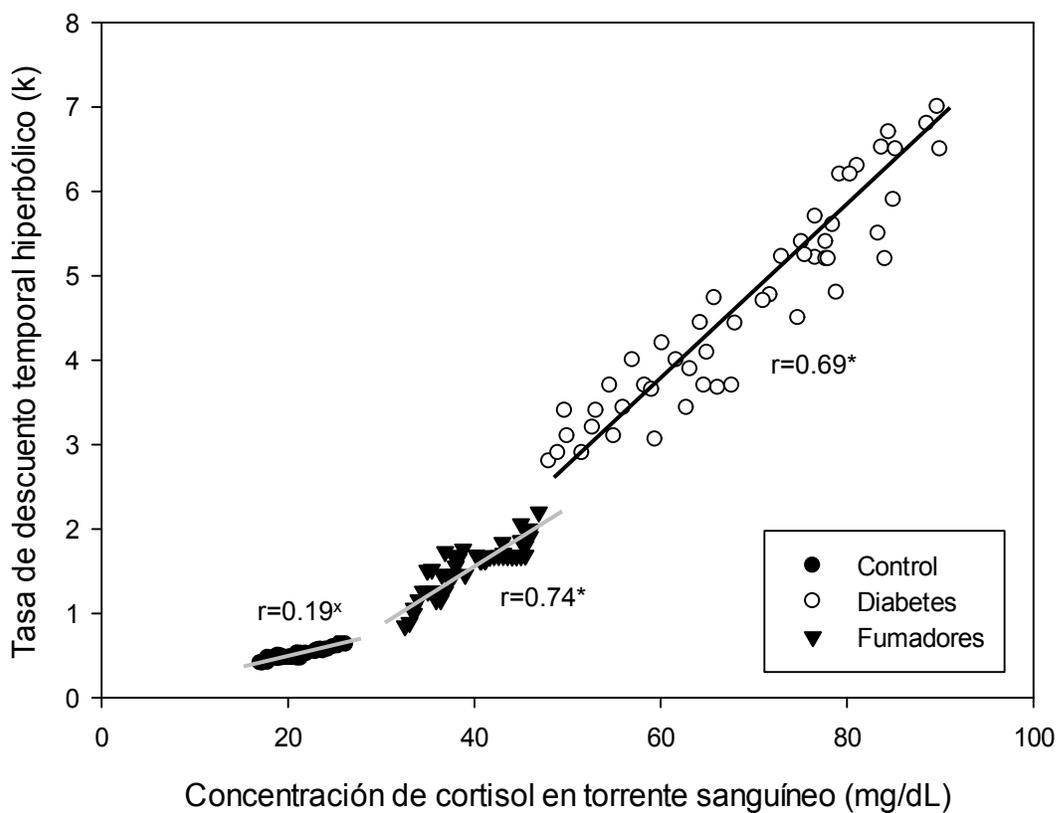


Figura 3. Diagrama de dispersión de la tasa de descuento temporal hiperbólica ( $k$ ) de la ecuación 1 en función de la concentración de cortisol en el torrente sanguíneo para los tres grupos. (\*:  $p < 0.05$ ;  $p > 0.05$ ).

Por su parte la figura 4, muestra las correlaciones entre el punto de bisección (ms) y la concentración de cortisol en el torrente sanguíneo (mg/dL). Nuevamente se observa una correlación más robusta en los grupos de pacientes con diabetes y fumadores, (en donde en ambos casos se encontró que existía significancia estadística) en comparación al grupo control.

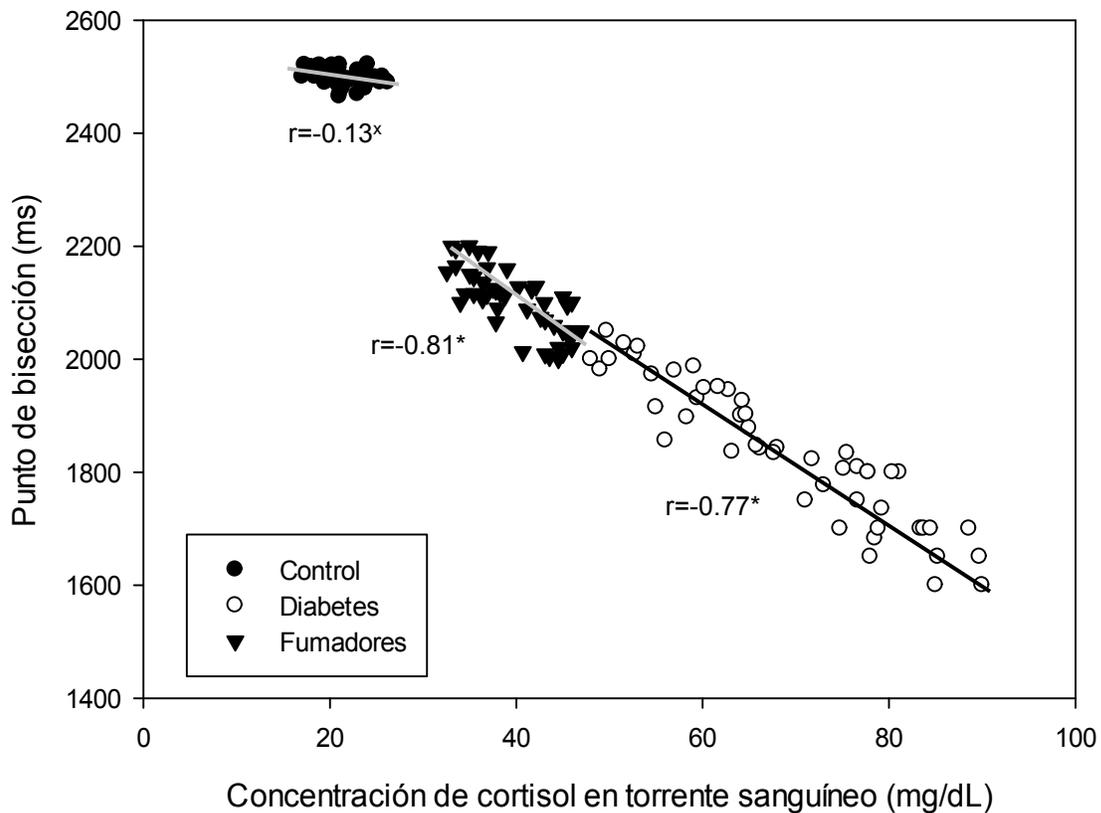


Figura 4. Diagrama de dispersión del punto de bisección (ms) en función de la concentración de cortisol en el torrente sanguíneo en los tres grupos. (\*:  $p < .05$ ;  $x: p > 0,05$ ).

## **3.2 Experimento 2**

En esta sección, en primer lugar, se muestran los datos con los estadísticos descriptivos para cada grupo, posteriormente, se presentan los análisis por cada individuo para los procedimientos de descuento temporal y bisección temporal, finalmente, se muestra la relación entre los índices de elección intertemporal y estimación temporal. Los análisis realizados en este experimento se llevaron a cabo mediante estimación por mínimos cuadrados ordinarios y por máxima verosimilitud de los 5 modelos de descuento temporal (ecuaciones 1 a 5) y los modelos logísticos de dos parámetros en bisección temporal (ecuaciones 6 a 8). Se reportan las estimaciones de los parámetros, su error estándar asociado, los puntajes crudos del criterio de información de Akaike, los pesos de Akaike y las probabilidades normalizadas para comparar entre los diversos modelos.

### **3.2.1. Estadísticos descriptivos**

En la tabla 5 se pueden observar las diferencias en el valor medio para los grupos en el estudio. Se debe poner especial atención al grupo de estrés inducido, ya que la elevación del cortisol salival después de la ingestión de hidrocortisona (20mg), fue cuantificada y generó diferencias estadísticamente significativas en los índices de concentración de cortisol salival [ $t(58)=14.23, p < 0.01$ ]. Para los grupos control [ $t(58)=1.11, p > 0.05$ ] y los pacientes con diabetes [ $t(58)=0.97, p > 0.05$ ], no existieron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de cortisol salival debido a la ingestión del placebo.

Tabla 5. Media y desviación estándar para cada uno de los parámetros principales en los procedimientos de bisección temporal y de descuento temporal en los tres grupos después de la ingestión de cortisol o placebo.

Grupo Índice	Control		Diabetes		Estrés	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
CCS	20.63	7.32	60.28	14.01	56.10	9.52
*k	0.17	0.09	3.56	1.26	3.22	0.65
PB	2551	72.25	1886	109.34	1959	98.71
LD	276.60	6.23	226.32	11.86	215.49	9.85
RW	0.11	0.01	0.12	0.01	0.11	0.01

CCS: Concentración de cortisol en saliva. \*k: Mediana de la tasa de descuento temporal hiperbólico de la ecuación 1. PB: Punto de bisección. LD: Limen diferencial. RW: Razón de Weber. DE: Desviación estándar.

### 3.2.2 Tarea de descuento temporal

Para mostrar los resultados del paradigma de descuento temporal, se muestra en la figura 6, la magnitud de dinero hipotético evaluada en función de la demora a su entrega en meses, por lo que se trazan las funciones no lineales de mejor ajuste de la ecuación 1. Los círculos rellenos representan el grupo control, los círculos vacíos al grupo de pacientes con diabetes y los triángulos rellenos al grupo de participantes a los que se les indujo estrés por vía farmacológica. Para los últimos dos grupos, la Figura 5 muestra funciones de descuento más pronunciadas para los grupos estrés inducido ( $k=3.22$ ) y pacientes con diabetes ( $k=3.56$ ) en comparación a las generadas por el grupo control ( $k=0.17$ ). Por lo que, la preferencia por las opciones pequeñas-inmediatas fue mucho mayor en el grupo de pacientes con diabetes y en el grupo de estrés inducido; no obstante, ambos grupos presentan el mismo patrón de elección intertemporal en donde las opciones grandes-demoradas fueron elegidas en menor proporción.

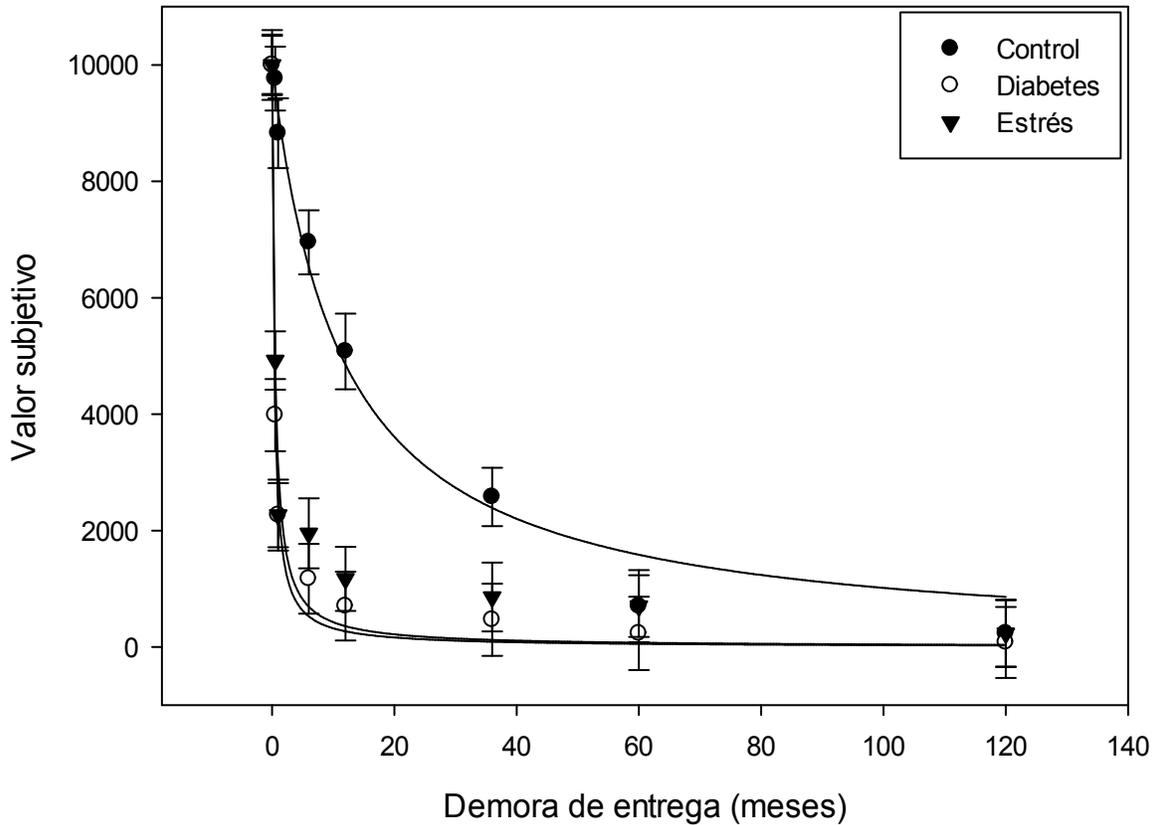


Figura 5. Funciones de decaimiento hiperbólico para los grupos en el estudio y el mejor ajuste de la ecuación 1.

El grupo control muestra una mayor proporción por las opciones grandes-demoradas, por lo que las tasas de descuento temporal hiperbólico para los participantes de este grupo fueron menos pronunciadas en comparación con los pacientes con diabetes y con el grupo de participantes que se les indujo estrés farmacológicamente. El ajuste de la ecuación 1 fue empleado para estimar el parámetro  $k$  para cada participante de cada uno de los diferentes grupos en el experimento. Una transformación logarítmica del parámetro  $k$  normalizó la distribución típicamente sesgada y permitió que el análisis paramétrico de comparación múltiple de medias se llevara a cabo. Un análisis de varianza ómnibus de una vía (ANOVA) mostró diferencias significativas entre grupos [ $F(2,87) = 115.39$   $p < 0.01$ ] para el factor de descuento normalizado ( $\ln k$ ).

En la tabla 6, se muestra la prueba Post-hoc de Sheffé, la cual muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de pacientes con diabetes, el grupo de estrés inducido y el grupo control. A su vez se puede observar que no existen diferencias en el punto de bisección entre los pacientes con diabetes y el grupo de estrés inducido.

Tabla 6. Pruebas Post-hoc de Sheffè para la tasa de descuento temporal ( $k$ ) en los tres grupos.

	Control	Diabetes	Estrés
Control		**	**
Diabetes	**		x
Estrés	**	x	

(\*\* :  $p < .01$ ; x :  $p > 0,05$ ).

### 3.2.3 Tarea de bisección temporal

La Figura 6 muestra el promedio de proporciones de las respuestas de elección para la opción “larga”, como función de la duración del estímulo (ms). El patrón de elección es similar entre los grupos de pacientes con diabetes y el grupo de estrés inducido, ya que el punto de bisección ( $T_{50}$  en la ecuación 6) es más pequeño que el observado en el grupo control. Los grupos de DMT2 y de estrés inducido, muestran un menor punto de bisección o en otras palabras una mayor sobreestimación del tiempo objetivo en contraste al grupo control. El ANOVA ómnibus de una vía presenta diferencias significativas en el punto de bisección entre el grupo control y los grupos de DMT2 y de estrés inducido, [ $F(2,87) = 49,51, p < 0.01$ ].

