

# Neuroeconomía: panorama y hallazgos recientes

Santiago Alonso Díaz\*

---

*santiagoalonsodiaz@gmail.com*

\* Profesor catedrático Universidad Nacional de Colombia y Universidad de los Andes. MSc en Neurociencias y Educación, Columbia University, Nueva York, Estados Unidos.



## Introducción

En la última década, la disciplina neuroeconomía ha tomado fuerza, o por lo menos visibilidad. Hoy genera debates teóricos en círculos económicos (Gul y Pesendorfer, 2008; Bernheim, 2008), grandes universidades, como Caltech, NYU, y Zurich tienen investigadores y laboratorios dedicados a ella, e incluso no es extraño ver artículos sobre el tema en semanarios como *The Economist* (e.g. ver artículo “Trader’s Brains: Rogue Hormones. Bad trade? Blame the adrenal cortex”, de septiembre 24 de 2011). Así, se puede decir que la neuroeconomía se configura como relevante en tanto subdisciplina económica y, en general, como una rama adicional en la ciencia de toma de decisiones.

Antes de definirla, hay primero que tocar un poco su historia y las fuentes que la hicieron surgir. Como base se tomará el texto de Glimcher, Camerer, Fehr y Poldrack (2009). Ellos proponen que hay que dividir en dos el análisis histórico de la disciplina. Por un lado, hay que entender cómo el cerebro pudo entrar en la discusión económica y, por otro, el desarrollo de la neurociencia, y en particular la neurociencia cognitiva. Se hará un muy breve recorrido por ambos caminos.

En el primer camino, el económico, la historia, relevante para la neuroeconomía, empieza con economistas interesados por procesos internos. Por ejemplo, Adam Smith tenía un interés por la riqueza de las naciones y los mecanismos morales de las personas. Había en él una curiosidad doble, no contradictoria, en estudiar comportamiento económico y comportamiento moral. De tal forma, el padre de la economía no era indiferente a tratar de entender los procesos internos de los sujetos. En la teoría de Keynes también se observan intereses parecidos. Había conceptos, como propensión a ahorrar o espíritus animales, que denotan aspectos psicológicos. Una cita de Keynes (1936/2000) puede ser esclarecedora al respecto

“Quizá la mayor parte de nuestras decisiones de hacer algo positivo, cuyas consecuencias completas se irán presentando en muchos días por venir, solo pueden considerarse como resultado de *espíritus animales* de un resorte espontáneo que impulsa la acción en lugar de la inacción, y no los beneficios cuantitativos multiplicados por las probabilidades cuantitativas” (p. 147, cursivas del autor).

El uso de la expresión espíritus animales es diciente. Keynes era consciente que los motores de decisión económica no eran solo cálculos explícitos y precisos de cantidades, había procesos detrás, que aun sin explicación clara para la época, hacían que el hombre actuará.

Pero esta noción no era importante para todos. Economistas como Samuelson, ganador del premio del Banco Central de Suecia en honor de Alfred Nobel a la economía, Mises, representante pivote de la corriente austriaca de economía, y el matemático von Neumann, fundador de la teoría de juegos, se centraron en construir una economía libre de análisis internos. Por ejemplo, el término preferencias reveladas, central en la propuesta de Samuelson, es diciente. Para él no era labor de la economía preocuparse por los motivos internos; la métrica de interés debía ser las decisiones observables de los sujetos. El porqué de esas decisiones, es decir, las motivaciones, las sensaciones subjetivas, aun cuando fascinantes, no le decían mucho al economista, incluso a nivel epistemológico, pues era difícil determinarlas.

Esta división, eventualmente, dio pie a dos tipos de economía: normativa y positiva. La primera, se refiere a aquella economía axiomática (normas) de cómo debería comportarse un ente económico. Un ejemplo de estas normas, y tal vez central, es la consistencia. Un ente racional debe mantener en línea su comportamiento, y si escoge un X bajo ciertas condiciones, debería hacerlo de nuevo si se repiten, exactamente, dichas condiciones (la transitividad se puede ver como una derivación de ser consistente, aunque el requisito de repetir las mismas condiciones es fuerte, así que en la práctica no es tan elemental). Se puede ver, entonces, que el ánimo en la economía normativa es el deber ser, y aparecen axiomas, seguidos de teoremas, que sustentan modelos, de lo que se ha venido a llamar el *homo economicus*: un ente racional ideal, maximizador de variables.

La segunda, la positiva, aparece cuando a los economistas les empieza a preocupar el porqué los entes económicos se comportan en contra de los axiomas, normas y modelos. De pronto es Hayek, el referente más visible y temprano. Él no fue economista positivo propiamente dicho, pero sí hizo reflexiones en torno al funcionamiento del ser humano, su percepción y aprendizaje (Hayek, 1952/1976). Lo interesante de Hayek es el cruce que hizo entre estudios de percepción y aprendizaje y economía. Aunque él es central en la historia de la neuroeconomía, son otros economistas los que empiezan a delinear y fortalecer la economía positiva, aquella preocupada por la investigación empírica y el porqué de las decisiones económicas. Nombres centrales se cuentan Herbert Simon (e.g. Simon, 1997), Daniel Kahneman, Amos Tversky (e.g. Kahneman y Tversky, 1979) y Vernon Smith (e.g. Smith, 2008)). Los últimos tres, en particular, lograron revelar, experimentalmente, las sutilezas del comportamiento humano y en replantear modelos económicos acordes con los resultados empíricos, no al deber ser normativo.

No sobra decir que es la economía positiva la que encuentra más potencial en la neuroeconomía (ver ejemplo normativo en contra de la neuroeconomía en Gul

y Pesendorfer, 2008, o breve recuento de neuroeconomía en Glimcher, 2009) sin que esto signifique que no haya investigadores que usen modelos e ideas normativas para explicar resultados de decisiones y neuronales (e.g. Padoa-Schioppa y Assad, 2008). Pero antes de definirla, es preciso hablar, brevemente, de la segunda rama histórica propuesta por Glimcher et ál: la de la neurociencia cognitiva. Un punto arbitrario de comienzo debe ser Pavlov, premio Nobel de medicina, al ser un referente obligado del estudio del comportamiento. Él encontró que comportamientos como la salivación podían condicionarse a estímulos. La dupla estímulo-respuesta era esencial para Pavlov, era la que explicaba comportamientos simples de animales, e incluso, llegó a especular, comportamientos humanos complejos. Esta idea fue el punto de partida del comportamentalismo, en donde los estímulos externos y su conexión con el comportamiento resultante son el centro de análisis. Su simplicidad fue atrayente, pero al mismo tiempo su debilidad. El argumento fuerte del comportamentalismo pavloviano es que comportamientos humanos complejos se pueden explicar por la dupla estímulo-respuesta. Puede que el estímulo sea complejo e intricado, pero con juicio un experimentador debe poder construir estímulos apropiados para que aparezca el comportamiento deseado. Pero no fue difícil refutarlo.

Se suele citar a Noam Chomsky como uno de los apaleadores de esta idea. Sin entrar en detalle, Chomsky planteó que hay algo único en nuestra capacidad de lenguaje, en generar significados (semántica) y ordenar palabras de forma apropiada (sintaxis), y este argumento fue el que derrumbó el comportamentalismo fuerte pavloviano: el lenguaje no es resultado de alguna dupla estímulo-respuesta; nuestra biología, el cerebro especialmente, está configurado de manera única para generarlo. En este punto hay que ir con cuidado, pues Chomsky nunca afirmó que ante la ausencia de *input* cultural, por ejemplo un niño salvaje sin contacto con la civilización, se generaría espontáneamente palabras, significados y reglas sintácticas. El argumento es más sutil, sólo afirma que el cerebro humano está dotado para el lenguaje, algo único que no se podría ver en otra especie (para explicaciones más detalladas sobre Chomsky ver Ingram, 2007). Por ejemplo, Chomsky defendió que por más entrenamiento que le den a un chimpancé, incluso igualando las condiciones de educación que se le da a un niño occidental, el chimpancé nunca hablaría como el infante, simplemente porque no tiene la estructura biológica necesaria. Esto fue, en efecto, puesto a prueba en los 70' con el proyecto Nim Chimpsky, cuyo objetivo en criar un primate en un ambiente humano. Aun cuando aprendió a comunicarse, no estuvo cerca del nivel de elaboración del lenguaje humano (Hess, 2008).

El argumento de Chomsky se extendió con facilidad a otras disciplinas, y en el área de toma de decisiones la pregunta se convirtió en la siguiente: ¿qué tiene de especial el cerebro que explica nuestro comportamiento? El foco dejó de ser el de los estímulos externos, como cultura, educación, y pasó a ser el de tratar de descubrir universales biológicos compartidos por la raza humana (e.g. Chomsky habla de gramática universal). Sin embargo, no significó que la investigación en ciencias neurocognitivas, incluyendo la neuroeconomía, dejara de preocuparse por condiciones externas culturales (Takahashi, Hadzibeganovic, Cannas, Maki-no, Fukui, y Kitayama, 2009) o dio la espalda a realizar estudios en otras especies (Platt y Glimcher, 1999), pero en lo que respecta a lo fundamental, como el lenguaje o procesamiento de valor, nuestro cerebro sí tenía especificidades que debían estudiarse; obviarlas y centrarse únicamente en aspectos externos como la cultura, sería contar la mitad, incluso menos, de la historia (Pinker, 2002).