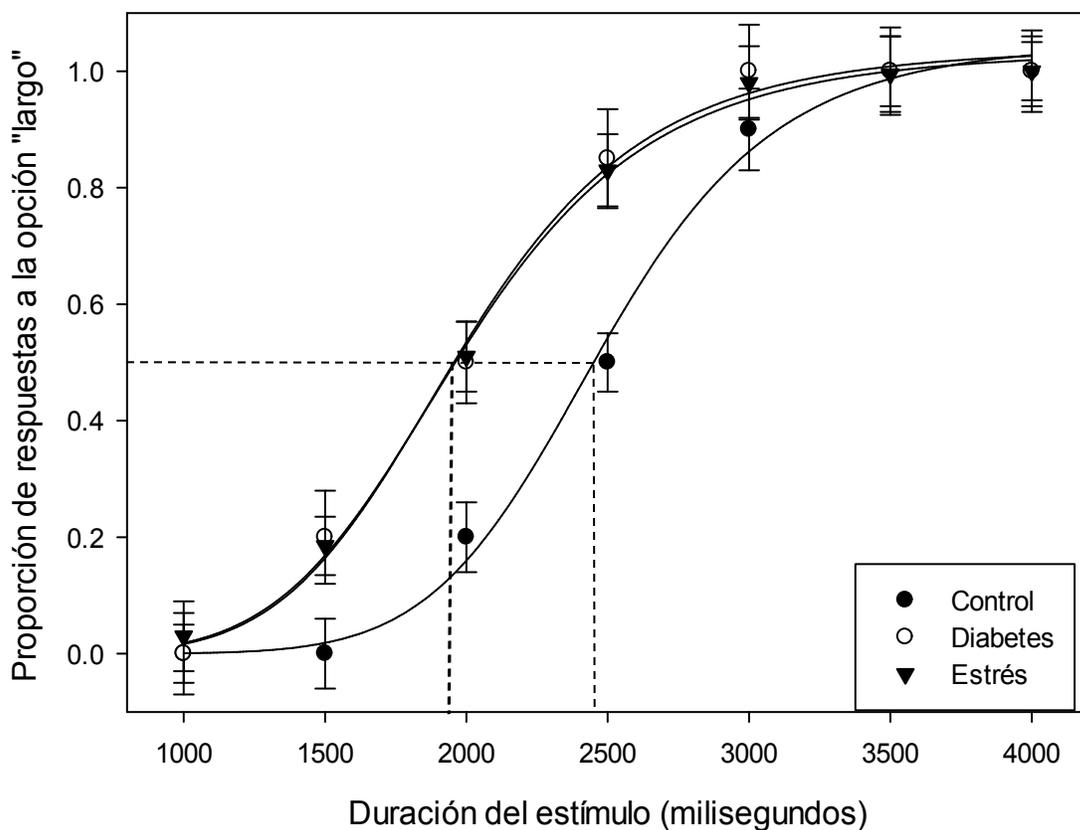


Figura 6. Proporción promedio de las respuestas de elección a los estímulos largos como una función de la duración del estímulo y el mejor ajuste de la ecuación 6, las líneas punteadas indican los puntos de bisección para cada grupo.

En la Tabla 7, se muestra la prueba Post-hoc de Sheffé, la cual muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de pacientes con diabetes, el grupo de estrés inducido y el grupo control. A su vez se puede observar que no existen diferencias en el punto de bisección entre los pacientes con diabetes y el grupo de estrés inducido.

Tabla 7. Pruebas Post-hoc de Sheffé para el punto de bisección en los tres grupos.

	Control	Diabetes	Estrés
Control		**	**
Diabetes	**		x
Estrés	**	x	

(\*\* :  $p < .01$ ; x :  $p > 0,05$ ).

Para obtener indicadores de sensibilidad temporal, se calculó el limen diferencial y las fracciones Weber y un ANOVA ómnibus de una vía reveló diferencias estadísticamente significativas [ $F(2,87) = 15.42, p < .01$ ].

En la Tabla 8, se muestra la prueba Post-hoc de Sheffé, la cual muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de pacientes con diabetes, el grupo de estrés inducido y el grupo control. A su vez se puede observar que no existen diferencias en el punto de bisección entre los pacientes con diabetes y el grupo de estrés inducido.

Tabla 8. Pruebas Post-hoc de Sheffé para el punto de bisección en los tres grupos.

	Control	Diabetes	Estrés
Control		*	*
Diabetes	*		x
Estrés	*	x	

(\*:  $p < .05$ ; x:  $p > 0,05$ ).

Finalmente, se realizó un ANOVA ómnibus de una vía para proporciones Weber, y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos [ $F(2,87) = 3,42, p > 0.05$ ].

Para los diferentes grupos, la figura 7 muestra las correlaciones lineales entre la tasa de descuento temporal normalizada ( $\ln k$ ) y la concentración de cortisol salival (nmol/L). Los resultados indican una relación entre los niveles de cortisol sobre la tasa de descuento temporal, en donde a mayor concentración de cortisol salival mayor es la tasa de descuento temporal, se puede observar que esta relación está más claramente definida en el grupo de pacientes con diabetes y el grupo de participantes a los cuales se les indujo farmacológicamente estrés, por simple inspección visual se observa que prácticamente siguen un mismo patrón lineal; el cual no es el caso para el grupo control en donde no se percibe una relación lineal debido a que el rango de valores de la concentración de cortisol salival es menor, mostrando los datos una pendiente prácticamente nula entre las variables de interés. Los índices de las

correlaciones fueron positivas entre la concentración de cortisol salival y el logaritmo natural del parámetro de descuento temporal ( $k$ ) de grupo de pacientes con diabetes ( $r= 0.93$ ;  $p<0.01$ ), y para el grupo de estrés inducido ( $r= 0.89$ ;  $p<0.05$ ), contrastando con los resultados de estos dos grupos, el grupo control no muestra diferencia significativa en la estimación del descuento temporal normalizado ( $r= 0.19$ ;  $p>0.05$ ).

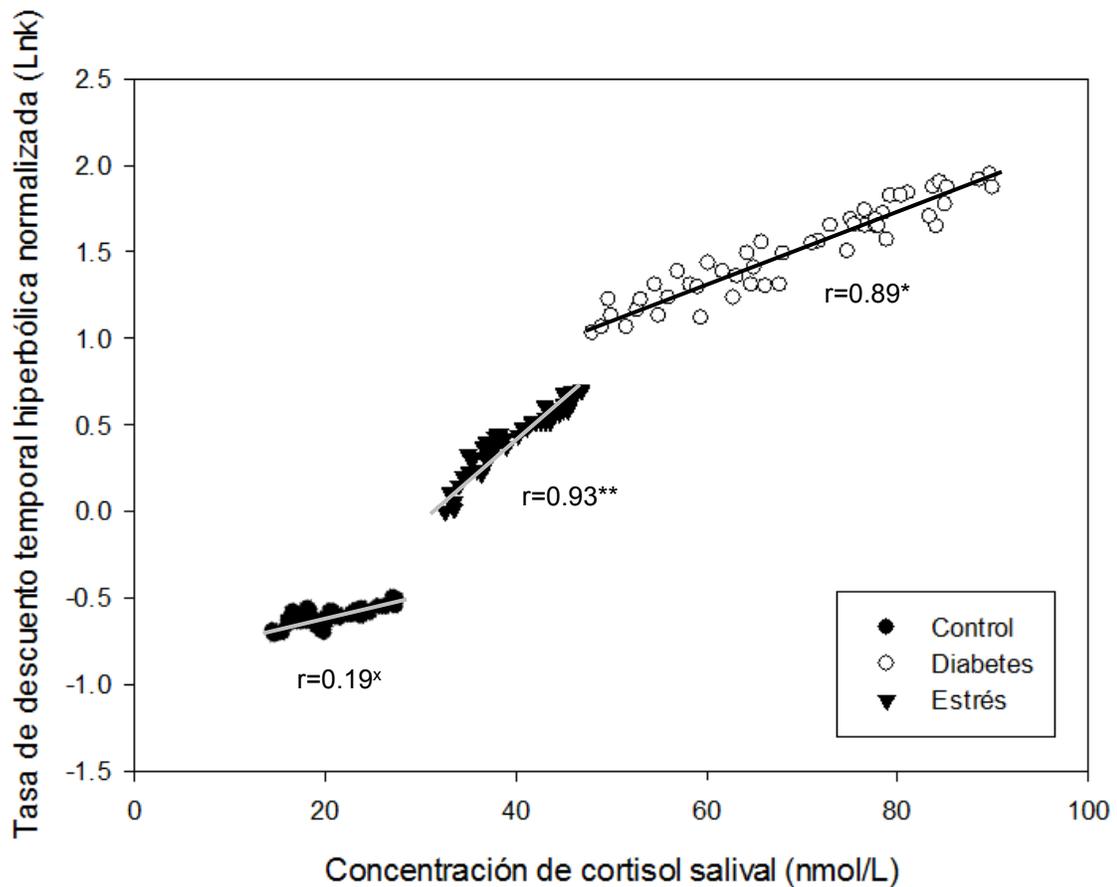


Figura 7. Tasa de descuento temporal normalizada ( $\ln k$ ) como una función de la concentración de cortisol salival. (\*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$ ; x:  $p > 0,05$ ).

La figura 8 muestran correlaciones negativas entre la correlación de cortisol y el punto de bisección normalizado. Este resultado probablemente se debe a que los aumentos en los niveles de cortisol tienden a asociarse más con los valores pequeños que con los valores grandes del punto de bisección; por lo que los participantes perciben los estímulos “cortos” más largos de lo que realmente son, así que los

clasificaron como estímulos “largos”. Los valores de las correlaciones negativas entre la concentración de cortisol y el punto de bisección fueron mayores para el grupo de pacientes con diabetes y el grupo de estrés inducido ( $r = -0.82$  y  $-0.91$ , respectivamente y que fueron estadísticamente significativas,  $p < 0.05$ ) que el valor de correlación obtenido para el grupo control ( $r = -0.28$ ), el cual no fue estadísticamente significativo ( $p > 0.05$ ).

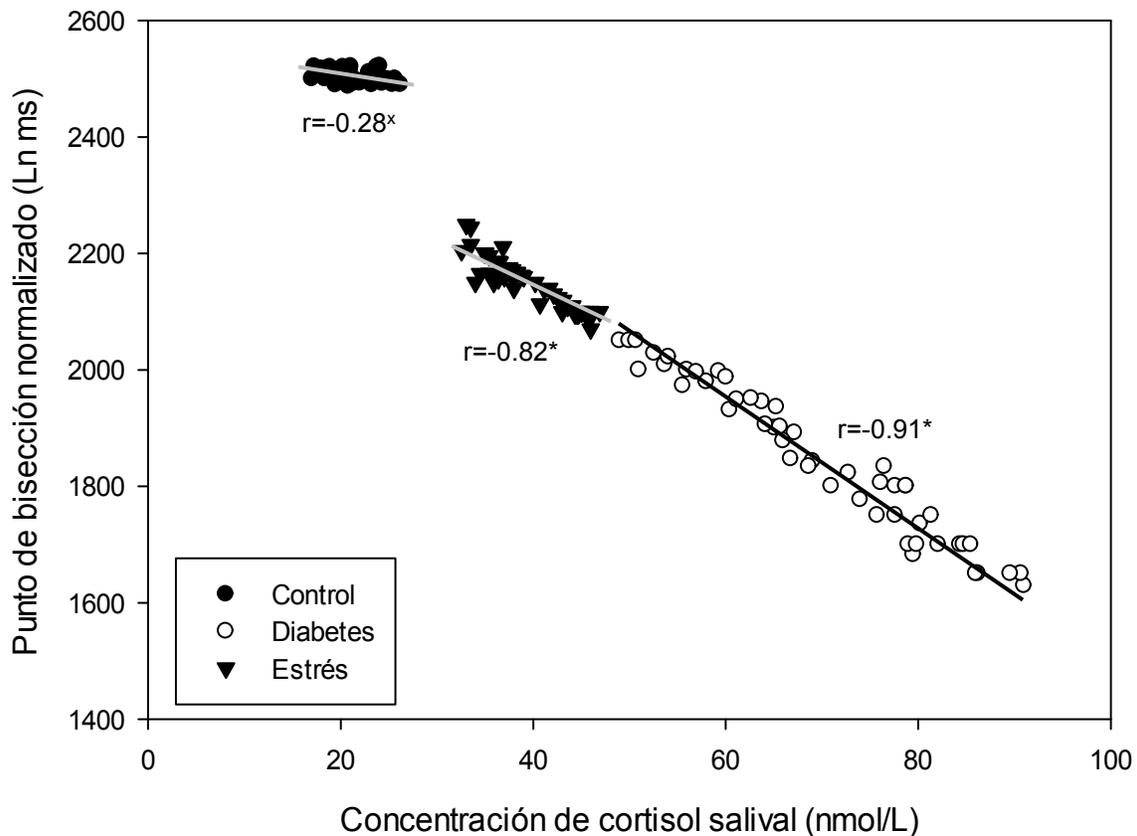


Figura 8. Punto de bisección normalizado (Ln ms) como una función de la concentración de cortisol salival. (\*:  $p < .05$ ; \*\*:  $p < .01$ ; x:  $p > 0,05$ ).

### 3.3 Comparación de modelos mediante criterios de información y estimación de parámetros mediante máxima verosimilitud.

Al modelar algún fenómeno de la naturaleza, es de primordial importancia la selección del modelo, es decir, elegir dentro de un conjunto de modelos alternativos el modelo más apropiado para el fenómeno a describir, controlar e inclusive predecir su comportamiento. En tal caso es deseable estimar un estadístico que permita

seleccionar entre un modelo u otro. En este caso se estimará el índice AIC (Criterio de información de Akaike) el cual es un criterio de uso frecuente para la selección de modelos. El AIC fue propuesto por Akaike (1974) como un estimador insesgado asintótico de la información de Kullback-Leibler esperada, entre un modelo candidato ajustado y el verdadero modelo. Adicionalmente una vez que se estime el modelo más verosímil para los datos empíricos en ambas tareas, se comparará mediante un ANOVA bayesiano si los efectos de las distintas condiciones en el experimento 2, presentan evidencias robustas a favor de las diferencias observadas entre las puntuaciones de las dos tareas experimentales.

### 3.3.1 Tarea de descuento temporal

El procedimiento de descuento temporal se evaluó mediante un diseño secuencial de tres fases, los resultados de cada participante para cada uno de los tres grupos se evaluaron con estimaciones de Akaike con sus respectivos valores delta y pesos asociados. Estas comparaciones se realizaron para elegir el modelo que tuviera la mayor verosimilitud que genere las distribuciones de decaimiento individual en el valor subjetivo del dinero hipotético debido a la demora de entrega para cada uno de los grupos en el experimento 2. A continuación, en la tabla 9 muestra los resultados del análisis mediante el criterio de Akaike con sus respectivos índices, para una revisión más detallada sobre este análisis consultar el anexo 1.

Tabla 9. Resultados del análisis AIC para 5 modelos competidores.

Modelo	Grupo	# Par <sub><i>i</i></sub>	Control			Diabetes			Estrés		
			AIC <sub><i>i</i></sub>	Δ <sub><i>i</i></sub> (AIC)	w <sub><i>i</i></sub> AIC	AIC <sub><i>i</i></sub>	Δ <sub><i>i</i></sub> (AIC)	w <sub><i>i</i></sub> AIC	AIC <sub><i>i</i></sub>	Δ <sub><i>i</i></sub> (AIC)	w <sub><i>i</i></sub> AIC
1		1	-16.21	0	0.835	14.12	0	0.380	17.26	0	0.448
2		1	-12.23	3.98	0.114	18.92	4.8	0.094	24.12	6.86	0.014
3		2	-6.24	9.97	0.006	15.23	1.11	0.218	19.93	2.67	0.118
4		2	-4.46	11.75	0.002	17.78	3.66	0.061	19.75	2.49	0.129
5		2	-10.27	5.94	0.043	14.97	0.85	0.248	18.12	0.86	0.291

# Par<sub>*i*</sub> = Número de parámetros estimados para el modelo *i*; AIC<sub>*i*</sub> = Criterio de Akaike para el modelo *i*; Δ<sub>*i*</sub>(AIC) = [AIC<sub>*i*</sub> – mínimo(AIC)]; w<sub>*i*</sub>AIC = Peso Akaike para el modelo *i*.

Se observa que la función hiperbólica de descuento (ecuación 1) fue el modelo que generó el valor más pequeño en los tres grupos (AIC= -16.2, 14.1 y 17.26 respectivamente), indicando que la ecuación 1 es el modelo que tiene la mayor verosimilitud de ser correcto. Por otra parte, a un nivel más fino, el modelo 1 del grupo control es aquel que muestra una mayor verosimilitud de generar dichos datos ( $p=0.835$ ). Y de manera general se observa que los modelos para los grupos de pacientes con diabetes y participantes con estrés inducido, muestran menores diferencias ( $\Delta_i$ (AIC)).

Para la segunda fase se seleccionó el modelo hiperbólico de la ecuación 1 (Mazur, 1987), por ser este el modelo que tiene la mayor verosimilitud de ser correcto de acuerdo al índice AIC, con los valores de los parámetros obtenidos para cada participante se efectuó un ANOVA ómnibus bayesiano con la finalidad de obtener la probabilidad condicional para evaluar las posibles diferencias entre las distribuciones de esos valores a través de los diferentes grupos.

El resultado del ANOVA omnibus bayesiana, en donde se resalta el efecto de las diferencias entre los grupos, se observa que la estimación es  $BF_{10} = 1.252e^{19}$  lo cual según Wagenmakers y colaboradores (2010) es un factor decisivo para favorecer el efecto del grupo sobre la tasa de descuento temporal hiperbólica de la ecuación 1.

Una vez que se encontró información robusta acerca del efecto del grupo sobre los datos estimados, es pertinente ahora bien observar de manera específica en donde se encuentran dichas diferencias, por lo que se computaron las comparaciones post-hoc del ANOVA bayesiano, los principales resultados se encuentran en la tabla 10 y de los cuales destacan nuevamente los factores de Bayes para cada par de grupos comparados.

Tabla 10. Comparaciones Post Hoc Bayesianas de los grupos

		<b>a-Priori Odds</b>	<b>a-Posterior Odds</b>	<b>BF<sub>10</sub></b>	<b>% error</b>
Control	Diabetes	0.587	1.789e <sup>12</sup>	3.046e <sup>12</sup>	2.643e <sup>-17</sup>
	Estrés	0.587	3.028e <sup>28</sup>	5.155e <sup>28</sup>	1.612e <sup>-32</sup>
Diabetes	Estrés	0.587	0.291	0.496	0.006

Nota. Las probabilidades posteriores se han corregido para pruebas múltiples fijando a 0,5 la probabilidad previa de que la hipótesis nula se mantenga en todas las comparaciones (Westfall, Johnson y Utts, 1997). Las comparaciones individuales se basan en la prueba t predeterminada con una distribución Cauchy (0,  $r = 1 / \sqrt{2}$ ) anterior.

Se muestra con un nivel más fino de detalle las comparaciones post hoc entre el grupo control y el grupo de pacientes con diabetes, se encuentra que esta comparación guarda un  $BF_{10} = 3.046e^{12}$  lo que se considera un factor decisivo para favorecer el efecto de la diferencia entre grupos sobre la tasa de descuento temporal hiperbólica de la ecuación 1. Adicionalmente, las comparaciones post hoc entre el grupo control y el grupo de participantes a los que se les indujo estrés por vía farmacológica, específicamente se encuentra que esta comparación guarda un  $BF_{10} = 5.154e^{28}$  lo que nuevamente se considera un factor decisivo para favorecer el efecto de la diferencia entre grupos sobre la tasa de descuento temporal hiperbólica de la ecuación 1.

Finalmente, con lo que respecta a la comparación entre los grupos de pacientes con diabetes y estrés inducido el  $BF_{10} = 0.496$ , lo que implica que es sumamente inverosímil que exista un efecto dados los datos, dicho de otra manera “*apenas vale la pena mencionar el efecto*”, el cual podría considerarse que no presenta diferencias considerables entre los grupos.

### 3.3.2 Tarea de bisección temporal

El procedimiento de bisección temporal se evaluó de igual manera con un diseño secuencial de tres fases, los resultados de cada participante para cada uno de los tres grupos se evaluaron con estimaciones de Akaike con sus respectivos valores delta y pesos asociados. Estas comparaciones se realizaron para elegir el modelo que tuviera la mayor verosimilitud que generara las distribuciones logísticas individuales para un estímulo largo en función de la duración del estímulo presentado en cada uno de los grupos en el experimento 2. A continuación, en la tabla 11 muestra los resultados del

análisis de Akaike con sus respectivos índices, para una revisión más detallada sobre este análisis consultar el anexo 1.

Tabla 11. Resultados del análisis AIC para los 3 modelos competidores.

Grupo		Control			Diabetes			Estrés			#
Modelo	# Par.	AIC <sub>i</sub>	Δ <sub>i</sub> (AIC)	w <sub>i</sub> AIC	AIC <sub>i</sub>	Δ <sub>i</sub> (AIC)	w <sub>i</sub> AIC	AIC <sub>i</sub>	Δ <sub>i</sub> (AIC)	w <sub>i</sub> AIC	Par <sub>i</sub>
6	1	5.26	0	0.556	9.12	0	0.571	7.42	0	0.505	=
7	2	8.24	2.98	0.125	10.56	1.44	0.278	10.27	2.85	0.121	
8	2	6.37	1.11	0.319	11.78	2.66	0.151	8.02	0.6	0.374	

Número de parámetros estimados para el modelo  $i$ ; AIC <sub>$i$</sub>  = Criterio de Akaike para el modelo  $i$ ; Δ <sub>$i$</sub> (AIC) = [AIC <sub>$i$</sub>  – mínimo(AIC)]; w <sub>$i$</sub> AIC = Peso Akaike para el modelo  $i$ .

Se observa que los tres grupos muestran que el modelo 6 generó el índice más bajo de AIC, indicando que fue el modelo más adecuado para generar los datos del experimento 2. Es importante notar que, en términos de probabilidad normalizada o bien pesos de Akaike, el modelo 6 muestra una mayor probabilidad dentro de los 3 modelos posibles de ser más verosímil a los datos modelados, adicionalmente es importante resaltar que este modelo solo estimó el punto de bisección. Por otra parte, se observa que los datos de los grupos de pacientes con diabetes y los participantes a los que se les indujo el estrés por vía farmacológica pese a que se describen mejor por el modelo 6, existe una inconsistencia en los modelos 7 y 8, ya que para el grupo de pacientes con diabetes el segundo mejor modelo que podría generarlos es el modelo 7, lo que en el caso del grupo de participantes con estrés inducido el segundo mejor modelo que los podría generar es el 8, estos dos últimos modelos, se caracterizan por tener dos parámetros y en especial el modelo 8, es el común o prototípico para comparar con otras investigaciones.

Para la segunda fase una vez seleccionado el modelo más verosímil a los datos, el cual por los resultados anteriores se eligió seleccionar al modelo 6, por dos razones: la primera es que pueda existir una comparación gruesa con el experimento 1 y otras investigaciones y la segunda (y más importante) debido a que en los tres grupos generó la probabilidad normalizada más alta (peso de Akaike) dentro de los tres

modelos. Por lo tanto, se toman los parámetros estimados para cada uno de los participantes en cada grupo y se realiza un ANOVA omnibus bayesiano con el objetivo de tener un índice robusto que nos aporte información acerca de la verosimilitud del efecto del grupo dados los datos, se encuentra un  $BF_{10} = 8.406e^{31}$ , que en general muestra evidencia contundente a favor del efecto del grupo.

Dada la contundente evidencia anterior que se encuentra en el ANOVA ómnibus Bayesiano, se procede a computar las comparaciones post-hoc entre los diversos grupos con el fin de tener información específica acerca de las múltiples comparaciones de grupos en el experimento 2. En la tabla 12, se muestra el resumen de dichas comparaciones en donde se observan que las comparaciones entre los grupos control y pacientes con diabetes ( $BF_{10} = 7.93e^{21}$ ) y entre los grupos control y participantes con inducción de estrés por vía farmacológica ( $BF_{10} = 5.925e^{23}$ ) muestran factores de Bayes lo suficientemente contundentes a favor de diferencias entre los respectivos grupos; el caso contrario ocurre cuando se comparan los grupos de pacientes con diabetes y estrés experimental donde el factor de Bayes es sumamente pequeño ( $BF_{10} = 1.557$ ), lo que favorece la evidencia a favor de la hipótesis nula, o la ausencia de diferencias entre los grupos.

Tabla 12. Comparaciones Post Hoc Bayesianas de los grupos

		<b>a-Prior Odds</b>	<b>a-Posterior Odds</b>	<b>BF<sub>10</sub></b>	<b>error %</b>
Control	Diabetes	0.587	7.930e +21	1.350e +22	2.996e -27
	Estrés	0.587	5.925e +23	1.009e +24	1.820e -29
Diabetes	Estrés	0.587	0.914	1.557	0.007

Nota. Las probabilidades posteriores se han corregido para pruebas múltiples fijando a 0,5 la probabilidad previa de que la hipótesis nula se mantenga en todas las comparaciones (Westfall, Johnson y Utts, 1997). Las comparaciones individuales se basan en la prueba t predeterminada con una distribución Cauchy (0,  $r = 1 / \text{sqrt}(2)$ ) anterior.

#### **4. Discusión**

La discusión se organiza en dos secciones, la primera para comparar y contrastar las diferentes interpretaciones que existen sobre el posible efecto que el cortisol tiene en la elección intertemporal. La segunda sección para discutir cómo los diferentes niveles de cortisol afectan o regulan la estimación temporal.

Los resultados empíricos generales que abundan en la literatura sobre descuento temporal ha sido a menudo asociado con la toma de decisiones no óptima, como reflejo de una incapacidad para demorar la gratificación. En un estudio único en su tipo se les presentó a pacientes con diabetes una tarea de inhibición de respuestas (Ishizawa et al., 2010), se encontró que de manera general el grupo de pacientes con diabetes en comparación con el grupo control presentaban una menor proporción de respuestas inhibidas, a lo cual los autores concluyen argumentando que la diabetes generó una determinada atrofia en áreas cerebrales relacionadas con la toma de decisiones (p. ej. corteza prefrontal) lo cual limitaba o disminuía en los pacientes con diabetes su capacidad de inhibir respuestas. Lo anterior permite plantear la existencia de una correlación entre una baja inhibición de respuestas y una toma de decisiones impulsivas, lo que podría ser el reflejo de una insensibilidad a la demora de ocurrencia de diversos eventos futuros. Estas estructuras de elección son un modelo de muchas de las opciones asociadas con el comportamiento de riesgo en los seres humanos y puede conducir a una diversidad de problemas de salud que se han relacionado con la impulsividad (Critchfield y Kollins, 2001, Wellman, 2001).

De aquí se desprende la importancia de modelar apropiadamente los patrones de elección intertemporal en seres humanos, y de manera más puntual en una población que poco o casi nula atención ha recibido desde esta línea de investigación, los pacientes con diabetes, los cuales recordemos los resultados del experimento 1 son prácticamente similares a los del grupo fumadores y en el experimento 2 al grupo de estrés inducido por vía farmacológica. Los resultados muestran que el cortisol afecta la elección intertemporal de manera indirecta y directa. En el primer experimento se relacionó por medio de variables atributivas como diferentes grupos de participantes

(fumadores y pacientes con diabetes) en donde se tiene evidencia empírica y teórica (Cohen y Lichtenstein, 1990; Field et al., 2006, West et al., 1999) que exhibían alteraciones en sus patrones de elección intertemporal en comparación con un grupo control. En el segundo experimento, en donde la administración de hidrocortisona en un grupo de participantes sanos se evaluó y se compararon los resultados con los patrones exhibidos en un grupo de pacientes con diabetes y un grupo control, se encontró un efecto significativo debido a la manipulación experimental de hidrocortisona sobre la elección intertemporal.

Específicamente, el cortisol incrementó la elección de opciones pequeñas-inmediatas sobre las opciones grandes-demoradas, se puede decir que el cortisol modificó el patrón de elección intertemporal, en el primer experimento se observó este efecto cuando la concentración de cortisol fue manipulada como variable atributiva en los grupos de pacientes con diabetes y fumadores en comparación con el grupo control. El segundo experimento confirmó esa hipótesis, manipulando el nivel de cortisol en el grupo experimental y comparando su efecto con el grupo de pacientes con diabetes; ambos exhiben el mismo patrón de respuestas (alta preferencia por opciones inmediatas de menor valor), por su parte, al comparar estos dos grupos con el grupo control, existen diferencias en los patrones de elección de respuestas generando tasas de descuento temporal más bajas o menos pronunciadas, que son totalmente distintas a las exhibidas por los grupos experimentales.

Las correlaciones entre las variables que se observan en las figuras 3 y 8 fueron positivas debido a que mayores niveles de cortisol en el torrente sanguíneo de cada grupo se asocian con altas tasas de descuento temporal, la figura 3 sugiere el efecto principal del cortisol al modular la tasa de descuento temporal. En la figura 8 se confirma este resultado al mostrar una relación funcional entre la concentración de cortisol en saliva y la tasa de descuento temporal, al haber realizado una manipulación causal obteniendo una mayor tendencia de elección de opciones pequeñas-inmediatas y generando preferencias intertemporales con una alta sensibilidad a la demora de entrega, esto es, al parecer que los intervalos hipotéticos de entrega superiores a los

6 meses de entrega, la devaluación en el valor subjetivo del dinero hipotético a ser recibido presenta un descuento que oscila entre el 80% o más, por lo tanto ventanas temporales tan alejadas, parecieran percibirse aún más grandes y por lo tanto ejercen un descuento mayor.