Ahora tuvo que pasar un tiempo para alcanzar el refinamiento técnico necesario para empezar a dilucidar lo que nuestro cerebro hace en la variedad de comportamientos existentes, y esto incluye los económicos. Tal vez son los estudios electrofisiológicos los primeros que empiezan a explorar cómo nuestro cerebro procesa información. Por ejemplo, Huebel y Wiesel, ganadores del premio Nobel de Medicina por sus estudios en la corteza occipital, fueron pioneros en tratar de dilucidar procesos complejos, como la visión. Ellos encontraron que muchas neuronas de esta área del cerebro procesan estímulos muy simples: e.g. líneas de distintas inclinaciones; y son bien específicas: si una neurona es sensible a una línea de 45 grados, no es sensible a una de 55 grados. Así, es la sumatoria de la actividad de estas neuronas la que explica nuestra percepción (e.g. la percepción que tenemos de una pirámide es tan solo una cantidad amplia de estas neuronas activándose, cada una reportando diferentes inclinaciones, donde la sumatoria es la pirámide percibida).

Hoy en día, los estudios electrofisiológicos utilizan estímulos bien elaborados (e.g. ver Yang y Shadlen, 2007) y muchos estudios neuroeconómicos los usan, sin embargo, lo que ha despertado con más fuerza el imaginario científico, y público en general, es la aparición de las resonancias magnéticas funcionales (fMRI, por sus siglas en inglés). Esta técnica genera imágenes de alta resolución espacial del cerebro, es casi como poder observarlo directamente pero sin tener que invadir y operar. A su vez, es capaz de recoger el nivel de oxigenación de áreas, lo que se convirtió en una proxy de la actividad cerebral cuando se hace una tarea. Es decir, el fMRI reproduce nuestro cerebro con precisión y, además, muestra áreas que se “iluminan” cuando se habla, observa, escucha, decide, etc.

Total, es gracias a economistas y psicólogos interesados en procesos internos en la toma de decisiones, sumado a avances conceptuales y técnicos en neurociencia cognitiva, que se permite entender y definir qué es la neuroeconomía. Al ser una palabra compuesta (neuro y economía) aparece, necesariamente, la noción de comunicación. La neuroeconomía es el uso de la neurociencia para estudiar decisiones económicas y poner a prueba modelos subyacentes (e.g. Hsu, Krajbich, Zhao, y Camerer, 2009), pero a la vez es el uso de modelos económicos para explicar respuestas neuronales y comportamentales (e.g. Shizgal y Conover, 1996). Debería ser claro que esta subdisciplina pudo aparecer gracias a avances en economía experimental y comportamental, sustentada en avances hechos en neurociencias cognitivas. Es más, en neuroeconomía la colaboración es constante entre estas dos ramas, donde resultados en una se usan para teorizar sobre los resultados de la otra. La relación de contención tal vez se puede postular como neuroeconomía encapsulada en neurociencias cognitivas, alimentándose, además, de todos los avances que aparezcan en economía. Es una rama interdisciplinaria, en el sentido amplio de la palabra.

En los párrafos siguientes, se hará una reseña de la neuroeconomía dividida en tres temas. Los dos primeros se siguen teniendo en cuenta el marco de valor esperado, es decir, una sección será de valor y otra de probabilidad. La tercera sección tratará un tema de economía experimental: el juego de confianza. Se escogió por ser uno donde hay inversionistas y administradores. El objetivo es hacer un recorrido por los más recientes avances y dejar en el lector un panorama general de las regiones del cerebro que se han encontrado y procesan recompensas, probabilidad y variables sociales, como confianza. En tal sentido, es una reseña localista, pero con la idea final de que aún falta mucho por entender y encontrar, y cualquier reducción absoluta de “un área, una función” no es suficiente, pues todas ellas interactúan.

## 1. Procesamiento de valor

En principio, identificar un área del cerebro que procese valor implica, por lo menos, dos cosas: 1) su actividad no se explica por otros aspectos, distintos que los motores, perceptuales o cognitivos. Esto es importante y un ejemplo puede clarificar. Imagine un sujeto que se enfrenta entre escoger un dulce amarillo u otro rojo. Luego de grabar la actividad cerebral, por ejemplo en la corteza occipital, se encuentra que el dulce amarillo generó más actividad que el rojo, y además que el sujeto escogió el amarillo. En este contexto, podría concluirse que la corteza occipital procesó el valor de las opciones puesto que se activó más en el dulce

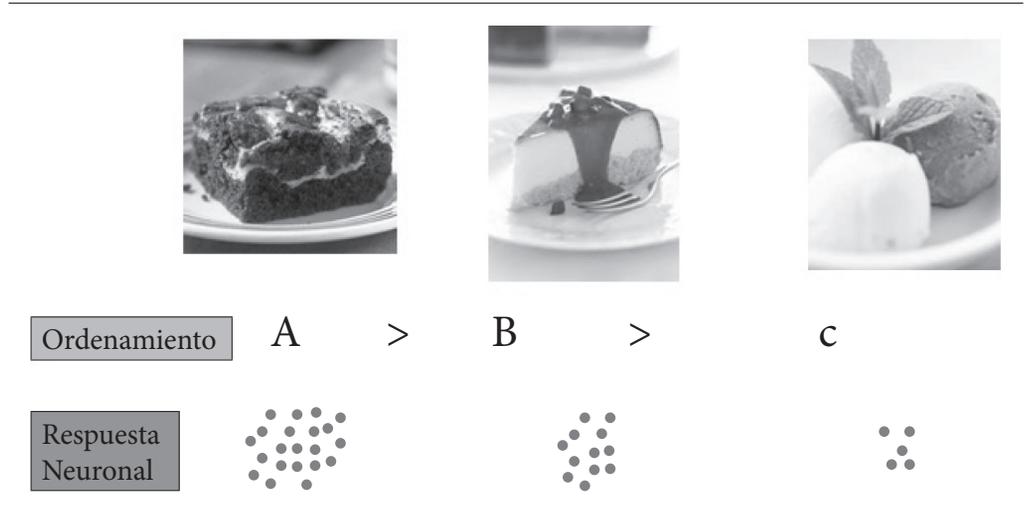
amarillo y además se escogió este dulce. El problema es que se sabe que la corteza occipital se especializa en dimensiones visuales, así que la mayor actividad en amarillo puede estar reflejando simplemente la forma como esta corteza procesa los colores, activándose más en la franja amarilla que en la roja, y la decisión sobre el dulce amarillo simplemente pudo ser una coincidencia.

Por otro lado, 2) el área debe modularse por el valor de la opción o, en términos de algunos investigadores, generar una moneda neuronal común que permita comparar opciones con características sensoriales diferentes (Montague y Berns, 2002). Por ejemplo, si un sujeto se enfrenta a dos opciones, un dulce amarillo y un perro caliente, y se asume que el perro caliente es más valioso para él, entonces el área del cerebro que procese valor debe reportar una señal diferente para el perro y el dulce. Puede ser que se active más para el perro que para el dulce, y dicha actividad superior refleja la mayor valoración del perro que del dulce (otro ejemplo en Figura 1). Este requisito es central si se quiere aceptar que el procesamiento de valor tiene localizaciones específicas en el cerebro. Puede haber varias zonas, pero en definitiva deberían compartir algún tipo de modulación por valor, y solo por valor, no por color, cognición, tamaño, u otra variable distinta. Tampoco es necesario que al final la señal se correlacione con la decisión, pues en muchas propuestas neuroeconómicas el proceso de valoración es diferente al de decisión (Wallis, 2007; Glimcher, 2009; Rangel, Camerer, y Montague, 2008; Harris, Adolphs, Camerer, y Rangel, 2011). El requisito fuerte es tan solo que refleje el valor de las opciones, no que se relacione a la decisión.

En este punto del texto es preciso aclarar qué se entenderá por valor es una condición, presente en objetos y actividades, que produce resultados o emociones positivas (también se puede considerar para objetos o actividades adversas, con resultados o emociones negativas, el cual podría definirse como valor negativo o adverso). Adicionalmente, el valor, como condición no depende del todo de las características físicas del objeto o actividad; se puede inferir con mayor proximidad del comportamiento, cultura y, más importante para el presente texto, respuestas biológicas.

Como tal, el valor no es unitario y se han propuesto tres diferentes tipos: a) valor objetivo, b) valor pavloviano y c) valor de hábito (Balleine, Daw, y O'Doherty, 2009). Todos se compadecen de la definición general, pero con sutiles e importantes diferencias. El valor objetivo es el que usualmente se refiere como valor. Cuando la gente dice prefiero objeto A sobre objeto B, quiere decir que le asignó un valor objetivo mayor a A que a B. Con mayor precisión, es el valor que el objeto como tal da. El valor pavloviano es el valor que se le da a estímulos que predicen re-

Figura 1: Ejemplo esquemático de uno de los requisitos que se deben cumplir si un área del cerebro en efecto procesa el valor de las opciones.

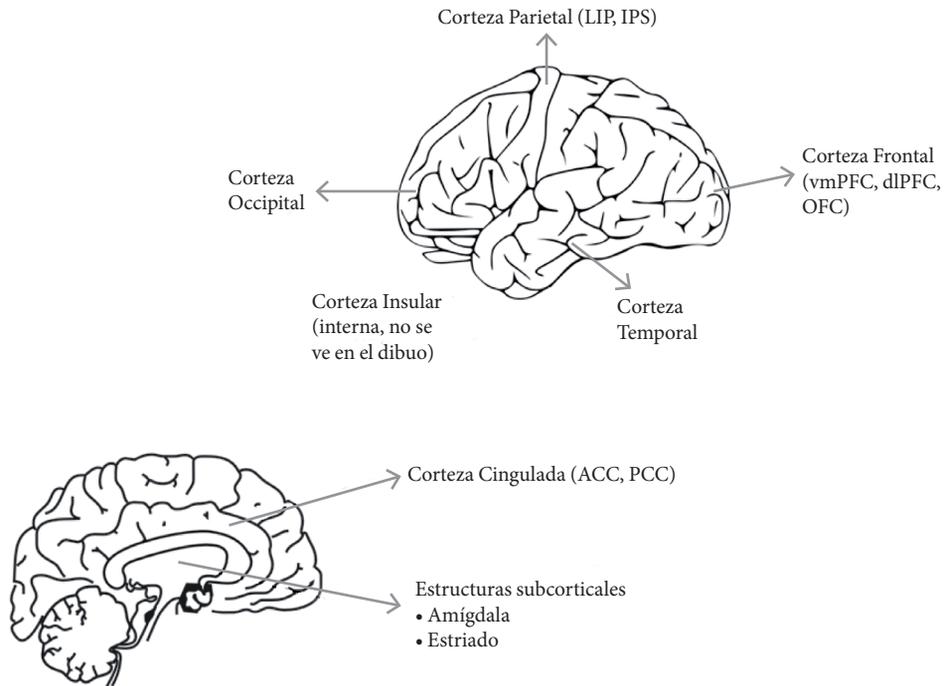


compensas, como el logo de una empresa o una nueva ley que regule el mercado bursátil. Finalmente, el valor de hábito es aquel que no tiene relación con ningún reforzador, pero igual genera una decisión/acción. No sobra decir que cada uno determina acciones diferentes. El valor objetivo determina acciones dirigidas a objetivos (*goal-directed behavior*), el valor pavloviano determina acciones pavlovianas o condicionadas, y el valor de hábito determinará acciones que se hacen por hábito, sin ninguna recompensa evidente.

Ahora, en los últimos años se han identificado áreas esenciales que pueden cumplir los dos requisitos mencionados en los párrafos iniciales de esta sección. Las más relevantes siendo la corteza orbitofrontal (OFC, por sus siglas en inglés) y la corteza prefrontal ventromedial (vm PFC, por sus siglas en inglés) (Figura 2). Estas son fuertes candidatas de llevar la señal de valor, que es usada por el organismo para guiar sus decisiones. A continuación se mostraran algunas investigaciones relevantes.

El primer estudio que se reportara fue realizado por Plassmann, O'Doherty, Shiv, y Rangel (2008). El contexto del estudio fue el siguiente: en la amplia gama de productos que tiene una persona a disposición, algunos son susceptibles de generar distintos valores experimentados con simples manipulaciones de marketing. Por ejemplo, si se deja a un lado la calidad, es posible que una persona reporte una preferencia a un producto si sabe la marca y otra si es ciego a ella; e incluso generar

Figura 2: Áreas del cerebro nombradas en el trabajo



respuestas neuronales diferentes (e.g. McClure, Li, Tomlin, Cypert, Montague, y Montague, 2004). Ahora, una manipulación usual de marketing es el precio, y un producto que es particularmente susceptible es el vino. De nuevo, si se dejan de lado consideraciones de calidad y se asume poca experticia en el reconocimiento de vinos, el precio puede modular lo que una persona reporte en gusto y preferencia hacia este producto. La pregunta es si también modula el valor experimentado, una vez se consume. Bueno, los resultados de Plassmann et ál. (2008) fueron claros en decir que sí. Los sujetos en su experimento probaban vinos idénticos, pero se les engañaba al decirles que un vino tenía un precio elevado y el otro un precio más bajo, aun cuando en realidad eran el mismo. Lo sorprendente no fue encontrar que en efecto un precio más alto hacía que reportaran calificaciones de gusto más altas, al mismo vino, sino que la respuesta neuronal en la vmPFC se compadecía de este reporte. En otras palabras, la señal en la vmPFC, que en muchos estudios se ha encontrado, se modula positivamente por el valor de los objetos, era más alta para el vino de mayor precio, a un cuando era el mismo vino. Esto quiere decir que en efecto el valor experimentado se moduló por el precio.

Una pregunta que surge de este estudio, y otros similares que encuentran que la VMPFC procesa la moneda neuronal común, es si el valor experimentado se relaciona, de alguna forma, con la decisión. En términos del cerebro, la pregunta es si la señal generada en la VMPFC, una de las candidatas fuertes a procesar la señal de valor, de alguna forma predice la decisión. En un estudio reciente, Smith, Hayden, Truong, Song, Platt Y Huettel (2010) pusieron a sujetos hombres heterosexuales a ver imágenes de billetes y caras de mujeres con distintos grados de atractividad (determinados por una encuesta previa a otro pool de hombres). No tenían que hacer nada mientras les escaneaban el cerebro, tan solo observar, y en el caso de los billetes ver si se ponían rojos o verdes, en cuyo caso perdían o ganaban, respectivamente, la cantidad que aparecía. La idea básica de esta primera etapa era ver la intensidad de activación de la VMPFC cuando tan solo se percibían recompensas monetarias o sociales, sin ninguna decisión de por medio. En concordancia con estudios anteriores, la VMPFC se moduló positivamente por el valor. Por ejemplo, ganar \$1 activaba menos la VMPFC que ganar \$5. Igualmente, con el estímulo social. Mujeres con caras muy atractivas activaban más la VMPFC que mujeres menos atractivas. Esto simplemente mostró que la VMPFC es neutra a la modalidad del estímulo, solo procesa valor.

La parte interesante fue la segunda etapa. En esta, ahora los sujetos si querían ver la cara de la mujer tenían que pagar un importe de su presupuesto personal. Encontraron que la intensidad de la actividad en la VMPFC (su parte posterior para ser exactos), en la primera etapa del experimento, predecía si un sujeto pagaba o no. Por ejemplo, si en la primera etapa un sujeto mostraba poca actividad en la VMPFC por el estímulo social (i.e. las caras) era poco probable que pagara por ver.

Aun cuando el experimento se basó en hombres y el estímulo social puede ser cuestionable, es una evidencia experimental que la actividad en la VMPFC predice preferencias reveladas. De hecho, otro estudio por Harvey, Kirk, Denfield, y Montague (2010), encontró resultados similares, pero con preferencia revelada por obras de arte. De nuevo, en este estudio, la preferencia por un estímulo social (obras de arte) moduló positivamente la VMPFC, donde obras calificadas positivamente generaban mayor actividad que obras calificadas con una menor nota. El estudio fue incluso más sutil, pues la presencia de logos patrocinantes afectaba la preferencia revelada por una u otra obra de arte, lo que a su vez se reflejaba en la respuesta en la VMPFC.

La cuestión es si es cierto que la VMPFC carga la moneda neuronal común, usada en toda decisión para comparar opciones. Es una afirmación fuerte, que antes de aceptarse debe pasar por muchos filtros aún, y muchos estudios no controlan por

todas las variables que deberían. El procesamiento cognitivo, por ejemplo, de los estímulos se deja de lado. Uno de los pocos que ha controlado este aspecto fue hecho por Camus y otros (2009). Ellos encontraron que interrumpir, con estimulación magnética, la actividad de la corteza dorsolateral prefrontal (DLPFC, por sus siglas en inglés) disminuía la valoración que se hacía de objetos comestibles. Por ejemplo (ilustrativo, no del estudio), si alguien decía que de una a diez papas fritas le gustaban ocho, luego de la estimulación magnética en la DLPFC la calificación cambiaba a 6. Estudios anteriores han encontrado que la DLPFC modula la señal de valor generada en la VMPFC (Hare, Camerer Y Rangel, 2009), así que este resultado va acorde en la capacidad que tiene la DLPFC de alterar la señal generada en la VMPFC. Es como si la VMPFC reportará el valor de las opciones, pero este valor puede ser “incrementado” o “disminuido” por la regulación que ejerza la DIPFC sobre ella.