El efecto encontrado del cortisol sobre los patrones de elección intertemporal es consistente con otras líneas de investigación actuales, que indican que poco después de alguna situación estresante, las personas recurren a estrategias de comportamiento simples. Por ejemplo, los seres humanos expuestos a un estresor psicosocial usan una respuesta de estímulo más simple o estriatal, que una estrategia de aprendizaje espacial más compleja (Schwabe et al., 2007). Los individuos también pasan del control dirigido al control habitual en el comportamiento instrumental poco después del estrés (Schwabe et al., 2010a). Se cree que los mecanismos biológicos subyacentes de estos efectos de estrés rápidos implican tanto catecolaminas como hormonas corticosteroides (Schwabe et al., 2007, 2010b, Joëls et al., 2006).

También debe enfatizarse que el enfoque actual de inducción experimental farmacológica es óptimo para delinear el efecto de la hidrocortisona por sí solo, y elimina la posibilidad de generar estrés con la comorbilidad en la que se liberan múltiples hormonas (además del cortisol) bajo otros métodos experimentales. El trabajo de Schwabe y asociados ha demostrado que las acciones conjuntas de cortisol y norepinefrina favorecen a las respuestas habituales a expensas del comportamiento dirigido por objetivos (Schwabe et al., 2010a). Este aumento en la respuesta habitual es en general coherente con el hallazgo de aumento de las preferencias por las opciones pequeñas-inmediatas bajo la influencia de la hidrocortisona.

Sin embargo, se puede obtener este efecto en ausencia de estimulación noradrenérgica concurrente, lo que sugiere que algunos comportamientos pueden verse afectados solo por el cortisol. Del mismo modo, Keinan (1987) encontró que los sujetos alterados en una tarea de analogía verbal cuando se les amenazaba con choques eléctricos incontrolables comparados con controlables presentaron una

mayor tendencia de respuestas impulsivas. Gray (1999) encontró que los sujetos tomaban decisiones sub-óptimas en una tarea de elección intertemporal cuando la tarea se presentaba en un contexto emocional negativo en comparación con un contexto neutral. Van den Bos et al. (2009) y Preston et al. (2007) encontraron que el rendimiento en la *Iowa Gambling Task* se deterioraba bajo estrés, particularmente en los hombres. Finalmente, Porcelli y Delgado (2009) indujeron el estrés mediante la tarea de presión en frío, en la que los sujetos sumergían la mano en agua helada y encontraron que esta inducción de estrés aumentaba el efecto de reflexión en la toma de decisiones bajo riesgo: La aversión en el dominio de las ganancias, y la búsqueda de un mayor riesgo en el dominio de las pérdidas.

Si bien, los efectos antes mencionados implican los circuitos prefrontal-estriatales se deben a acciones celulares de corticosteroides, similares a las influenciadas por las neuronas del hipocampo (Karst et al., 2005). Estos resultados complementan y amplían varios estudios previos sobre el efecto de las hormonas del estrés y el efecto negativo en la toma de decisiones. Por ejemplo, Lerner et al. (2015) demuestran que el efecto negativo inducido experimentalmente aumenta las tasas de descuento. Por otro lado, también se ha demostrado recientemente que los factores de estrés social, como en el Test de estrés social de Trier, pueden no afectar la elección intertemporal (Haushofer et al., 2013). Una posible explicación de los hallazgos divergentes del presente estudio y otras investigaciones es que los factores de estrés social pueden no producir un aumento suficiente de los niveles de cortisol para generar un efecto comportamental sobre la elección intertemporal (Pabst, Brand y Wolf, 2013; Putman et al., 2010).

El presente estudio extiende estos hallazgos previos en elección intertemporal, los hallazgos de los experimentos prueban el efecto del cortisol de manera indirecta en el primer experimento y de manera directa en el segundo, mediante la administración de hidrocortisona y su efecto sobre la elección intertemporal, considerando estimaciones bayesiana del tamaño real del efecto ( $\delta$ ), que favorece ampliamente la hipótesis que se había planteado ( $\text{datos}|H_1$ ), y desechando

explicaciones confusas como la correlación entre la bondad de ajuste ( $R^2$ ) y el modelo elegido mediante el ajuste de funciones a través del algoritmo de mínimos cuadrados (el cual podía variar en el número de parámetros estimados) acerca del efecto real que tiene el cortisol. Es importante relacionar cómo estos efectos se enmarcan en el contexto de conductas de riesgo como es el fumar y en el cuidado de la salud en enfermedades crónico-degenerativas como lo es la diabetes. En específico para estos casos, es vital señalar que los efectos de la inducción experimental de incrementos de los niveles de cortisol por la vía farmacológica se generalizan no sólo por la convergencia de la evidencia empírica en las tareas experimentales, si no por las condiciones fisiológicas que se encuentran en los participantes fumadores, en los pacientes con diabetes tipo 2 y en los participantes en donde se indujo estrés experimental.

Una limitación del estudio estriba en el hecho de que para poder comprender la complejidad de los efectos del estrés y las hormonas del estrés sobre la elección intertemporal como en el presente estudio, las tareas experimentales no fueron totalmente incentivadas, en el sentido de que los participantes fueron motivados con una cantidad de dinero (\$200 pesos) con una probabilidad de ser elegido de 0.25. Por lo que cabe la posibilidad de que el efecto del comportamiento haya sido subestimado. Los presentes hallazgos también sugieren que las preferencias en el tiempo no son un rasgo estable, como tradicionalmente se asume en la teoría económica (Samuelson 1937; Lancaster, 1963), pero es fuertemente susceptible a factores contextuales y psicosomáticos, como las respuestas de los individuos al estrés y las variaciones en el equilibrio hormonal inclusive en los hombres el cual se acotó en el experimento 2. Independientemente de los mecanismos internos, es necesario considerar la fragilidad de las preferencias en el tiempo y su compleja dependencia del estrés en el diseño de metodologías óptimas dirigidas a tomar decisiones que sean consistentes con los intereses económicos a largo plazo de un individuo. Se sugiere finalmente evaluar futuras investigaciones sobre esta línea pero que integren metodologías y modelos en donde de manera concurrente se puedan incorporar a la toma de decisiones, variables que evalúen riesgo y elección intertemporal (Luckman, Donkin y Newell, 2017),

pudiendo aportar información más precisa del proceso de TD el cual al integrar estas variables pudiera incorporar información con una validez ecológica más alta, que la que actualmente se produce.

Desde la otra vertiente, la presente investigación fue diseñada de manera concurrente para investigar la relación entre el estrés y la estimación temporal. Recordemos que por el diseño de los experimentos (ver anexo 2) en el primero de ellos se evaluó de manera indirecta por medio de variables atributivas cómo diferentes grupos de participantes, fumadores y pacientes con diabetes exhibían alteraciones en sus patrones de estimación temporal en comparación con el grupo control. En el segundo experimento, se administró hidrocortisona en un grupo de participantes sanos, se evaluó y se compararon los resultados con los patrones exhibidos en un grupo de pacientes con diabetes y un grupo control, se encontró un efecto contundente a favor de la manipulación experimental de hidrocortisona sobre la estimación temporal, en primer lugar se eligió un modelo de un solo parámetro ( $T_{50}$ ), se asumió que por el patrón de respuestas de los diferentes participantes, el valor de la discriminación se asumió constante ( $b=1$ ) y por lo tanto al probar que modelo era más verosímil, se seleccionó al que se esboza en la ecuación 6. Posteriormente, una vez que se eligió este modelo, se procedió a comparar los parámetros estimados mediante estimaciones bayesianas del tamaño real del efecto ( $\delta$ ), que favorecen totalmente la hipótesis que se había planteado ( $\text{datos}|H_1$ ), debido a los índices del factor de Bayes encontrados los cuales se colocan en la categoría de evidencia “*contundente*”, “*extrema*”, etcétera, y nos permite desechar explicaciones confusas como la correlación entre la bondad de ajuste ( $R^2$ ) y el modelo elegido mediante el ajuste de funciones a través del algoritmo de mínimos cuadrados (el cual podía variar en el número de parámetros estimados) acerca del efecto real que ejerce el cortisol.

Los resultados del primer experimento contribuyeron a la investigación sobre la estimación temporal al mostrar que los niveles de cortisol afectan la precisión y la exactitud de la estimación temporal, sin embargo, una limitación del experimento 1, fue el no poder manipular los niveles de cortisol como variable independiente, solo se

manipularon como variable atributiva (fumadores y pacientes con diabetes). Es importante resaltar los patrones que presentan los datos, obsérvese en la figura 2, los patrones de estimación temporal de los grupos con altos niveles de cortisol, prácticamente las funciones psicofísicas se desplazan en función de los niveles de cortisol en cada grupo (figura 4), a un nivel más fino se encuentra que los ajustes del modelo logístico de dos parámetros mediante el algoritmo de mínimos cuadrados ordinarios, y por ende su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) presentaron un muy buen ajuste (promedio de 0.98) pero adicionalmente se puede concluir que los resultados tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y los grupos de fumadores y pacientes con diabetes, por lo que podemos asumir que existe una potencial relación entre los niveles de cortisol y la estimación temporal. En específico los valores promedio del punto de bisección en los grupos con altos niveles de cortisol presentan un desfase del mismo orden, hacia el lado derecho indicando una sobreestimación de los intervalos de tiempo estimados y por tanto una mayor probabilidad de categorizar estímulos de menor duración como estímulos largos.

Los resultados de la tabla 4 sugirieron el efecto principal del cortisol como modulador del punto de bisección en todos los grupos. Las correlaciones en la Figura 4 fueron negativas debido a que las diferencias en los niveles de cortisol en el torrente sanguíneo de cada grupo fueron relacionadas con una mayor tendencia en la sobreestimación de intervalos de tiempo, por tanto, los participantes pudieron haber percibido los estímulos “cortos” más duraderos de lo que realmente son, por lo que los clasificaban como estímulos “largos”. Este caso es claramente visto en los grupos de pacientes con diabetes y fumadores.

Por otra parte, la inducción experimental de estrés mediante vía farmacológica provocó respuestas fisiológicas importantes y cambios en el grupo experimental en comparación con el grupo control y totalmente equiparables a los pacientes con diabetes tipo 2. Los resultados mostraron un efecto general del estrés inducido tanto en el Limen Diferencial (LD) como en el Punto de Bisección (PB), lo que representa la sensibilidad temporal y la duración subjetiva, respectivamente. Ya que como se

conoce, los efectos del cortisol se encontraron positivamente asociados con los cambios en el LD, tales resultados mostraron una relación positiva entre los niveles de cortisol y los aumentos del LD. Los efectos del cortisol sobre la Razón de Weber mostraron proporcionalidad respecto a los incrementos en el PB y el LD, esta relación sugiere que los participantes que emitieron respuestas a la opción “larga” en estímulos de duración corta, presentan déficits más severos en la sensibilidad temporal.

Los resultados de este estudio aportan evidencia que se suma a las investigaciones que hallan una relación entre el estrés y los componentes cognitivos de la percepción del tiempo (Church, 1984; Zakay y Block, 1997; Grondin, 2010; Kopec y Brody, 2010), puesto que se ha observado que las elevaciones de cortisol inducidas por el estrés se asocian con un rendimiento de memoria de trabajo más bajo (Qin et al., 2009; Schoofs, Wolf y Smeets, 2009; Schoofs, Pabst, Brand y Wolf, 2013), mayores deterioros de la memoria a largo plazo (Buchanan y Tranel, 2008), y mayores alteraciones en la toma de decisiones (Starcke y Brand, 2012). Tanto la memoria como los componentes decisorios desempeñan papeles críticos en la percepción del tiempo (Grondin y Rammsayer, 2003). Los presentes resultados proporcionan evidencia directa de la relación negativa entre estrés y estimación temporal.

El mecanismo responsable de la asociación entre la respuesta del cortisol al estrés agudo y la discriminación temporal es poco conocido. Por un lado, altos niveles de estrés pueden tener un efecto sobre la sensibilidad temporal. En línea con este argumento, estudios anteriores han encontrado que los componentes cognitivos de la percepción del tiempo, como la atención (Duncko et al., 2009; Qin et al., 2009) y la memoria a largo plazo (Buchanan y Tranel, 2008; Smeets, 2011; Schwabe y Wolf, 2013; Wolf, 2008), y la toma de decisiones (Van den Bos, Harteveld y Stoop, 2009), se vieron afectados por el estrés agudo. Recientemente, estudios de neuroimagen también han sugerido que la alta liberación de cortisol en respuesta al estrés ha influido en las funciones de las regiones cerebrales que apoyan la percepción del tiempo, incluyendo la corteza prefrontal y el hipocampo, y ha provocado así una disminución de la sensibilidad temporal (Pruessner et al., 2008).

Por otra parte, esta relación puede sugerir mecanismos comunes que median el eje Hipotalámico-hipofisario-adrenocortical (HPA), la inducción de estrés y el apoyo a la sensibilidad temporal al mismo tiempo. La corteza prefrontal y el hipocampo, donde los receptores de corticosteroides se expresan abundantemente, no sólo apoyan las funciones cognitivas relacionadas con la percepción del tiempo (Coull, Cheng y Meck, 2007; Gu, Van Rijn y Meck, 2015), sino que también juegan papeles importantes los glucocorticoides (McEwen, 2004; Ulrich-Lai y Herman, 2009). Podría ser el caso de que los participantes del grupo control, fumadores o pacientes con diabetes, hicieron un uso pobre de la corteza prefrontal y/o hipocampo para la regulación apropiada de los efectos negativos en el eje HPA para atenuar los incrementos en el cortisol inducido, el cual disminuyó la actividad en estas áreas para el procesamiento eficiente de información temporal y poder ajustar o mantener una correcta discriminación de diferentes duraciones temporales.

De acuerdo con la hipótesis en el marco de los modelos cognitivos, la duración subjetiva puede depender principalmente de la etapa del reloj, mientras que la sensibilidad temporal puede estar relacionada más estrechamente con la memoria y la etapa de decisión (Grondin y Rammsayer, 2003). Los hallazgos del presente estudio pueden indicar los efectos directos del estrés en las diferentes etapas de procesamiento de la percepción del tiempo. Por otra parte, estudios anteriores han sugerido que estos dos aspectos de la percepción del tiempo tienen diferentes mecanismos neuroquímicos (Santi, Weise y Kuiper, 1995, Grondin y Rammsayer, 2003). Por ejemplo, en palomas y ratas se encontraron disminuciones específicas en la sensibilidad temporal, pero no en la duración subjetiva, en las inyecciones recibidas de compuestos que se sabía que afectaban la memoria y la atención, por ejemplo, canabinoides y anfetaminas (Crystal, Maxwell y Hohmann, 2003). Los hallazgos aquí sugieren que la sensibilidad temporal, pero no la duración subjetiva, está relacionada con la respuesta al estrés del eje HPA en humanos.