Pero volviendo al control cognitivo, el estudio fue interesante porque a otro grupo de sujetos no los pusieron a calificar el valor de los objetos comestibles, sino lo que ellos pensaban, que era la cantidad de calorías que tenía el alimento. Es la misma tarea: utilizar una escala numérica para juzgar un objeto, pero en una era valor y en otra eran calorías. La calificación de calorías no se vio alterada por la interrupción magnética a la DIPFC. Es decir, solo alteró la valoración, no los juicios numéricos como tal.

En suma, en toma de decisiones el procesamiento de valor, por razones evidentes, determina los cursos de acción que se toman. Para que un área sea candidata a ser la responsable de la moneda neuronal común del sistema, debe cumplir unos requisitos. Hallazgos recientes apuntan hacía la VMPFC. No se tocaron otras áreas importantes, como el Nucleus Accumbens, la OFC, por límites de espacio, pero la VMPFC es una fuerte candidata, y su interacción con otras regiones, como la DLPFC, hacen que no sea tan elemental reconocer cómo un organismo evalúa opciones.

## **2. Procesamiento de probabilidades**

Así como en valor se propusieron unas condiciones básicas para que un área procese valor, lo mismo se puede hacer con probabilidades, pero ahora no es tan directo como en la Figura 1. La razón por la cual es más elaborado, es por el tipo de decisiones que se pueden presentar cuando hay ausencia de total certeza. En economía suele diferenciarse entre riesgo e incertidumbre. En la primera hay un conocimiento de las distribuciones de probabilidad del comportamiento que puede tomar el evento. En un dado justo, por ejemplo, aún cuando no hay certeza del resultado que se dé al lanzar el dado, solo se sabe que la distribución es uniforme.

Cualquier de los números tiene 1/6 de probabilidades de caer. El dado es riesgoso, en el sentido que no hay certeza del comportamiento, pero se conocen las probabilidades y potenciales resultados. Ahora, en incertidumbre se desconoce la distribución, los resultados o ambos. El mercado de valores suele ser un ejemplo apropiado para la incertidumbre.

Aun con esta salvedad, se puede construir una imagen de cómo sería la respuesta neuronal de áreas que codifiquen decisiones que involucren falta de certeza. En la Figura 3, se ven posibilidades. Por un lado, el área puede modularse positivamente (Figura 3A) o negativamente, por el nivel de riesgo o incertidumbre. Por ejemplo, se ha encontrado que la corteza prefrontal (PFC, por sus siglas en inglés) se modula negativamente en personas adversas al riesgo<sup>1</sup>. Esto es, a mayor riesgo menor actividad en la PFC. Lo opuesto ocurre en personas propensas al riesgo<sup>2</sup>, donde a mayor riesgo, mayor actividad en esta área del cerebro (Tobler, O'Doherty, Dolan y Schultz, 2006). La PFC es un área ejecutiva, involucrada en dinámicas de auto-control, seguimiento de reglas, integración de información y mantenimiento de objetivos (Miller y Cohen, 2001). La modulación positiva de la PFC puede implicar que cuando aumenta el riesgo, la información (i.e. valor y varianza) se integra mejor en propensos al riesgo, o también que aumenta el auto-control de la respuesta de la amígdala, estructura relacionada al miedo (e.g. Feinstein, Adolphs Damasio, y Tranel, 2011), que se regula por la PFC (Hariri, Mattay, Tessitore, Fera y Weinberger, 2003). Pero no es del todo claro, lo central es que la modulación negativa en el estudio de Tobler et ál (2006) de la PFC, sigue un patrón lineal, similar a la figura 3A.

En la Figura 3 también se ve una respuesta neuronal en forma de U invertida. Esto quiere decir que la señal sería máxima ante incertidumbre máxima. En este caso, probabilidades de 0.5 se asumen como inciertas, pues cualquier evento binario puede ocurrir. Las demás probabilidades generan actividades intermedias. El patrón cuadrático invertido se encontró, por ejemplo, en Preuschoff, Bossaerts, y Quartz (2006) y en Fiorillo, Tobler, y Schultz (2003).

Lo importante de la figura 3, es ver dos esquemas potenciales de actividad que puede generar el cerebro. Una posibilidad hipotética es si el riesgo se codifica monotónicamente mientras la incertidumbre no. Desborda el objetivo de esta reseña,

---

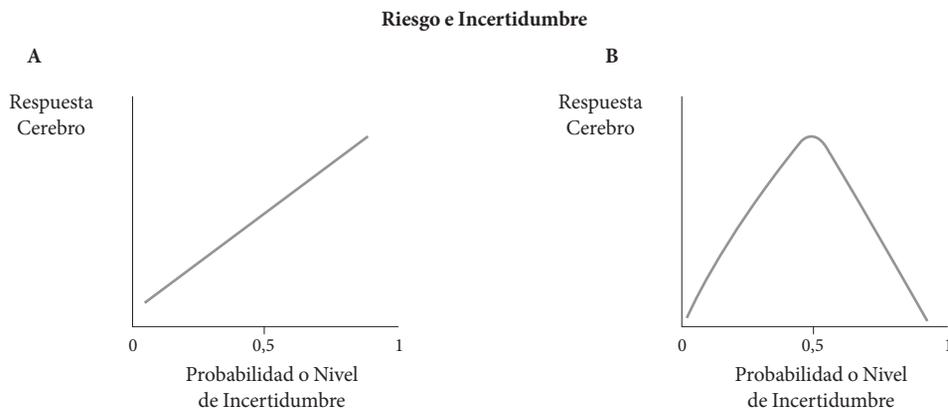
<sup>1</sup> Aversión al riesgo: una persona que ve que una unidad monetaria segura es valorada más que la misma unidad monetaria conseguida en una actividad riesgosa.

<sup>2</sup> Propensión al riesgo: una persona que ve que una unidad monetaria segura es valorada menos que la misma unidad monetaria conseguida en una actividad riesgosa

pero sería interesante discutir como una diferencia en el procesamiento de riesgo e incertidumbre podría explicar porque la mayoría de personas suelen ser siempre adversos a la incertidumbre, mientras que ante el riesgo es posible encontrar diferentes perfiles (i.e. adversos y propensos).

Ahora, si el análisis se restringe al riesgo, un marco útil es la teoría de prospectos de Kahneman y Tversky (1979). De importancia para el presente texto, es la idea de una función ponderadora de probabilidades. Las probabilidades no son evaluadas transparentemente (uno a uno) por las personas. De hecho, hay una tendencia a sobreponderar probabilidades bajas, y subponderar probabilidades intermedias-altas. Esto explica por qué la gente compra loterías como el baloto: se sobreponderan probabilidades pequeñas, es decir, se “perciben” como más altas, y el resultado es comprar un billete con un precio mayor al que dictaría la verdadera probabilidad de ganarlo.

Figura 3: Ejemplo esquemático de posibilidades lineales y cuadráticas de cómo se podría ver la señal del cerebro ante probabilidades e incertidumbre



En A) la respuesta es similar a la de valor de la Figura 1. El área se modula positivamente ante probabilidades más altas. La modulación no tiene que ser positiva como se ve en A, también podría tener una relación negativa, como la observada en la corteza prefrontal (PFC, por sus siglas en inglés) en el estudio de Tobler, et al. (2006). En B) se observa que la señal del cerebro es nula cuando hay certeza absoluta i.e. probabilidades 0 y 1. A medida que aumenta la incertidumbre cambia la señal, siendo la máxima cuando hay probabilidad idéntica de 0.5. Este tipo de señal se encontró, por ejemplo, en el estriado ventral (VSTR) en Preuschoff, et al. (2006).

Si se acepta que las probabilidades no son evaluadas transparentemente, entonces se puede decir que hay “dimensiones neuronales del riesgo”. El riesgo se percibe, se procesa y se evalúa. La expresión da cuenta de la variedad de áreas que

se activan cuando sujetos hacen pruebas que involucren riesgo y probabilidades. En la Figura 4 se muestra un esquema básico.

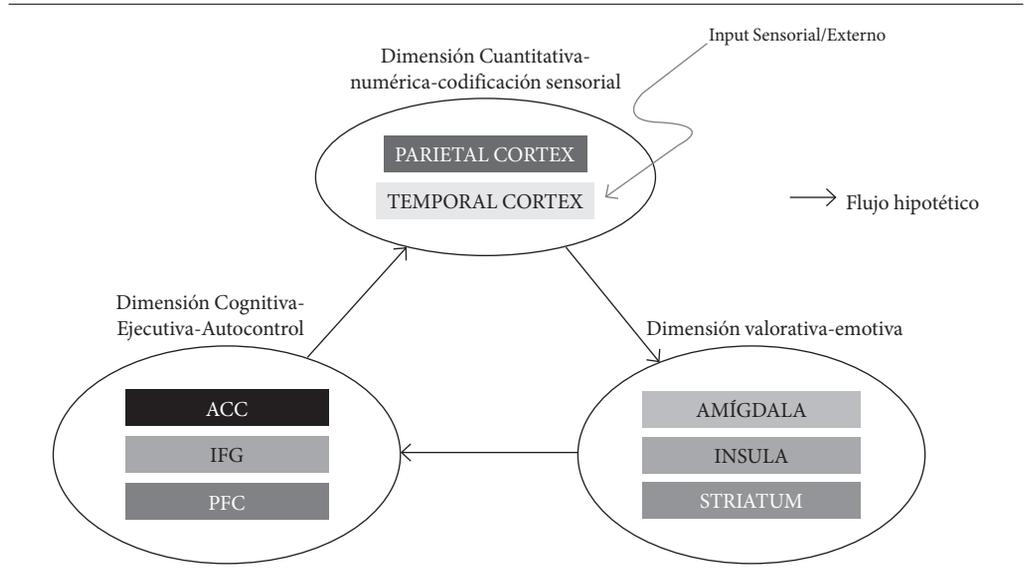
## 2.1 Dimensión cuantitativa-numérica-sensorial

Para empezar a explicar la noción de dimensiones neuronales del riesgo, se partirá del hecho de que en decisiones que involucren probabilidades siempre hay un *input* sensorial externo que da pistas, o incluso determina, las probabilidades involucradas. Para mantener simple el discurso, se asumirá que dicho *input* siempre viene en una representación simbólica, sea en forma de gráficos o números arábigos. Por ejemplo, a un sujeto se le puede decir que hay una probabilidad de cero punto ochenta y tres, con el símbolo 0.83, que un candidato gane una elección, o que un tumor detectado sea cancerígeno. La persona debe procesar perceptualmente este número para reconocer cada uno de los símbolos, y luego asignarles un significado. A este proceso se le ha denominado en la Figura 4 como dimensión cuantitativa-numérica-sensorial, y se le han asignado tentativamente zonas temporales y parietales.

La primera zona, temporal, está relacionada con memoria, aprendizaje y lenguaje. Es, la que confirma al organismo lo que está percibiendo (i.e. el qué). Estas áreas se activan en pruebas que involucran probabilidades, pues los números se deben interpretar y recoger su significado. Un estudio al respecto encontró que áreas temporales en efecto se modulaban por el *ratio* entre las probabilidades condicionales de que un estímulo u otro dé recompensa (Philistiades, Biele y Heekeren, 2010). En palabras simple dichas áreas se modularon, positivamente, si uno de los estímulos, en relación con el otro, indicaba con alta probabilidad que venía una recompensa. El estudio indicó que los estímulos externos que se reciben se van clasificando de acuerdo con su peso probabilístico. Esta información, según los autores, luego se integró en áreas frontales, como la PFC, mencionada en párrafos anteriores.

Otra área importante en la dimensión cuantitativa-numérica-sensorial, es la corteza parietal. Esta área se encarga de procesar cantidades, cualquiera que sea relevante para el comportamiento, como tiempo, tamaño, brillo, numerosidades (Cantlon, Platt y Brannon, 2008). Más aún, es una región en la que se ha encontrado modulación en decisiones que involucran probabilidades. Un estudio electrofisiológico en primates, revelador al respecto, fue conducido por Yang y Shadlen (2007). Las neuronas que ellos grabaron se encontraban en una región específica de la corteza parietal llamada área lateral intraparietal (LIP, por sus siglas en inglés). Estas neuronas se comportaron de manera similar al estudio de áreas tem-

Figura 4: Dimensiones neuronales del riesgo



porales, mencionado en el párrafo anterior: su actividad aumentaba a medida que la información recibida favorecía alguna de las opciones sobre su probabilidad de dar recompensa. En el estudio solo había dos opciones que el primate podía escoger. Con esto se construyó un *ratio* de verosimilitudes definido como la división entre la probabilidad de la información recibida, pues la opción 1 tenía la recompensa por la probabilidad de la información recibida dado que la opción 2 tenía la recompensa. Si el *ratio* aumentaba a favor de, por ejemplo, la opción 1, la actividad neuronal también, y esto se veía reflejado en la decisión final. Lo que es interesante es que el LIP forma parte del surco intraparietal (IPS, por sus siglas en inglés), estructura del cerebro que se piensa es la encargada del procesamiento numérico (Nieder y Dehaene, 2009).

Por lo tanto, la primera dimensión, la cuantitativa, se refiere al hecho de que en decisiones de probabilidad se necesita procesar los números, o representación simbólica, involucrada. Suena evidente, pero la implicación es que depende de cómo percibamos el *input* lo que determina cómo se manipula la probabilidad. Desborda el esfuerzo de este texto, pero el siguiente paralelo es llamativo: en teoría de prospectos se sobreponderan probabilidades bajas y subponderan probabilidades intermedias-altas; en cognición numérica se ha encontrado que cuando se le pide a las personas ubicar números grandes en líneas con extremos, sobreestiman números pequeños y subestiman números grandes. El paralelo sugiere que según

la forma como nuestro cerebro procese los símbolos-números, indicativos de las probabilidades, se afectará el comportamiento de riesgo.

## 2.2 Dimensión valorativa-emotiva

La siguiente dimensión, la valorativa-emotiva, según el esquema propuesto en la Figura 4, es el que sigue al procesamiento que se da en la dimensión numérica y codificación sensorial. En la primera dimensión, tan solo se procesa el símbolo, que por simpleza se ha reducido a un número. Sin embargo, lo interesante de las probabilidades es que ante los mismos números se pueden obtener diferentes comportamientos. Esta es la idea básica detrás de construir perfiles de riesgo: cuando se asume que el número ya se ha procesado, y que la mayoría de personas, por lo menos aquellas con educación formal, entienden el significado detrás de 0.83 como probabilidad (el ejemplo usado en párrafos anteriores), ese número no genera el mismo comportamiento en todas las personas. Por ejemplo, dicho número podría indicar la probabilidad de generar taponamiento de arterias por fumar. Si se deja de lado consideraciones como la adicción, algunos optan por fumar otros no. La misma probabilidad genera comportamientos diferentes. El ejemplo habría que desarrollarlo más, pero sirve su propósito de dibujar la existencia de diferentes perfiles ante mismas probabilidades.

Pues bien, hay personas adversas al riesgo, otras propensas, lo interesante es que detrás de cada uno hay un procesamiento biológico. Una diferencia puede estar en la dimensión valorativa-emocional. Propiamente definida, se refiere a que las probabilidades generan actividad en circuitos cerebrales involucrados en recompensa y emociones. En la Figura 4 se proponen la amígdala, ínsula y estriado. Las dos primeras se relacionan con procesamiento de emociones, como el miedo (Feinstein, et ál., 2011) o empatía (Harbaugh, Mayr y Burghart, 2007). La tercera, el estriado, forma parte esencial del circuito de valor (Sugrue, Corrado y Newsome, 2005; Kable y Glimcher, 2010).

Para poner más de manifiesto que las decisiones de riesgo sí involucran emotividad, se ha encontrado que cuando las personas se enfrentan a este tipo de decisiones producen respuestas galvánicas (e.g. sudoración), evidencia directa que hay reacciones en el sistema nervioso (Sokol-Hessner, Hsu, Curley, Delgado, Camerer y Phelps, 2009). Lo que significa es que decisiones que no tienen resultados ciertos no se evalúan transparentemente, lo que va acorde con lo planteado en teoría de prospectos. Aun si todos los seres humanos funcionaran en la dimensión uno (numérica-sensorial) de forma idéntica, habría diferencias en comportamientos por

la existencia de actividades en circuitos emocionales-valorativos en decisiones de riesgo (e.g. Preuschoff, Quartz, & Bossaerts, 2008). A continuación se reportarán, brevemente, dos estudios de decisiones financieras (i.e. que involucran pagos y probabilidades) en los que se ejemplifica la dimensión dos.