Los resultados del presente estudio coinciden con otros hallazgos similares que encontraron aumentos (Tamm et al., 2014) o disminuciones (Watts y Sharrock, 1984) en la sensibilidad temporal bajo estrés (Droit-Volet et al., 2010). Una posible explicación de estos resultados inconsistentes puede ser que los individuos respondieron de manera diferente bajo condiciones estresantes y mostraron diferentes patrones de comportamiento en la sensibilidad temporal. Es importante resaltar, que los resultados con respecto a la duración subjetiva fueron consistentes con estudios previos, los cuales encontraron duraciones subjetivas más largas bajo estrés agudo en comparación con la condición de control (por ejemplo, Watts y Sharrock, 1984, Tamm et al., 2014). Cabe señalar que las duraciones subjetivas se midieron después de la inducción de estrés experimental. Por el contrario, los estudios previos utilizaron estresores en curso y los participantes realizaron las tareas de percepción temporal durante la inducción de estrés (Watts y Sharrock, 1984; Droit-Volet et al., 2010; Tamm et al., 2014), esto podría por lo tanto ser un efecto de presentación de los estímulos ante los cuales al presentarse de manera concurrente a la evaluación generaran una distinta liberación de cortisol, lo cual debería de ser evaluado en posteriores investigaciones, para tener mayor certeza del efecto que ejercen los estímulos.

Hay que reconocer las limitaciones del presente estudio. En primer lugar, en el control de las diferencias de género en las respuestas al estrés (para una revisión, véase, Kajantie y Phillips, 2006; Kudielka y Kirschbaum, 2005), sólo participantes varones fueron incluidos en el segundo experimento para reducir la variabilidad hormonal. Es importante para los estudios futuros determinar si los resultados obtenidos en adultos varones jóvenes sanos pueden ser encontrados también para las mujeres. En segundo lugar, el intervalo de duración utilizado en la tarea de bisección temporal fue de 1,000 a 4,000 ms. A medida que se han presentado diferentes mecanismos neurocognitivos para la percepción de duraciones cortas y largas (Lewis y Miall, 2006), todavía no está claro si el mismo patrón de resultados surgiría al examinar la percepción temporal de duraciones más largas.

## 5. Conclusiones

Finalmente, este apartado intenta relacionar a la elección intertemporal con la estimación temporal con la intención de propiciar líneas futuras de investigación que contemplen su posible utilización.

De la investigación realizada, se presenta evidencia conjunta en donde se observó un patrón sistemático en ambas tareas experimentales, específicamente para el primer experimento, la tendencia en los patrones de respuesta entre el grupo de pacientes con diabetes y de fumadores es prácticamente la misma, por tanto podemos argumentar que en ambos grupos el resultado de sus tasas de descuento temporal y su punto de bisección no se debe al elevado nivel de glucosa en el torrente sanguíneo, como se observa en el grupo de fumadores, que presentaron niveles de glucosa promedio, pero que no excedieron el umbral para ser considerados diabéticos (115 mg/dL, OMS, 2001); más bien se puede asociar con la alta concentración de cortisol que incrementa las probabilidades de fumar y por ende presentar altos niveles de estrés (Cohen y Lichtenstein, 1990; West et al., 1999) para el caso particular de los pacientes con diabetes, se debe propiamente al desequilibrio metabólico inherente de la enfermedad, proporcionando de esta manera una correlación plausible para el fenómeno estudiado.

Lo anterior ofrece de manera robusta mayor evidencia empírica convergente al efecto del cortisol en los patrones de elección intertemporal y estimación temporal en las tareas experimentales correspondientes. Por ejemplo, en los grupos control de ambos experimentos, presentan un contraste en los patrones de respuesta, los niveles de cortisol están relacionados con un patrón moderado de decaimiento del valor subjetivo de las opciones evaluadas en las tareas de descuento temporal de ambos experimentos, y lo cual es consistente a lo encontrado en otras investigaciones en donde los grupos control exhiben un patrón de respuesta semejante. Mientras tanto, en las tareas de estimación temporal de ambos experimentos, los grupos control presentaron puntos de bisección cercanos a la media aritmética (2500 ms).

Se debe de resaltar que la medida de estimación temporal no fue influenciada por el tiempo de reacción para tomar una decisión, por lo tanto, puede proporcionar un buen predictor de la relación entre el descuento temporal y la discriminación de tiempo. De lo anterior se desprende una relación negativa entre un descuento temporal más pronunciado (valores altos de  $k$ ) y la sobreestimación de la discriminación de tiempo (valores bajos del punto de bisección), los datos sugieren que las personas que eligen en mayor proporción opciones inmediatas también tienden a sobreestimar el transcurso del tiempo, como bien se ve reflejado en los grupos de pacientes con diabetes y el grupo de participantes con inducción farmacológica del estrés.

Por lo tanto, una posibilidad por la que una persona no valora tanto una recompensa de mayor valor podría ser debido a que la demora parece ser percibida como más larga de lo que realmente es, este hallazgo demuestra que las personas que son más proclives a elegir opciones inmediatas en la tarea de descuento temporal, tienden a prestar menos atención al procedimiento de bisección temporal, por consiguiente, tienden a emitir respuestas sobreestimadas del valor de duración presentado. Se puede concluir que el efecto de los niveles de cortisol en el torrente sanguíneo, está relacionado con la conducta de elección intertemporal y de estimación temporal.

Trasladando los resultados del primer experimento hacia el segundo, podemos observar un patrón sistemático común en ambos, ya que el efecto del cortisol de manera indirecta y directa ejerce prácticamente los mismos resultados tanto en los índices de elección intertemporal como de estimación temporal, por ejemplo sobre los grupos evaluados del experimento 1 con altos niveles de cortisol (diabetes y fumadores) y en el experimento 2 sobre el efecto directo que ejerce la manipulación experimental de los niveles de cortisol en el grupo experimental y que son extrapolables a los del grupo de pacientes con diabetes; los resultados generales son los incrementos sistemáticos en a) las opciones inmediatas sobre las demoradas en la tarea de descuento temporal y b) la categorización de opciones de menor duración como opciones largas en la tarea de bisección temporal. En conjunto, los presentes

hallazgos sugieren que las preferencias intertemporales no son un rasgo estable, como se asume tradicionalmente en la teoría económica (Samuelson 1937; Lancaster 1963), pero es fuertemente susceptible a factores ambientales y somáticos, como lo son las respuestas de los individuos al estrés y las variaciones en el balance hormonal; al igual que la estimación temporal en donde se presentó el mismo efecto. Se puede concluir que el efecto de los niveles de cortisol salival, es un importante factor determinante en la conducta de elección intertemporal y de estimación temporal.

## 6. Referencias

- Abercrombie, H. C., Kalin, N. H., Thurow, M. E., Rosenkranz, M. A., & Davidson, R. J. (2003). Cortisol variation in humans affects memory for emotionally laden and neutral information. *Behavioral Neuroscience*, 117 (3), 505–516.
- Abercrombie, H. C., Jahn, A. L., Davidson, R. J., Kern, S., Kirschbaum, C., & Halverson, J. (2011). Cortisol's effects on hippocampal activation in depressed patients are related to alterations in memory formation. *Journal of Psychiatric Research*, 45 (1), 15–23.
- Ahmed, A., Hasnain, N., & Venkatesan, M. (2012) Decision Making in Relation to Personality Types and Cognitive Styles of Business Students. *The IUP Journal of Management Research*, 11 (2), 20–29.
- Aikens, J. E., Wallander, J. L., Bell, D. S. H., & McNorton, A. (1994). A nomothetic-idiographic study of daily psychological stress and blood glucose in women with Type I diabetes mellitus. *Journal of Behavioral Medicine*, 17, 535–548.
- Ainslie, G. W. (1974). Impulse Control in Pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21 (3), 485–489.
- 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*, 55B (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.
- Altura, B., Altura, B., Zhang, A., & Zakhari, S. (1996). Effects of alcohol on overall brain metabolism. In H. Begleiter & B. Kissin (Eds.), *The pharmacology of alcohol and alcohol dependence. Alcohol and alcoholism* (pp. 145–180). New York: Oxford.

- American Psychological Association. (2012). Stress in America: Our Health at Risk. Recuperado el 04 de julio de 2017 de: <http://www.apa.org/news/press/releases/stress/2011/final-2011.pdf>
- American Psychological Association. (2013). Stress: The different kinds of stress. Recuperado el 04 de julio de 2017 de <http://www.apa.org/helpcenter/stress-kinds.aspx>
- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed), Washington, Author.
- Angeletos G. M., Laibson D., Repetto A., Tobacman J., & Weinberg S. (2001). The Hyperbolic consumption model: calibration, simulation, and empirical evaluation. *Journal of Economic Perspectives*, 15(3), 47–68.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723.
- Akaike, H. (1987). Factor analysis and AIC. *Psychometrika*, 52, 317–332.
- Aparicio, C. F. (2015). Comparing Models of Intertemporal Choice: Fitting Data from Lewis and Fischer 344 Rats. *Conductual*, 3(2), 82–110.
- Armario, A., Marti, O., Molina, T., de Pablo, J., & Valdes, M. (1996). Acute stress markers in humans: Response of plasma glucose, cortisol and prolactin to two examinations differing in the anxiety they provoke. *Psychoneuroendocrinology*, 21, 17–24.
- Arnsten, A. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews in Neuroscience*, 10(6), 410–422.
- Azim, E., Mobbs, D., Jo, B., Menon, V., & Reiss, A. L. (2005). Sex differences in brain activation elicited by humor. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 102(45), 16496–16501.
- Banco Mundial (1992). *World Development Report, Development and the Environment*, Oxford: Oxford University Press.
- Banfield, J., Wyland, C. L., Macrae, C. N., Munte, T. F., & Heatherton, T. F. (2004). The cognitive neuroscience of self-regulation. En: Baumeister, R.F., & Vohs, K.D., Editors. *The Handbook of Self-Regulation*. New York: Guilford, 62–83.

- Baron, R. A. (1976). The reduction of human aggression: A field study of the influence of incompatible reactions. *Journal of Applied Social Psychology*, 6, 260–274.
- Baron, R. A. (1983). The control of human aggression: An optimistic overview. *Journal of Social & Clinical Psychology*, 1, 97–119.
- Barracough, D., Conroy, M., & Lee D. (2004). Prefrontal cortex and decision making in a mixed strategy game. *Nature Neuroscience*, 7, 404–410.
- Brand, M., & Markowitsch, H. (2010). Aging and decision-making: A Neurocognitive perspective. *Gerontology*, 56(3), 319–324.
- Baumeister, R. F. (2005). *The cultural animal: Human nature, meaning, and social life*. New York: Oxford University Press.
- Baumeister, R. F., & Heatherton, T. F. (1996). Self-Regulation Failure: An Overview. *Psychological Inquiry*, 7(1), 1–15.
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Self-control depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, 1252–1265.
- Baumeister, R. F., Heatherton, T. F., & Tice, D.M. (1994). *Losing control: How and why people fail at self-regulation*. San Diego, CA: Academic Press.
- Baumeister, R. F., Schmeichel, B. J., & Vohs, K. D. (2007). Self-regulation and the executive function. In A.W. Kruglanski & E.T. Higgins (Eds.), *Social psychology: Handbook of basic principles*. (2<sup>nd</sup> ed., pp. 516–539) New York: Guilford Press.
- Becker, G. S. (1976). *The Economic Approach to Human Behavior*. Chicago: University of Chicago Press.
- Becker, G. S., & Mulligan, C. B. (1997). The Endogenous Determination of Time Preference. *Quarterly Journal of Economics*, 112, 729–758.
- Benton, D., Brett, V., & Brain, P. F. (1987). Glucose improves attention and reaction to frustration in children. *Biological Psychology*, 24, 95–100.
- Benton, D., Owens, D. S., & Parker, P. Y. (1994). Blood glucose influences memory and attention in young adults. *Neuropsychologia*, 32, 595–607.
- Benton, D., Parker, P. Y., & Donohoe, R. T. (1996). The supply of glucose to the brain and cognitive functioning. *Journal of Biosocial Science*, 28, 463–479.

- Berlin, I., Vorspan, F., Warot, D., Maneglier, B., & Spreux-Varoquaux, O. (2003). Effect of glucose on tobacco craving. Is it mediated by tryptophan and serotonin? *Psychopharmacology*, *178*, 27–34.
- Berns, G. S., Laibson, D., & Loewenstein, G. (2007). Intertemporal Choice: Toward an Integrative Framework. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(11), 482–488.
- Bickel, W. K., Miller, M. L., Yi, R., Kowal, B. P., Lindquist, D. M., & Pitcock, J. A. (2007). Behavioral and Neuroeconomics of Drug Addiction: Competing Neural Systems and Temporal Discounting Processes. *Drugs and Alcohol Dependence*, *90*(1), S85–91.
- Birnbaum, A. (1968). *Some latent trait models and their use in inferring an examinee's ability*. In F. M. Lord and M. R. Novick (Eds.), *Statistical Theories of Mental Test Scores*, 397–479. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Bleichrodt, H., Rohde, K. I. M., & Wakker, P. (2009). Non-hyperbolic time inconsistency. *Games and Economic Behavior*, *66*, 27–38.
- Bozdogan, H. (1987). Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*, *52*, 345–370.
- Bruce, S., & McEwen, B. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiological Review*, *87*(3), 873–904.
- Buchanan, T. W., & Tranel, D. (2008). Stress and emotional memory retrieval: effects of sex and cortisol response. *Neurobiology of Learning and Memory*, *89*, 134–141
- Buchanan, T. W., Tranel, D., & Adolphs, R. (2006). Impaired memory retrieval correlates with individual differences in cortisol response but not autonomic response. *Learning & Memory*, *13*, 382–387
- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 755–765.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2001). Kullback–Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. *Wildlife Research*, *28*, 111–119.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach*. New York: Springer-Verlag.
- Campbell, L. A., & Bryant, R. A. (2007). How time flies: a study of novice skydivers. *Behaviour Research and Therapy*, *45*, 1389–1392.

- Chávez, M. E., Villalobos, E., Baroja, J. L., & Bouzas, A. (2017). Hierarchical Bayesian modelling of intertemporal choice. *Judgment and Decision Making*, *12*(1), 19–28.
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *423*, 566–582.
- Church, R. M. (2002). Temporal Learning. In H. Pashler & C. R. Gallistel (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*. (3rd ed., Vol. 3, Learning, Motivation, and Emotion, pp. 365–394). New York: Wiley.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*, 216–228.
- Catania, A. C. (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgments: A study of some temporal properties of behavior. In W. N. Schoenfeld (Ed.), *The theory of reinforcement schedules* (pp. 1–42). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Cohen, S., & Lichtenstein, E. (1990). Perceived stress, quitting smoking, and smoking relapse. *Health Psychology*, *9*, 466–478.
- Critchfield, T. S., & Kollins S.H. (2001). Temporal Discounting: Basic Research and the Analysis of Socially Important Behavior. *Journal of Applied Behavior Analysis*, *34*(1), 101–122.
- Cook, S., & Wellman, C. (2004). Chronic stress alters dendritic morphology in rat medial prefrontal cortex. *Journal of Neurobiology*, *60*(2), 236–248.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, *36*(1), 3–25.
- Crystal, J. D., Maxwell, K. W., & Hohmann, A. G. (2003). Cannabinoid modulation of sensitivity to time. *Behavioural Brain Research*, *144*(1–2), 57–66.
- Dang, J. (2017). An updated meta-analysis of the ego depletion effect. *Psychological Research*, s00426-017-0862-x.
- DeWall, C. N., Stillman, T., Baumeister, R. F., & Gailliot, M. T. (2007). Violence restrained Effects of self-regulation and its depletion on aggression. *Journal of Experimental Social Psychology*, *43*, 62–76.
- Donohoe, R. T., & Benton, D. (1999a). Blood glucose control and aggressiveness in females. *Personality and Individual Differences*, *26*, 905–911.