Bajo ciertas condiciones, *traders* sin información puede inferir el precio que se daría bajo marcos de expectativas racionales y mercados eficientes (Plott y Sunder, 1988). En palabras simples, aun cuando no tengan información completa, se comportan como si la tuvieran. Esto es lo que se denominará intuición de *trading*, siguiendo la denominación usada en el estudio hecho por Brugier, Quartz y Bossaerts (2010). En este estudio, los autores querían evaluar la actividad del cerebro cuando personas veían (y predecían) la actividad bursátil de un mercado construido con datos de una plataforma financiera de Caltech (Instituto Tecnológico de California). Encontraron tres cosas interesantes: 1) los sujetos en el mercado se comportaron bajo la hipótesis de expectativas racionales; 2) los circuitos numéricos y de inferencia lógica del cerebro (e.g. IPS, PFC) no se activaron con fuerza cuando se veía el mercado. Es más, resultados en pruebas matemáticas de los sujetos no se correlacionaron con la precisión para predecir la dirección del mercado; 3) Tal vez más interesante, para la dimensión emotiva-valorativa, fue que los circuitos que si se activaron con fuerza fueron los relacionados con teoría de la mente (TOM, por sus siglas en inglés) y emociones. En particular, se activó la corteza paracingulada (PCC, por sus siglas en inglés), la ínsula y la amígdala. Una interpretación rápida de estos resultados implica que no se requieren cómputos para inferir la dirección del mercado, la mayoría son intuiciones y emociones. Puede ser, pero hay que ir con cautela porque aun cuando circuitos numéricos y lógicos no se activaron con fuerza, si lo hicieron, únicamente con menos fuerza en relación con la condición base (no hay que olvidar que el cerebro en estos estudios está siempre activo, los reportes que se hacen en los *papers* de investigación con FMRI es en relación con una actividad base e.g. cuando no se hace nada).

El otro estudio que pone de manifiesto que en decisiones de riesgo se activan circuitos emocionales y valorativos fue hecho por Samanez-Larkin, Kuhnen, Yoo y Knutson (2010). El objetivo del estudio era ver si decisiones financieras se tomaban de manera diferente en el rango de adultez (19-85 años) y a la vez evaluar la actividad cerebral. Los resultados comportamentales mostraron que el problema de los adultos mayores no era tanto la aversión al riesgo, como se pensaría, sino cometer errores cuando se tomaban decisiones riesgosas. En el estudio, los sujetos podían invertir en acciones con un riesgo o en un bono con dividendos seguros. En ese mercado, era posible cometer el siguiente error: escoger acciones cuando

de hecho era mejor escoger el bono, dada la información recogida. Eso es lo que solían hacer con mayor frecuencia los adultos mayores. Pero más relevante es la actividad cerebral. Se encontró que el Nucleus Accumbens (NACC), estructura que procesa valor, tenía una actividad irregular en los adultos mayores cuando tomaban decisiones. De hecho, en adultos más jóvenes la señal del NACC era estable, en cambio en adultos mayores fluctuaba más. Esto indica que las representaciones de valor que tienen los adultos mayores puede que no sean tan estables, lo que afecta la toma de decisiones y provoca el error descrito. El estudio no controlaba por experiencia, por ejemplo como *trader*, así que cualquier conclusión sobre la edad y toma de decisiones es apresurada, sin embargo, si es otro ejemplo de activación de circuitos emocionales-valorativos en decisiones que involucran riesgo.

### 2.3 Dimensión cognitiva

Finalmente, la última dimensión es la cognitiva-ejecutiva-autocontrol. En las dos anteriores se dijo que primero se procesaba, a un nivel elemental, el estímulo, donde se ponía de relieve que la representación simbólica, indicativa de las probabilidades (e.g. el número o la gráfica), debía ser percibida y entendida a un nivel semántico. Segundo, una vez sucede lo anterior, la dimensión siguiente era emotiva-valorativa, de hecho, ante las mismas probabilidades, diferentes personas se comportan diferente, y una posibilidad es las diferencias emocionales que surgen entre ellas, lo que hasta cierto punto explica actitudes hacia el riesgo. Para terminar la cadena de eventos del esquema de la Figura 4, ahora se profundizará en la última dimensión neuronal del riesgo, y se retomará desde la noción de actitudes al riesgo.

La idea que hay actitudes al riesgo (i.e. ser adverso o propenso) puede generar la siguiente hipótesis: el procesamiento en cualquiera de las tres dimensiones (o en varias de ellas) es diferente entre propensos y adversos al riesgo. De interés, es probable que haya diferencia en procesos ejecutivos y de autocontrol. En decisiones que involucran probabilidades existe un efecto llamada de encuadramiento (Tversky y Kahneman, 1981). Básicamente, las personas muestran inconsistencia, pues ante las mismas opciones toman un camino diferente en razón de cómo se “encuadre” o muestre la opción. Usualmente, cuando se pone a prueba el efecto de encuadramiento (*framing effect*), el sujeto recibe una asignación fija y luego escoge entre una opción segura u otra riesgosa. Por ejemplo, se le dice que recibe \$500 dólares, y que puede escoger entre quedarse con \$200 de los \$500 o jugar una lotería en donde con 75% de probabilidades pierde todo y 25% gana todo. El ejemplo también puede enmarcarse como pérdida, tan solo es cambiar la redacción

y decirle al sujeto que va a perder \$300 de los \$500. Los hallazgos indican que una gran proporción, cuando se enmarca la opción segura como ganancia (i.e. quedarse con los \$200) suele irse por lo seguro, pero cuando se enmarca como pérdida (i.e. perder \$300) suele irse por lo riesgoso. Así, la tendencia es que la gente sea adversa al riesgo en ganancia y propensas al riesgo en pérdidas, aun si es la misma decisión, tan solo mostrada de manera distinta.

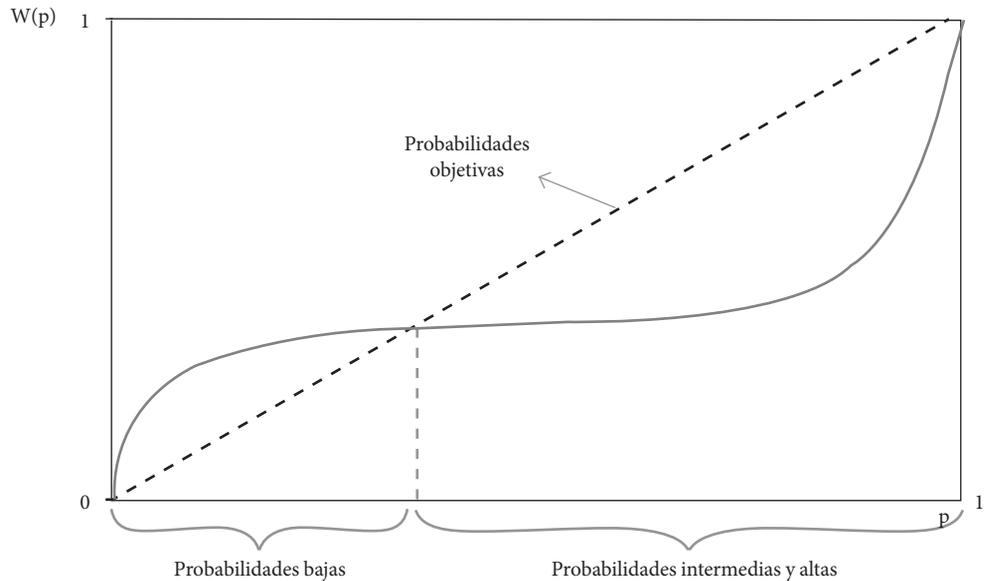
Esto es una inconsistencia de comportamiento, pero no todos son tan susceptibles a efectos de encuadramiento. Es decir, hay sujetos que tienden a ser siempre adversos o propensos al riesgo, independiente del encuadre. Esto es un signo de racionalidad, en particular de consistencia. En un estudio hecho por De Martino, Kumaran, Seymour, & Dolan (2006), se encontró que la corteza cingulada anterior (ACC, por sus siglas en inglés) se activa con fuerza cuando en pérdidas, o ganancias, la gente no tomaba la decisión dominante, definida como propenso al riesgo en pérdidas o adverso al riesgo en ganancia. Esta estructura del *neocortex* se suele relacionar con detección de conflictos. Por ejemplo, si a una persona se le muestra un color, el verde, y debajo de ese color se pone una descripción que dice violeta, la ACC se activa. Este, y otros experimentos, indican que detecta conflictos en el medio, como información inconsistente o decisiones inesperadas. Por lo tanto, la activación de la ACC en el estudio de De Martino et ál. (2006) muestra que cuando no se toma la decisión dominante, el organismo detectaba un conflicto. Puesto en otros términos, el argumento fuerte es que ante decisiones de riesgo co-ocurren dos sistemas, uno emocional, guiado por el sistema límbico que produce respuestas dominantes, casi que automáticas, y otro analítico, que modula centros de detección de conflictos y funciones ejecutivas y autocontrol, que conducirían a decisiones consistentes y menos efecto de encuadramiento.

Otro estudio, mencionado en párrafos anteriores, es el de Tobler et ál. (2006). En ese estudio la corteza prefrontal (PFC) se moduló positivamente con el riesgo en propensos al riesgo, y negativamente en los adversos al riesgo. La PFC se le han asignado funciones típicamente ejecutivas, como auto-control e integración de información, así que la modulación positiva en propensos al riesgo puede indicar o bien un manejo más eficiente de la información o un mejor autocontrol. Sin embargo, aceptar que hay manejo más eficiente de la información implicaría que los propensos al riesgo tienden a mayor optimalidad, pero el estudio de Samanez-Larkin, et ál. (2010), evidenció que escoger el riesgo no siempre es óptimo, pues se pueden escoger activos riesgosos cuando es mejor, dada la información hasta el momento, escoger un activo seguro. Incluso, un argumento en contra de que ser propenso al riesgo es manejar mejor la información, es el de los adictos al juego. Muchos

de ellos son amantes al riesgo, pero esto los conduce a pérdidas millonarias. Por lo tanto, la mayor actividad en la PFC en el estudio de Tobler, et ál. (2006) tal vez este más conectada con auto-control; hipótesis que requiere evidencia adicional.

Para finalizar la dimensión cognitiva-ejecutiva, en un estudio de Paulus y Frank (2006) se encontró que la ponderación no-lineal de probabilidades se modulaba por la actividad en la ACC. En palabras simples, por el trabajo de Kahneman y Tversky, se sabe que hay una tendencia a sobreponderar probabilidades bajas y subponderar intermedias-altas. Esto es lo que se refiere a ponderación no-lineal de probabilidades (Figura 5). Al igual que en efectos de encuadramiento, este fenómeno difiere entre sujetos, en particular algunos se acercan más a una ponderación lineal (que no sería ponderación). Ser lineal en probabilidades es ser algo más racional, pues el comportamiento seguiría lo que dicen las probabilidades objetivas. Ahora bien, los sujetos que se acercaban más a linealidad en probabilidades activaron con más fuerza la corteza cingulada anterior (ACC). Según los autores, las implicaciones son que un defecto en actividad en la ACC puede bien explicar por qué algunos sujetos se comportan como excesivamente propensos al riesgo o lo evitan cada vez que pueden. Por ejemplo, una persona que sobrepondere mucho probabilidades bajas puede mostrarse en exceso propenso al riesgo, y según los resultados de Paulus et ál. (2006), dicha sobreponderación, o no-linealidad en probabilidades, se relaciona con una actividad inapropiada de la ACC.

En suma, la existencia de actividad en muchas regiones del cerebro, cuando se toman decisiones que involucran probabilidades, sugiere que estas decisiones involucran varias dimensiones. Puede que el número o símbolo indicador de la probabilidad subyacente sea percibido e identificado igual entre todos los sujetos, a nivel semántico y cuantitativo. Aunque lo anterior no sea del todo cierto, es una presunción útil, que permite entender por qué ante las mismas probabilidades hay distintos comportamientos: hay dos niveles de procesamiento adicional, uno emotivo-valorativo y otro cognitivo-autocontrol. Estas ideas no solo encuentran sustento en resultados comportamentales, sino que se siguen de un acervo investigativo que muestra como el cerebro se modula en decisiones de riesgo. Las pruebas que hacen los sujetos usualmente no son parecidas entre investigaciones, y explican la diversidad de áreas que se modulan, así que habría que pensar en qué situación alguna de las dimensiones prima o en qué otras todas son relevantes. El *paper* de Brugier et ál. (2010), en particular, es interesante, pues en situaciones de *trading* la dimensión emotiva-valorativa era modulada, más que circuitos lógicos y cuantitativos.

Figura 5: Función ponderadora de probabilidades ( $W(p)$ ) en teoría de prospectos

### 3. Inversión y confianza

Esta última sección se enfocará solo en un juego relevante para el mundo financiero: el de la confianza. En este juego hay dos personas que participan. El jugador uno tiene una asignación presupuestal, a este se le llamará inversor. El jugador dos recibe unidades monetarias de dicho presupuesto del inversor y tiene la capacidad de multiplicarlas. Usualmente la capacidad es una transformación automática que hace el experimentador, no hay ningún esfuerzo por parte del jugador dos, tan solo se multiplican por un factor los recursos recibidos. La decisión que puede tomar el jugador dos es devolver una fracción o quedarse con todos los recursos; a este jugador se le llamará el administrador.

En comportamiento que maximiza ingresos para el administrador, si el juego no se repite, hay total anonimato, y no existen castigos, es devolver nada al inversor. La sorpresa es que esto no ocurre (e.g. Smith, 1998; Zak, Kurzban y Matzner, 2005). Los administradores hacen recíproca la confianza que el inversor depositó al entregarle una fracción de su dinero, y le devuelven una parte considerable del dinero que se multiplicó. Una de las razones para Smith (1998), es que al parecer el funcionamiento *default*, heredado por la evolución, es esperar que se repitan las interacciones. En un escenario de repetición, es preciso generar confianza, credi-

bilidad y evitar castigos. Por eso, aun cuando el juego no se repita, las personas se comportan como tal, pues una estrategia de supervivencia, imbuida en la mayoría gracias a la historia evolutiva, es esperar una regularidad, en el sentido que las interacciones suelen repetirse.

Una vez dicho esto, un estudio clásico del juego de confianza es el que relaciona el comportamiento del inversor con una dosis intranasal de la hormona oxitocina (Kosfeld, Heinrichs, Zack, Fischbacher, y Fehr, 2005). Esta hormona tiene un rol central en comportamientos sociales, como apareamiento, cuidado maternal y formación de vínculos. Cuando se les dio una dosis a los sujetos, aquellos con el rol de inversionistas transferían con mayor probabilidad toda la asignación inicial al administrador. Sin embargo, los administradores en el grupo placebo y el de oxitocina no diferían en lo que devolvían al inversionista. Es decir, la oxitocina no alteró el comportamiento de reciprocidad del administrador, pero sí el de confianza del inversor. El porqué de dicha asimetría del efecto de la oxitocina no es claro, pero puede estar en los roles diferenciados que tienen ambos jugadores. El inversionista es el que debe romper cualquier barrera social de desconfianza inicial, mientras que el administrador condiciona su respuesta a la magnitud de confianza depositada en él. Si se le da poco, devuelve poco, si se le da mucho devuelve igual. Es una de las hipótesis planteadas por los autores, que requiere más estudios.

Un elemento clave del juego de confianza es la credibilidad y la reputación. Debería ser claro que si el inversionista cree en el otro, es posible que su comportamiento varíe, por ejemplo aumentado su transferencia. La pregunta es ¿cómo funciona el cerebro cuando se genera credibilidad o reputación? Ha habido aproximaciones iniciales al problema. Por ejemplo, el juego de confianza se puede modificar de tal forma que el administrador se comprometa, antes de que el inversionista tome cualquier decisión, a seguir un comportamiento. Es decir, el administrador promete una línea de acción al inversionista, antes que este último decida cuanto transferirle. Esta modificación experimental permite reconocer aquellos administradores que cumplen su promesa y los que no. Usando esta variación, Baumgartner, Fischbacher, Feierabend, Lutz, y Fehr (2009) hallaron respuestas cerebrales características que diferenciaban a los honestos y a los deshonestos. En el momento de hacer una promesa, los deshonestos generaban actividad fuerte en la ACC y la corteza frontal insular. Cuando se esperaba la respuesta del inversionista, luego de la promesa, se activaba el giro frontal inferior (IFG, por sus siglas en inglés) y la ínsula. En el momento de decidir si se cumplía o no la promesa, el estriado respondía robustamente. Así, los honestos y deshonestos, en todas las etapas del juego tenían respuestas en sus cerebros bien características.

¿Qué significan estas activaciones? El *paper* original da detalles, pero una de ellas vale la pena explicar la brevemente. Se encontró que en el momento de romper una promesa, el estriado se activaba con fuerza en los deshonestos. Dicha estructura es central en el circuito de recompensas del cerebro, y su sección ventral se propone como una de las candidatas a procesar la moneda neuronal común (Kable y Glimcher, 2010). Por lo tanto, puede ser que la mayor actividad en los deshonestos indica un proceso valorativo, como si se supiera que romper una promesa significa más ingresos a la cuenta personal. Los autores proponen esta posibilidad, pero también son cautos al afirmar que se requieren más estudios para confirmar cualquier interpretación.

Otro estudio que trató de dilucidar, a nivel cerebral, cómo se genera credibilidad y reputación en el juego de confianza repetido fue realizado por Knoch, Schneider, Schunk, Hohmann, y Fehr (2009). Una de las dificultades cognitivas que el inversionista puede enfrentarse es llevar mentalmente una cuenta de cuántas veces el administrador ha sido justo y vuelve recíproca la confianza. Para controlar por este aspecto, los autores le recordaban al inversionista, por medio de una pantalla, cuántos recursos había devuelto el administrador, en los últimos tres turnos. Este diseño experimental genera un incentivo en el administrador de generar reputación, porque al inversionista se le recuerda constantemente su comportamiento pasado. Ahora bien, cuando al administrador se le interrumpía el funcionamiento de la corteza dorsolateral prefrontal derecha (DLPFC, por sus siglas en inglés), su capacidad para generar reputación, medida por las transferencias recíprocas que hacía al inversor, se disminuyó. La DLPFC es una estructura ejecutiva, que se ha relacionado con regulación de señales de valor (Hare et ál. 2009), por lo que interrumpir su funcionamiento, en el juego de confianza, significa que a la persona se le dificulta saltar beneficios inmediatos a favor de generar reputación.