- Donohoe, R. T., & Benton, D. (1999b). Cognitive functioning is susceptible to the level of blood glucose. *Psychopharmacology*, *145*, 378–385.
- Droit-Volet, S., & Wearden J. H. (2001). Temporal bisection in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *80*(2), 142–159.
- Droit-Volet, S., Mermillod, M., Cocenas-Silva, R., & Gil, S. (2010). The effect of expectancy of a threatening event on time perception in human adults. *Emotion*, *10*, 908–914.
- Duckworth, A. L., & Seligman, M. E. P. (2005). Self-discipline outdoes IQ in predicting academic performance in adolescents. *Psychological Science*, *16*(12), 939–944.
- Duff, S. J., & Hampson, E. (2001). A sex difference on a novel spatial working memory task in humans. *Brain and Cognition*, *47*(3), 470–493.
- Dunbar, R. I. M. (1998). The social brain hypothesis. *Evolutionary Anthropology*, *6*, 178–190.
- Duncko, R., Johnson, L., Merikangas, K., & Grillon, C. (2009). Working memory performance after acute exposure to the cold pressor stress in healthy volunteers. *Neurobiology of Learning and Memory*, *91*(4), 377–381.
- Ebert, J., & Prelec, D. (2007). The Fragility of Time: Time-Insensitivity and Valuation of the Near and Far Future. *Management Science*, *53*, 1423–1438.
- Edwards, C. J., Alder, T. B., & Rose, G. J. (2002). Auditory midbrain neurons that count. *Nature Neuroscience*, *5*(10), 934–936.
- Efron, B. (1986). How biased is the apparent error rate of a prediction rule? *Journal of the American Statistical Association*, *81*, 416–470.
- Eid, M., & Langeheine, R. (1999). Latent class models. *Psychological Methods*, *4*, 100–116.
- Eisen, L. A. (2009). Time perception is distorted during responses to medical emergencies. *Medical Hypotheses*, *72*(6), 626–628.
- Fagerström, K., Kunze, M., Schoberberger, R., Breslau, N., Hughes, J., Hurt, R., Puska, P., Ramström, L., & Zatónski, W. (1996). Nicotine dependence. Cross cultural comparisons in population surveys and cessation samples. *Tobacco Control*, *1996*, *5*, 52–56.

- Fairclough, S. H., & Houston, K. (2004). A metabolic measure of mental effort. *Biological Psychology, 66*, 177–190.
- Fenwick, C., Chaboyer, W., & St-John, W. (2012). Decision-making processes for the self-management of persistent pain: A grounded theory study. *Contemporary Nurse: A Journal For The Australian Nursing Profession, 42*(1), 53–66.
- Ferster, C. B., & Skinner, B. F. (1957). Fixed ratio *Schedules of Reinforcement* (pp. 39–132). New York: Appleton Century Crofts.
- Field, M., Santarcangelo, M., Sumnall, H., Goudie, A., & Cole. J. (2006). Delay Discounting and the Behavioural Economics of Cigarette Purchases in Smokers: The Effects of Nicotine Deprivation. *Psychopharmacology, 186*(2), 255–263.
- Fillmore, M. T., & Weafer, J. (2004). Alcohol impairment of behavior in men and women. *Addiction, 99*(10), 1237–1246.
- Finkel, E. J., & Campbell, W. K. (2001). Self-control and accommodation in close relationships: An interdependence analysis. *Journal of Personality and Social Psychology, 81*, 263-277.
- Frederick, S., Loewenstein, G., & O'Donoghue T. (2002). Time discounting and time preference: A critical review. *Journal of Economic Literature, 40*, 351–401.
- Fuchs, E., Flugge, G., & Czeh, B. (2006). Remodeling of neuronal networks by stress. *Frontiers in Bioscience, 11*, 2746–2758.
- Gailliot, M.T., & Baumeister, R.F. (2005). Self-control and business ethics: How strengthening the self-benefits the corporation and the individual. In R. A. Giacalone, C. L. Jurkiewicz, & C. Dunn (Eds.), *Positive Psychology, Ethics, and Social Responsibility in Organizational Life*. Greenwich, CT: Information Age.
- Gailliot, M. T., Plant, E. A., Butz, D. A., & Baumeister, R. F. (2007). Increasing self-regulatory strength can reduce the depleting effect of suppressing stereotypes. *Personality and Social Psychology Bulletin, 33*, 281–294.
- Gailliot, M. T., Schmeichel, B. J., & Baumeister, R. F. (2006). Self-regulatory processes defend against the threat of death: Effects of self-control depletion and trait self-control on thoughts and fears of dying. *Journal of Personality and Social Psychology, 91*, 49–62.

- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's Law in animal timing. *Psychological Review*, 84, 279–325.
- 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. In H. L. Roitblat, T. G. Bever & H. S. Terrace (Eds.), *Animal Cognition* (pp. 465–488). New Jersey: Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Gibbon, J., Church, R. M. & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 52–77.
- Goetsch, V. L. (1989). Stress and blood glucose in diabetes mellitus: A review and methodological commentary. *Annals of Behavioral Medicine*, 11, 102-107.
- Goetsch, V. L., Abel, J. L., & Pope, M. K. (1994). The effects of stress, mood, and coping on blood glucose in NIDDM: A prospective pilot evaluation. *Behaviour Research & Therapy*, 32, 503–510.
- Gold, J. & Shadlen, M. (2007). The neural basis of decision-making. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 535–574.
- Gordijn, E. H., Hindriks, I., Koomen, W., Dijksterhuis, A., & Van Knippenberg, A. (2004). Consequences of stereotype suppression and internal suppression motivation: A self-regulation approach. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 30, 212–224.
- Gottfredson, M. R., & Hirschi, T. (1990). *A general theory of crime*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Gray, J. R. (1999). A Bias Toward Short-Term Thinking in Threat-Related Negative Emotional States. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 25(1), 65–75.
- Green, L., Fry, A., & Myerson, J., (1994). A life-span comparison. *Psychological Science*, 5, 33–36.
- Green, L., & Myerson, J. (2004). A discounting framework for choice with delayed and probabilistic rewards. *Psychological Bulletin*, 130(5) 769–792.
- Greeno, C. G., & Wing, R. R. (1994). Stress-induced eating. *Psychological Bulletin*, 115, 444–464.
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention Perception & Psychophysics*, 72(3), 561-582.

- Grondin, S., & Rammsayer, T. (2003). Variable foreperiods and temporal discrimination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section a-Human Experimental Psychology*, *56*(4), 731–765.
- Gu, B. M., Van Rijn, H., & Meck, W. H. (2015). Oscillatory multiplexing of neural population codes for interval timing and working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *48*, 160–185.
- Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. D. (2010). Ego depletion and the strength model of self-control: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 495-525.
- Hancock, P. A., & Weaver, J. L. (2005). On time distortion under stress. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *6*, 193–211.
- Haushofer, J., Cornelisse, S., Seinstra, M., Fehr, E., Joëls, M., & Kalenscher, T. (2013). No Effect of Stress on Intertemporal Choice. *PLOS ONE*, *8*(11), e78597.
- Holt, D. D., Green, L., & Myerson, J. (2003). Is discounting impulsive? Evidence from temporal and probability discounting in gambling and non-gambling college students. *Behavioural Processes*, *64*(3), 355-367.
- Hunt, L., Kolling, N., Soltani, A., Woolrich, M., Rushworth, M., & Behrens, T. (2012). Mechanisms underlying cortical activity during value-guided choice. *Nature reviews of Neuroscience*, *15*(3), 470–476.
- Ishizawa, K. T., Kumano, H., Sato, A., Sakura, H., & Iwamoto, Y. (2010). Decreased response inhibition in middle-aged male patients with Type 2 diabetes. *Biopsychosocial Medicine*, *4*:1.
- Jarvik, M. E., Olmstead, R. E., Schneider, N. G., Iwamoto-Schaap, P. N., & Madsen, D. C. (1998). Sweeteners and cigarette craving: Glucose, aspartame, sorbitol. *American Journal of Health Behavior*, *22*, 130–140.
- JASP Team (2017). JASP (Version 0.8.3.1) [Software]. Amsterdam, The Netherlands: University of Amsterdam. Recuperado el día 25 de octubre de 2017 de: <https://jasp-stats.org/>
- Jianmin, Z., Yujiao, W., & Qinglin, Z. (2012). An ERP Study on Decisions between Attractive Females and Money. *PLOS ONE*, *7*(10), 1–8.

- Joëls, M., & Baramans, T. (2009). The neuro-symphony of stress. *Nature Reviews in Neuroscience*, *10*, 459–466.
- Joëls, M., Pu, Z., Wiegert, O., Oitzl, M. S., & Krugers, H. J. (2006). Learning under stress: how does it work? *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(4), 152–158.
- Johnson, M. W., & Bickel, W.K. (2008). An algorithm for identifying nonsystematic delay-discounting data. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, *16*(3), 264–274.
- Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1996). *LISREL 8: User's reference guide*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kable, J. W., & Glimcher, P. W. (2007). The neural correlates of subjective value during intertemporal choice. *Nature Neuroscience*, *10*(12), 1625–1633.
- Kajantie, E., & Phillips, D. I. W. (2006). The effects of sex and hormonal status on the physiological response to acute psychosocial stress. *Psychoneuroendocrinology*, *31*(2), 151–178.
- Kandel, E.R., Schwartz, J. H., & Jessell, T.M. (2000). *Principles of neural science* (4th ed.). New York: McGraw-Hill, Health Professions Division.
- Karniol, R., & Miller, D. T. (1983). Why not wait?: A cognitive model of self-imposed delay termination. *Journal of Personality and Social Psychology*, *45*, 935–942.
- Karst, H., Berger, S., Turiault, M., Tronche, F., Schütz, G., & Joëls, M. (2005). Mineralocorticoid receptors are indispensable for nongenomic modulation of hippocampal glutamate transmission by corticosterone. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(52), 19204–19207.
- Kawagoe, R., Takikawa, Y., & Hikosaka, O. (2004). Reward-predicting activity of dopamine and caudate neurons: A possible mechanism of motivational control of saccadic eye movement. *Journal of Neurophysiology*, *91*(2), 1013–24.
- Keinan, G. (1987). Decision-Making Under Stress: Scanning of Alternatives Under Controllable and Uncontrollable Threats. *Journal of Personality and Social Psychology*, *52* (3), 639–644.

- Kennedy, D. O., & Scholey, A. B. (2000). Glucose administration, heart rate and cognitive performance: Effects of increasing mental effort. *Psychopharmacology*, 149, 63–71.
- Killeen, P.R. (2009) An additive-utility model of delay discounting. *Psychological Review*, 116(3), 602–619.
- Killeen, P. R., & Fetterman J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review*, 95(2), 274–295.
- Killeen, P. R. Fetterman J. G., & Bizo, L.A. (1997). Time's causes. In C. M. Bradshaw & E. Szabadi (Eds.), *Time and behaviour: Psychological and neurobiological analyses*. Amsterdam: Elsevier. pp 79–131.
- Kobayashi, S., & Schultz, W. (2008). Influence of Reward Delays on Responses of Dopamine Neurons. *Journal of Neuroscience*, 28(31), 7837–7846.
- Kopec, C. D., & Brody, C. D. (2010). Human performance on the temporal bisection task. *Brain and Cognition*, 74(3), 262–272
- Kokavec, A., & Crowe, S. F. (2003). Effect on plasma insulin and plasma glucose of consuming white wine alone after a meal. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 27, 1718–1723.
- Koolhaas, J., Bartolomucci, A., Buwalda, B., de Boer, F., Flugge, G., Korte, M., & Fuchs, E. (2011). Stress revisited critical evaluation of the stress concept. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(5), 1291–1301.
- Kudielka, B. M., & Kirschbaum, C. (2005). Sex differences in HPA axis responses to stress: a review. *Biological Psychology*, 69(1), 113–132.
- Laibson, D. (1997). Golden eggs and hyperbolic discounting. *Quarterly Journal of Economics*, 112, 443–77.
- Laibson, D. (2003). Intertemporal decision-making. In *Encyclopedia of Cognitive Science*. London: Nature Publishing Group.
- Lancaster, K. (1963). An axiomatic theory of consumer time preference. *International Economic Review*, 4(2), 221–231.
- Lawrence, E. C. (1991), Poverty and the Rate of Time Preference: Evidence from Panel Data. *Journal of Political Economy*, 99, 54–78.

- Leka, S., Griffiths, A., & Cox, T. (2004). *Work Organization and Stress: systematic problem approaches for employers, managers and trade union representatives*. Geneva: WHO.
- Lerner, J. S., Li, Y., & Weber, E. U. (2013). The financial costs of sadness. *Psychological Science, 24*(1), 72–79.
- Lerner, J. S., Li, Y., Valdesolo, P., and Kassam, K. S. (2015). Emotion and decision-making. *Annual Review of Psychology, 66*, 799-823.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2006). Remembering the time: a continuous clock. *Trends in Cognitive Sciences, 10*(9), 401–406.
- Loewenstein, G. (1988). Frames of Mind in Intertemporal Choice. *Management Science, 34*(2), 200–214.
- Loewenstein, G. (1996). Out of Control: Visceral Influences on Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 65*(3), 272–292.
- Loewenstein, G., & Elster, J. (1992). *Choice over time*. New York: Russell Sage Foundation.
- Loewenstein, G., & Prelec, D. (1992). Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and an Interpretation. *Quarterly Journal of Economics, 107*(2), 573–597.
- Loewenstein, G., & Prelec, D. (1993). Preferences for Sequences of Outcomes. *Psychological Review, 100*(1), 91–108.
- Loewenstein, G., & Sicherman, N. (1991). Do Workers Prefer Increasing Wage Profiles? *Journal of Labor Economics, 9*(1), 67–84.
- Loewenstein, G., Read, D., & Baumeister, R.F. (2003). *Time and decision: Economic and Psychological Perspectives on Intertemporal Choice*. New York: Russell Sage Foundation.
- Logue, A. W. (1988). Research on self-control: An integrating framework. *Behavioral and Brain Sciences, 11*(4), 665–679.
- Luckman, A., Donkin, C., & Newell, B. R. (2017). Can a single model account for both risky choices and inter-temporal choices? Testing the assumptions underlying models of risky inter-temporal choice. *Psychonomic Bulletin & Review, 10.3758/s13423-017-1330-8*.

- Lupien, S. J., Maheu, F., Tu, M., Fiocco, A., & Schramek, T. E. (2007). The effects of stress and stress hormones on human cognition: implications for the field of brain and cognition. *Brain and Cognition*, *65*, 209–237.
- Lyonski, S., & Durvasula, S. (2013). Consumer decision-making styles in retailing: evolution of mindsets and psychological impacts. *Journal of Consumer Marketing*, *3*(1), 75–87.
- MacLean, E. L., Hare, B., Nunn C. L., Addessi, E., Amici, F., Anderson, R. C., et al. (2014). The evolution of self-control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(20), E2140-E2148.
- Major, M. (2013). How They Decide: A Case Study Examining the Decision-Making Process for Keeping or Cutting Music in a K–12 Public School District. *Journal of Research in Music Education*, *61*(1), 5–25.
- Mauk, M. D., & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 307–340.
- Mazur, J. E. (1987). An adjustment procedure for studying delayed reinforcement, In *The effect of delay and intervening events on reinforcement value*. Michael L. Commons, James E. Mazur, John A. Nevin and Howard Rachlin eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McClure, S. M., Ericson, K. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2007). Time Discounting for Primary Rewards. *Journal of Neuroscience*, *27*(21), 5796–5804.
- McEwen, B. S. (2004). Protection and damage from acute and chronic stress\_ allostasis and allostatic overload and relevance to the pathophysiology of psychiatric disorders. *Biobehavioral Stress Response: Protective and Damaging Effects*, *1032*, 1–7.
- McKerchar, T. L., Green, L., Myerson, J., Pickford, T. S, Hill J. C., & Stout, S. C. (2009). A comparison of four models of delay discounting in humans. *Behavioural Processes*, *81*(2), 256–259.
- McNay, E. C., Fries, T. M., & Gold, P. E. (2000). Decreases in rat extracellular hippocampal glucose concentration associated with cognitive demand during a spatial task. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*, 2881–2885.

- McNay, E. C., McCarty, R. C., & Gold, P. E. (2001). Fluctuations in brain glucose concentration during behavioral testing: Dissociations between brain areas and between brain and blood. *Neurobiology of Learning and Memory*, *75*, 325–327.
- McQuarrie, A. D. R., & Tsai, C. L. (1998). *Regression and time series model selection*. Singapore: World Scientific.
- Meck, W. H. (1983). Selective adjustment of the speed of internal clock and memory processes. *Journal of Experimental Psychology-Animal Behavior Processes*, *9*(2), 171–201.
- Mergenthaler, P., Lindauer, U., Dienel, G. A., & Meisel, A. (2013). Sugar for the brain: the role of glucose in physiological and pathological brain function. *Trends in Neuroscience*, *36*, 587–597.
- Michael, M. (2015). *Freud's Theory of Dreams: A Philosophico-Scientific Perspective*. New York: Rowman & Littlefield.
- Mischel, W. (1974). Processes in delay gratification. En L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (Vol. 7. pp. 249-292). San Diego: Academic.
- Mischel, W., Shoda, Y., & Peake, P. K. (1988). The nature of adolescent competencies predicted by preschool delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*, 687-696.
- Monterosso, J., & Ainslie, G. (1999). Beyond discounting: Possible experimental models of impulse control. *Psychopharmacology*, *146*(4), 339–347.
- Muehlfeld, K., Doorn, J., & Witteloostuijn, A. (2011). The Effects of Personality Composition and Decision-making Processes on Change Preferences of Self-managing Teams. *Managerial y Decision Economics*, *32*(5), 333-353.
- Muraven, M., & Baumeister, R. F. (2000). Self-regulation and depletion of limited resources: Does self-control resemble a muscle? *Psychological Bulletin*, *126*, 247–259.
- Muraven, M., Collins, R. L., & Nienhaus, K. (2002). Self-control and alcohol restraint: An initial application of the Self-Control Strength Model. *Psychology of Addictive Behaviors*, *16*, 113-120.
- Myerson, J., & Green, L. (1995). Discounting of delayed rewards: Models of individual choice. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, *64*(3), 263–276.

- Myung, I. J., Forster, M. R., & Browne, M. W. (2000). Model selection. [*Special issue*], *Journal of Mathematical Psychology*, 44(1).
- Myung, I. J., & Pitt, M. A. (1997). Applying Occam's razor in modeling cognition: A Bayesian approach. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 79–95.
- Odum, A. L., & Rainaud, C. P. (2003). Discounting of Delayed Hypothetical Money, Alcohol, and Food. *Behavioural Processes*, 64(3), 305–313.
- Organización Panamericana de la Salud (2013). Causas principales de mortalidad en las Américas. Recuperado el 06 de julio de 2017 de: [http://ais.paho.org/hip/viz/mort\\_causasprincipales\\_lt\\_oms.asp](http://ais.paho.org/hip/viz/mort_causasprincipales_lt_oms.asp)
- Ortega, L., & Lopez, F. (2008). Effects of visual flicker on subjective time in a temporal bisection task. *Behavioral Processes*, 78, 380–386.
- Ortega, L., Lopez, F., & Church, R. M. (2009). Modality and intermittency effects on time estimation. *Behavioral Processes*, 81, 270–273.
- Owens, D. S., & Benton, D. (1994). The impact of raising blood glucose on reaction times. *Neuropsychobiology*, 30, 106–113.
- Pabst, S., Brand, M., & Wolf, O. (2013). Stress and decision-making: A few minutes make all the difference. *Behavioural Brain Research*, 250, 39–45.
- Padoa-Schioppa, C., & Assad, J. (2006). Neurons in the orbitofrontal cortex encode economic value. *Nature*, 441(7090), 223–226.
- Parker, P. Y. (1995). *The influence of blood glucose on the cognitive functioning of young adults*. Doctoral thesis, University of Wales, Swansea.
- Parker, P. Y., & Benton, D. (1995). Blood glucose levels selectively influences memory for word lists dichotically presented to the right ear. *Neuropsychologia*, 33, 843–854.
- Pearson, J., & Platt, M. (2012). Dynamic decision-making in the brain. *Nature reviews of Neuroscience*, 15(3), 341–343.
- 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.
- Pennings, J. M., & P. García (2005). The Poverty Challenge: How Individual Decision Making Behavior Influences Poverty. *Economics Letters*, 88, 115–119.

- Perry, J. L., & Carroll, M.E. (2008). The role of impulsive behavior in drug abuse. *Psychopharmacology*, 200(1), 1–26.
- Peters, J., Miedl, S. F., & Büchel, C. (2012). Formal Comparison of Dual-Parameter Temporal Discounting Models in Controls and Pathological Gamblers. *PLoS ONE* 7(11): e47225.
- Petry, N. M. (2001). Pathological Gamblers, with and without Substance Use Disorders, Discount Delayed Rewards at High Rates. *Journal of Abnormal Psychology*, 110(3), 482–487.
- Philiastides, M., Auksztelewicz, R., Heekeren, H., & Blankenburg, F. (2011). Causal role of dorsolateral cortex in human perceptual decision-making. *Current Biology*, 21, 980-983.
- Plichta, M. M., Vasic, M., Wolf, R. C., Lesch, K. P., Brummer, D., Jacob, C., Fallgatter, A. J., & Gron, G. (2009). Neural Hyporesponsiveness and Hyper-Responsiveness during Immediate and Delayed Reward Processing in Adult Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, 65(1), 7–14.
- Porcelli, A., & Delgado, M. (2009). Acute stress modulates risk taking in financial decision-making. *Psychological Science*, 20(3), 278–283.
- Pratt, T. C., & Cullen, F. T. (2000). The empirical status of Gottfredson and Hirschi's general theory of crime: A meta-analysis. *Criminology*, 38, 931–964.
- Preston, S., Stansfield, R., Buchanan, T., & Bechara, A. (2007). Effects of Anticipatory Stress on Decision Making in a Gambling Task. *Behavioral Neuroscience*, 121(2), 257–263.
- Pruessner, J., Dedovic, K., Khalili-Mahani, N., Engert, V., Pruessner, M., Buss, C., Renwick, R., Dagher, A., Meaney, M., & Lupien, S. (2008). Deactivation of the limbic system during acute psychosocial stress: evidence from positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging studies. *Biological Psychiatry*, 63(2), 234–240.
- Putman, P., Antypa, N., Crysovergi, P., & van der Does, W. (2010). Exogenous Cortisol acutely influences motivated decision making in healthy young men. *Psychopharmacology*, 208(2), 257–263.

- Qin, S. Z., Hermans, E. J., Van Marle, H. J. F., Luo, J., & Fernandez, G. (2009). Acute psychological stress reduces working memory-related activity in the dorsolateral prefrontal cortex. *Biological Psychiatry*, *66*, 25–32.
- R Development Core Team. (2017). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.4.2) [Software]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado el 25 de octubre de 2017 de: <http://www.R-project.org>.
- Rachlin, H. (2000). The science of self-control. EE. UU.: Harvard University
- Rachlin, H. (2006). Notes on discounting. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, *85*(3), 425–435.
- Radley, J., Sisti, H., Hao, J., Rocher, A., McCall, T., Hof, P., McEwen, B., & Morrison, J. (2004). Chronic behavioral stress induces apical dendritic reorganization in pyramidal neurons of the medial prefrontal cortex. *Neuroscience*, *125*(1), 1–6.
- Rasch, G. (1960/1980). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Copenhagen: Danish Institute for Educational Research. Reprinted: Chicago University Press.
- Read, D. (2001). Is Time Discounting Hyperbolic or Subadditive? *Journal of Risk and Uncertainty*, *23*(1), 5–32.
- Richards, J. B., Mitchell, S. H., Wit. H. D., & Seiden, L. S. (1997). Determination of Discount Functions in Rats with an Adjusting-Amount Procedure. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *67*(3), 353–366.
- Richeson, J. A., & Shelton, J. N. (2003). When prejudice does not pay: Effects of interracial contact on executive function. *Psychological Science*, *14*, 287–290.
- Richeson, J. A., & Trawalter, S. (2005). Why do interracial interactions impair executive function? A resource depletion account. *Journal of Personality and Social Psychology*, *88*, 934–947.
- Roberts, S., & Church, R. M. (1978). Control of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *4*, 318–337.
- Rodriguez, M. L., Mischel, W., & Shoda, Y. (1989). Cognitive person variables in the delay of gratification of older children at risk. *Journal of Personality and Social Psychology*, *57*, 358-367.

- Royall, R. M. (1997). *Statistical evidence: A likelihood paradigm*. London: Chapman & Hall.
- RStudio Team (2017). RStudio: Integrated Development for R (Version 1.1.383) [Software]. Boston, Estados Unidos: RStudio, Inc. Recuperado el 25 de octubre de 2017 de: <http://www.rstudio.com/>
- Samuelson, P. (1937). A note on measurement of utility. *Review of Economic Studies*, 4, 155–161.
- Samuelson, P. (1952). Probability, utility, and the independence axiom. *Econometrica*, 20(4), 670–678.
- Santi, A., Weise, L., & Kuiper, D. (1995). Amphetamine and memory for event duration in rats and pigeons: disruption of attention to temporal samples rather than changes in the speed of the internal clock. *Psychobiology*, 23(3), 224–232.
- Shoda, Y., Mischel, W., & Peake, P. K. (1990). Predicting adolescent cognitive and self-regulatory competencies from preschool delay of gratification: Identifying diagnostic conditions. *Developmental Psychology*, 26, 978–986.
- Scholey, A. B., Harper, S., & Kennedy, D. O. (2001). Cognitive demand and blood glucose. *Physiology & Behavior*, 73, 585–592.
- Schmeichel, B. J., Demaree, H. A., Robinson, J. L., & Pu, J. (2006). Ego depletion by response exaggeration. *Journal of Experimental Social Psychology*, 42(1), 95–102.
- Schoofs, D., Wolf, O. T., & Smeets, T. (2009). Cold pressor stress impairs performance on working memory tasks requiring executive functions in healthy young men. *Behavioral Neuroscience*, 123(5), 1066–1075.
- Schoofs, D., Pabst, S., Brand, M., & Wolf, O. (2013). Working memory is differentially affected by stress in men and women. *Behavioural Brain Research*, 241, 144–153.
- Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2013). Stress and multiple memory systems: from “thinking” to “doing”. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(2), 60–68.
- Schwabe, L., Oitzl, M. S., Philippson, C., Richter, S., Bohringer, A., Wippich, W., & Schachinger, H. (2007). Stress modulates the use of spatial versus stimulus-response learning strategies in humans. *Learning & Memory*, 14(1–2), 109–116.

- Schwabe, L., Tegenthoff, M., Hoffken, O., & Wolf, O. T. (2010a). Concurrent Glucocorticoid and Noradrenergic Activity Shifts Instrumental Behavior from Goal-Directed to Habitual Control. *Journal of Neuroscience*, *30*(24), 8190–8196.
- Schwabe, L., Wolf, O. T., & Oitzl, M. S. (2010b). Memory formation under stress: Quantity and quality. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(4), 584–591.
- Siesjo, B. K. (1978). *Brain energy metabolism*. Chichester, UK: Wiley.
- Smeets, T. (2011). Acute stress impairs memory retrieval independent of time of day. *Psychoneuroendocrinology*, *36*, 495–501.
- Starcke, K., & Brand, M. (2012). Decision-making under stress: A selective review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *36*, 1228–1248.
- Stevens, S. S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, *64*(3), 153–181.
- Sugrue, L., Corrado, S., & Newsome, W. (2005). Choosing the greater of two goods: neural currencies for valuation and decision-making. *Nature reviews of Neuroscience*, *6*(5), 363–375.
- Sünram-Lea, S. I., Foster, J. K., Durlach, P., & Perez, C. (2002). Investigation into the significance of task difficulty and divided allocation of resources on the glucose memory facilitation effect. *Psychopharmacology*, *160*, 387–397.
- Swainston, K., Campbell, C., van Wersch, A., & Durning, P. (2012). Treatment decision making in breast cancer: A longitudinal exploration of women's experiences. *British Journal of Health Psychology*, *17*(1), 155–170.
- Tamm, M., Jakobson, A., Havik, M., Burk, A., Timpmann, S., Allik, J., Oopik, V., & Kreegipuu, K. (2014). The compression of perceived time in a hot environment depends on physiological and psychological factors. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*, 197–208.
- Tamm, M., Jakobson, A., Havik, M., Timpmann, S., Burk, A., Oopik, V., Allik, J., & Kreegipuu, K. (2015). Effects of heat acclimation on time perception. *International Journal of Psychophysiology*, *95*, 261–269.
- Takahashi, T. (2010). Toward Molecular Neuroeconomics of Obesity. *Medical Hypotheses*, *75*(4), 393–396.

- Takahashi, T., Oono, H., & Radford, M. (2008). Psychophysics of time perception and intertemporal choice models. *Physica A*, 387(8–9), 2066–2074.
- Tangney, J. P., Baumeister, R. F., & Boone, A. L. (2004). High self-control predicts good adjustment, less pathology, better grades, and interpersonal success. *Journal of Personality*, 72, 271–322.
- Tesch, A. D., & Sanfey, A. G. (2008). Models and Methods in Delay Discounting. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1128, 90–94.
- Thaler, R. H. (1981). Some Empirical Evidence on Dynamic Inconsistency. *Economics Letters*, 8(3), 201–207.
- Thaler, R. H., & Sunstein C. R. (2008). *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth and Happiness*, New Haven: Yale University Press
- Thompson, H. (2010). *The Stress Effect: Why Smart leaders make dumb decisions – and what do about it*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Ulrich-Lai, Y. M., & Herman, J. P. (2009). Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 397–409.
- Van den Bos, R., Harteveld, M., & Stoop, H. (2009). Stress and decision-making in humans: Performance is related to cortisol reactivity, albeit differently in men and women. *Psychoneuroendocrinology*, 34(10), 1449–1458.
- Vitaliano, P. P., Scanlan, J. M., Krenz, C., & Fujimoto, W. (1996). Insulin and glucose: Relationships with hassles, anger, and hostility in non-diabetic older adults. *Psychosomatic Medicine*, 58, 489–499.
- Vitaliano, P. P., Scanlan, J. M., Krenz, C., Schwartz, R. S., & Marcovina, S. M. (1996). Psychological distress, caregiving, and metabolic variables. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 51, 290–297.
- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., & Ciarocco, N. J. (2005). Self-regulation and self-presentation: Regulatory resource depletion impairs impression management and effortful self-presentation depletes regulatory resources. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88, 632–657.
- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., Schmeichel, B. J., Twenge, J. M., Nelson, N. M., & Tice, D. M. (2008). Making choices impairs subsequent self-control: a limited-resource

- account of decision-making, self-regulation, and active initiative. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(5), 883–898.
- Wagenmakers, E. J. & Farrell, S. (2004). AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(1), 192–196.
- Wang, G. J., Korczykowski, M., Rao, H., Fan, Y., Pluta, J., Gur, R., McEwen, B., & Detre, J. (2007). Gender difference in neural response to psychological stress. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(3), 227–239.
- Wang, G. J., Volkow, N. D., Franceschi, D., Fowler, J. S., Thanos, P. K., & Panayotis, K. (2000). Regional brain metabolism during alcohol intoxication: Alcohol effects on the fetus, brain, liver, and other organ systems. *Alcoholism: Clinical & Experimental Research*, 24, 822–829.
- Wang, X. T. (2008). Decision-Making in Recurrent Neuronal Circuits. *Neuron*, 60(2), 215–234.
- Wang, X. T. (2012). Neural Dynamics and circuit mechanisms of decision-making. *Current Opinion in Neurobiology*, 22(6), 1039–1046.
- Wang, X. T., & Dvorak, R. B. (2010). Sweet Future: Fluctuating blood glucose levels affect future discounting. *Psychological Science*, 21, 183–188.
- Wang, Y., Nishinna, P. M., & Naggert, J. K. (2017). Degradation of IRS1 leads to impaired glucose uptake in adipose tissue of the type 2 diabetes mouse model TALLYHO/Jng. *Journal of Endocrinology*, 235(3), 65–74.
- Watanabe, K., Lauwereyns, J., & Hikosaka, O. (2003). Neural correlates of rewarded and unrewarded eye movements in the primate caudate nucleus. *Journal of Neuroscience*, 23(31), 10052–10057.
- Watts, F. N., & Sharrock, R. (1984). Fear and time estimation. *Perceptual and Motor Skills*, 59, 597–598.
- 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.
- Wearden, J. H., Rogers, P., & Thomas, R. (1997). Temporal bisection in humans with longer stimulus durations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B: Comparative Physiological Psychology*, 50, 79–94.
- Weiss, V. (1986). From memory span to the quantum mechanics of intelligence. *Personality and Individual Differences*, 7, 737–749.
- Weller, R., Cook, E., Avsar, K., & Co, J. (2008). Obese Women Show Greater Delay Discounting than Healthy-Weight Women. *Appetite*, 51(3), 563–569.
- Wellman, C. (2001). Dendritic reorganization in pyramidal neurons in medial prefrontal cortex after chronic corticosterone administration. *Journal of Neurobiology*, 49(3), 245–253.
- Wessels, A. M., Simsek, S., Remijnse, P. L., Veltman, D. J., Biessels, G. J., Barkhof, F., Scheltens, P., Snoek, F. J., Heine, R. J., & Rombouts, S. A. (2006). Voxel-based morphometry demonstrates reduced grey matter density on brain MRI in patients with diabetic retinopathy. *Diabetologia*, 49(10), 2474–2480.
- West, R., Courts, S., Beharry, S., May, S., & Hajek, P. (1999). Acute effect of glucose tablets on desire to smoke. *Psychopharmacology*, 147, 319–321.
- Westfall, P. H., Johnson, W.O., & Utts, J. M. (1997). A Bayesian perspective on the Bonferroni adjustment. *Biometrika*, 84(2), 419–427.
- Wiener, P. (2011). Neurotherapy in adult management of stress: Developmental aspects of the adult immune system. *Journal of adult Development*. 18(2), 66–69.
- Wolf, O. T. (2008). The influence of stress hormones on emotional memory: relevance for psychopathology. *Acta Psychologica*, 127(3), 513–531.
- World Health Organization. (2016). *Global report on Diabetes*. Geneva: World Health Organization.

- Yeung, N., & Sanfey, A. (2004). Independent coding of reward magnitude and valence in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 24(28), 6258–6264.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1997). Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 6(1), 12–16.
- Zolfani, S., Rezaeiniya, N., Pourhossein, M., & Zavadskas, E. (2012). Decision-Making on Advertisement Strategy Selection Based on Life Cycle of Products by Applying FAHP and TOPSIS GREY: Growth Stage Perspective: A Case about Food Industry in IRAN. *Engineering Economics*, 23(5), 471–474.

## **Anexo 1**

### **Ajuste de modelos y comparaciones por mínimos cuadrados no lineales**

El uso del estadígrafo  $R^2$  para la selección de modelos es inapropiado como se mencionó anteriormente, en particular debido al problema del ajuste excesivo (Wagenmakers y Farrell, 2004), y porque  $R^2$  confunde bondad de ajuste con la tasa de descuento (Aparicio, 2015). Para poder comparar resultados con estudios anteriores (Peters, Miedl y Büchel, 2012), se pueden complementar e incluir los resultados de un análisis "clásico" del ajuste de los modelos de descuento temporal a los datos de los puntos de indiferencia. Se examina la mediana de los puntos de indiferencia del conjunto de datos. Las ecuaciones de los modelos (véase la Tabla 1) se ajustaron a estos puntos de indiferencia agregados de manera grupal usando mínimos cuadrados no lineales mediante el paquete estadístico R con la librería *optim*.

### **Estimación de parámetros por medio del Criterio de Información de Akaike**

La evaluación de hipótesis potenciales en competencia es central en el proceso de investigación científica. Cuando las hipótesis potenciales se expresan en forma de predicciones a partir de modelos cuantitativos, su adecuación con respecto a los datos observados puede ser rigurosamente evaluada. Dado  $K$  modelos candidatos plausibles del proceso subyacente que ha generado los datos observados, es vital saber qué hipótesis o modelo se aproxima mejor al proceso "verdadero". De manera más general, nos gustaría saber cuánta evidencia estadística proporcionan los datos para cada uno de los  $K$  modelos, preferiblemente en términos de verosimilitud (Royall, 1997) o de la probabilidad de que cada uno de los modelos sea correcto (o el más correcto, dado que el modelo que los genera nunca se puede conocer con total certeza).

Una solución directa al problema de evaluar varios modelos candidatos es seleccionar el modelo que da la descripción más exacta de los datos. Sin embargo, el proceso de evaluación del modelo se complica por el hecho de que un modelo con muchos parámetros libres es más flexible que un modelo con sólo unos pocos parámetros. Por lo que, no es deseable considerar siempre el modelo más complejo como el mejor, y

generalmente se acepta que el mejor modelo es el que proporciona una cuenta adecuada de los datos mientras se usa un número mínimo de parámetros (Aparicio, 2015; Chávez et al., 2017; Myung, Forster, & Browne, 2000, Myung & Pitt, 1997; Peters, Miedl y Büchel, 2012). Cualquier criterio para la selección del modelo debe abordar este equilibrio entre la precisión descriptiva y la parsimonia.

Uno de los métodos más robustos de comparar múltiples modelos, teniendo en cuenta tanto la precisión descriptiva y la parsimonia, es el criterio de información de Akaike, AIC, por sus siglas en inglés (Akaike, 1974; Burnham y Anderson, 2002). El AIC es un método robusto que se aplica (no en una alta proporción) en una amplia gama de situaciones relevantes para las ciencias sociales. Por ejemplo, el AIC se utiliza a menudo como una medida de la adecuación del modelo tanto en el modelo de ecuaciones estructurales (Jöreskog y Sörbom, 1996), análisis de series temporales (McQuarrie y Tsai, 1998), análisis factorial (por ejemplo, Akaike, 1987), análisis de regresión (por ejemplo, Burnham y Anderson, 2001, véase también Efron, 1986) y análisis de clases latentes (Eid y Langeheine, 1999), entre otros más.

### **Selección de modelos mediante el Criterio de Información de Akaike**

El objetivo de la selección de modelos mediante el AIC es estimar la pérdida de información cuando la distribución de probabilidad  $f$  asociada al modelo verdadero (generador) se aproxima por la distribución de probabilidad  $g$ , asociada al modelo que se va a evaluar. Una medida para la discrepancia entre el modelo verdadero y el modelo de aproximación está dada por la cantidad de información Kullback-Leibler  $I(f, g)$ , que es igual al negativo de la entropía generalizada de Boltzmann (para detalles, véase Bozdogan, 1987, Burnham y Anderson, 2002).

Akaike (1973; Bozdogan, 1987) demostró que elegir el modelo con la pérdida de información esperada más baja (es decir, el modelo que minimiza la discrepancia Kullback-Leibler esperada) es asintóticamente equivalente a elegir un modelo  $M_j, j = 1, 2, \dots, K$  que tiene el valor AIC más bajo. Se define al AIC como:

$$AIC_i = -2\log L_i + 2V_i \quad (1)$$

donde  $L_i$ , es la máxima verosimilitud para el modelo candidato  $i$ , se determina ajustando los parámetros libres  $V_i$  de tal manera que se maximice la probabilidad de que el modelo candidato haya generado los datos observados. La ecuación 1 muestra que el AIC favorece la precisión descriptiva a través de la máxima verosimilitud y penaliza la falta de parsimonia según el número de parámetros libres, nótese que se prefieren los modelos con valores AIC más pequeños. La ecuación 1 se basa en aproximaciones asintóticas y sólo es válida para conjuntos de datos suficientemente grandes, pero para muestras pequeñas la denominada corrección por finitud de la muestra se da por:

$$AIC_c = -2\log L + 2V + \frac{2V(V+1)}{(n-V-1)}$$

y se recomienda generalmente cuando  $n/V < 40$  (Burnham y Anderson, 2002).

### **Pesos de Akaike**

Ahora bien, a partir de los estimadores de AIC, se muestra cómo se pueden comparar modelos de manera intuitiva y satisfactoriamente, considerando una simple transformación de los valores crudos de los AIC. Primero, se calcula para cada modelo, las diferencias en AIC con respecto al AIC del mejor modelo candidato (por ejemplo, Akaike, 1978; Burnham y Anderson, 2002); es decir,

$$\Delta_i (AIC) = AIC_i - \min AIC. \quad (2)$$

para cada uno de los  $K$  modelos. Esta transformación refleja el interés por el rendimiento relativo de los modelos, no por sus valores absolutos de AIC. Para el siguiente paso, observamos que el AIC es un estimador insesgado (Akaike, 1987; Bozdogan, 1987). Ahora bien, a partir de las diferencias en AIC, se puede obtener una

estimación de la verosimilitud relativa  $L$  del modelo  $i$  mediante la transformación simple:

$$L(M_i | \text{datos}) \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}\Delta_i(\text{AIC})\right\}, \quad (3)$$

donde  $\propto$  significa "es proporcional a". En el último paso, las verosimilitudes relativas del modelo son normalizadas (es decir, ponderadas por la suma de las verosimilitudes de todos los modelos) para obtener los pesos de Akaike  $w_i$  (AIC) (por ejemplo, Burnham y Anderson, 2002), donde

$$w_i(\text{AIC}) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2}\Delta_i(\text{AIC})\right\}}{\sum_{k=1}^K \exp\left\{-\frac{1}{2}\Delta_k(\text{AIC})\right\}}, \quad (4)$$

de modo que  $\sum w_i(\text{AIC}) = 1$ . Los pesos  $w_i(\text{AIC})$  pueden interpretarse como la probabilidad de que  $M_i$  sea el mejor modelo (en el sentido AIC, que minimiza la discrepancia de Kullback-Leibler), dados los datos y el conjunto de modelos candidatos (por ejemplo, Burnham y Anderson, 2001). Por lo tanto, la magnitud de la evidencia en favor de un modelo sobre el otro se obtiene dividiendo sus respectivos pesos de Akaike. Tómese en cuenta, que los pesos de Akaike están sujetos a variabilidad de muestreo, y que una muestra diferente probablemente generará un conjunto diferente de pesos para el conjunto de los modelos candidatos.

Puntualicemos, en un ejemplo, que la conclusión a partir de los valores originales de AIC es que un Modelo hipotético 1 es el preferido (dado que cuenta con un AIC = 100 y un  $w_1 = 0.75$ ), en comparación con otro Modelo hipotético 2 que cuenta con un AIC = 150 y un  $w_2 = 0.25$ ) es

$$\frac{w_1(\text{AIC})}{w_2(\text{AIC})} = \frac{0.75}{0.25} = 3$$

veces más probable, que sea el mejor modelo en términos de la discrepancia Kullback-Leibler con respecto al Modelo 2. Una manera alternativa de calcular la razón de evidencia con los pesos de Akaike para el Modelo  $i$  sobre el modelo  $j$ , puede también ser calculada directamente por

$$\frac{w_i(\text{AIC})}{w_j(\text{AIC})} = \exp(\log L_i - \log L_j + V_j - V_i)$$

$$\frac{w_i(\text{AIC})}{w_j(\text{AIC})} = \frac{L_i}{L_j} \exp(V_j - V_i)$$

Para obtener una aproximación intuitiva de la cantidad de soporte que esta proporción de evidencia genera a favor del Modelo 1 sobre el Modelo 2, también podemos expresar la proporción de evidencia como la probabilidad normalizada de que el Modelo 1 se prefiera sobre Modelo 2:

$$\frac{w_1(\text{AIC})}{w_1(\text{AIC}) + w_2(\text{AIC})} = \frac{0.75}{0.75 + 0.25} = 0.75$$

De este modo, utilizando los pesos de Akaike, llegaremos de nuevo a la conclusión de que el Modelo 1 debe ser preferido sobre su competidor, pero además los pesos de Akaike proporcionan una medida continua de la magnitud de la evidencia.

## Anexo 2. Diseño general de los experimentos

	<b>Experimento 1</b>		
Grupos Experimentos	Diabetes	Fumadores	Control
Descuento Temporal	●	●	●
Bisección Temporal	●	●	●
Objetivo	Explorar y describir el patrón de respuestas de los diferentes grupos con variables atributivas en ambas tareas experimentales.		

	<b>Experimento 2</b>		
Grupos Experimentos	Diabetes	Estrés experimental	Control
Descuento Temporal	●	●	●
Bisección Temporal	●	●	●
Objetivo	Evaluar el efecto de la inducción de estrés en el grupo experimental sobre el patrón de respuestas en ambas tareas experimentales para comparar entre los grupos y establecer relaciones preliminares de semejanza.		