En suma, el juego de confianza es interesante por la relación inversionista-administrador que aparece. Se ha encontrado que los administradores no son tan egoístas como se esperaría, y suelen alternar, aun cuando se juega solo una vez y no hay necesidad de generar credibilidad. La oxitocina es una hormona que modula este efecto: si hay mucha hay más confianza por parte del inversionista, si se reduce hay menos. Por otro lado, se puede diferenciar entre administradores honestos y deshonestos, o aquellos que les interesa generar credibilidad o no. En este tipo de decisiones sociales se activan muchas regiones del cerebro, pero se delinearón dos importantes que se relacionan con reputación: el estriado y la DLPFC. La primera se modula por valor, mientras que la segunda se ha conectado con funciones ejecutivas, como auto-control y modulación de señales de valor. De tal manera, en el

juego de confianza la actividad de circuitos de recompensa y ejecutivos explican los comportamientos.

## Conclusión general

El presente escrito se intentó como una reseña, donde se agruparon hallazgos recientes de neuroeconomía en tres temas: valor, probabilidad y confianza. En el primero, se hizo énfasis en la definición de valor y qué características debía tener un área del cerebro que procese la moneda neuronal común, usada por el organismo para procesar estímulos con características sensoriales disimiles. En el segundo tema, se mencionó la existencia de tres dimensiones neuronales del riesgo: 1) sensorial-cuantitativa; 2) emotiva-valorativa y 3) cognitiva-autocontrol. La idea central era poner de manifiesto que aun cuando todos vean los mismos números (o gráficas, o cualquier otra representación simbólica), y procesemos el mismo significado de dichos números, el hecho que existan diferentes perfiles hacia el riesgo muestra que hay procesamiento adicional, el cual está en las otras dos dimensiones. La decisiones de riesgo generan emociones y valoraciones, que pueden ser reguladas o no por circuitos ejecutivos y de auto-control. Finalmente, el texto terminó con resultados neuronales de un juego clásico de teoría de juegos: el juego de confianza. Este se escogió por la relevancia para economía y finanzas, pues describe la relación entre un inversor y un administrador. Sin embargo, es importante decir que el área de decisiones sociales en neuroeconomía no se limita a este juego; hay resultados intrigantes en dilema del prisionero, ultimátum, dictador.

En definitiva, la neuroeconomía es reciente, pero a la vez debe mucho a economistas como Hayek, Simon y Kanheman, además de avances conceptuales y técnicos de las neurociencias cognitivas. El reto está todavía ahí: dar evidencia definitiva de que saber cómo funciona el cerebro es útil a la hora de construir modelos económicos y para hacer predicciones que sirvan para, por ejemplo, plantear políticas públicas. Hay indicios que así será (e.g. en subastas: Delgado, Schotter, Ozbay, y Phelps, 2008), pero es prematura cualquier sobre-reacción.

## Referencias

- Balleine, B., Daw, N., & O'Doherty, J. (2009). "Multiple forms of value learning and the function of dopamine. En P. W. Glimcher, C. F. Camerer, E. Fehr, y R. A. Poldrack. *Neuroeconomics: Decision making and the brain*. San Diego: Academic Press, pp. 367-387

- =Baumgartner, T., Fischbacher, U., Feierabend, A., Lutz, K., y Fehr, E. (2009). "The Neural Circuitry of a Broken Promise". *Neuron* 64, 756-770.
- Bernheim, D. (April de 2008). "On the Potential of Neuroeconomics: A Critical (but Hopeful) Appraisal". *NBER Working Paper*. The National Bureau of Economic Research.
- Brugier, A. J., Quartz, S. R., y Bossaerts, P. L. (2010). "Exploring the nature of trader intuition". *The Journal of Finance*, 65 (5), 1703-1723.
- Camus, M., Halelamien, N., Plassmann, H., Shimojo, S., O'Doherty, J., Camerer, C., y otros. (2009). "Repetitive transcranial magnetic stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex decreases valuations during food choices". *European Journal of Neuroscience*, 30, 1980-1988.
- Cantlon, J., Platt, M., y Brannon, E. (2008). "Beyond the number domain". *Trends in Cognitive Sciences*, 13 (2), 83-91.
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., y Dolan, R. (2006). "Frames, biases and rational decision making in the human brain". *Science*, 313, 684-687.
- Delgado, M. R., Schotter, A., Ozbay, E. Y., y Phelps, E. A. (2008). "Understanding over-bidding: using the neural circuitry of reward to design economic auctions". *Science*, 321, 1849-1852.
- Feinstein, J. S., Adolphs, R., Damasio, A., y Tranel, D. (2011). "The Human Amygdala and the Induction and Experience of Fear". *Current Biology*, 21, 1-5.
- Fiorillo, C. D., Tobler, P. N., y Schultz, W. (2003). "Discrete Coding of Reward Probability and Uncertainty by Dopamine Neurons. *Science*, 299, 1898-1902.
- Glimcher, P. (2009). "Choice: Towards a standard back-pocket model". En P. Glimcher, E. Fehr, C. Camerer, A. Rangel, y R. A. Poldrack *Neuroeconomics: Decision making and the brain* London, Academic Press. pp. 503-522
- Glimcher, P. W. (2009). "Neuroeconomics: History. En L. R. Squire", *Encyclopedia of Neuroscience*. Maryland Heights, Missouri, Academic Press, pp. 285-290.
- Glimcher, P., Camerer, C. F., Fehr, E., y Poldrack, R. A. (2009). "A brief history of neuroeconomics". En P. Glimcher, C. F. Camerer, E. Fehr, y R. A. Poldrack. *Neuroeconomics: Decision Making and the Brain* San Diego, California, Elsevier, pp. 1-11.

- Gul, F., y Pesendorfer, W. (2008). "The case for mindless economics". En A. Caplin, y A. Schotter *The Foundations of Positive and Normative Economics*. Oxford, Oxford University Press, pp. 3-42.
- Harbaugh, W. T., Mayr, U., y Burghart, D. R. (2007). "Neural Responses to Taxation and Voluntary Giving Reveal Motives for Charitable Donations". *Science*, 316, 1622-1625.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., y Rangel, A. (2009). "Self-Control in Decision-Making Involves Modulation of the vmPFC Valuation System". *Science*, 324, 646-648.
- Hariri, A. R., Mattay, V. S., Tessitore, A., Fera, F., y Weinberger, D. R. (2003). "Neocortical Modulation of the Amygdala Response to Fearful Stimuli". *Biological Psychiatry*, 53, 494-501.
- Harris, A., Adolphs, R., Camerer, C., y Rangel, A. (2011). "Dynamic Construction of Stimulus Values in the Ventromedial Prefrontal Cortex". *Plos One*, 6 (6), e21074.
- Harvey, A. H., Kirk, U., Denfield, G. H., y Montague, P. R. (2010). "Monetary Favors and Their Influence on Neural Responses and Revealed Preference". *The Journal of Neuroscience*, 30 (28), 9597-9602.
- Hayek, F. A. (1952/1976). *The sensory order. An inquiry into the foundations of theoretical psychology*. Chicago, University of Chicago Press.
- Hess, E. (2008). *Nim Chimpsky: the chimp who would be human*. New York, Random House Publishing Group.
- Hsu, M., Krajbich, I., Zhao, C., y Camerer, C. F. (2009). "Neural Response to Reward Anticipation under Risk Is Nonlinear in Probabilities". *The Journal of Neuroscience*, 29 (7), 2231-2237.
- Ingram, J. C. (2007). *Neurolinguistics : an introduction to spoken language processing and its disorders* . Cambridge, Cambridge University Press.
- Kable, J. W., y Glimcher, P. W. (2010). "An "As Soon As Possible" Effect in Human Intertemporal Decision Making: Behavioral Evidence and Neural Mechanisms". *Journal of Neurophysiology*, 103, 2513-2531.

- Kahneman, D., y Tversky, A. (1979). "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk". *Econometría*, 47 (2), 263-292.
- Keynes, J. M. (1936/2000). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*. Bogota Fondo de Cultura Económica.
- Knoch, D., Schneider, F., Schunk, D., Hohmann, M., y Fehr, E. (2009). "Disrupting the prefrontal cortex diminishes the human ability to build a good reputation". *PNAS*, 106 (49), 20895-20899.
- Kosfeld, M., Heinrichs, M., Zack, P. J., Fischbacher, U., y Fehr, E. (2005). "Oxytocin increases trust in humans". *Nature*, 435, 673-676.
- McCabe, K. A., Rassenti, S. J., y Smith, V. L. (1996). "Game theory and reciprocity in some extensive form experimental games". *PNAS*, 93, 13421-13428.
- McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M., y Montague, P. R. (2004). "Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks". *Neuron*, 44, 379-387.
- Miller, E. K., y Cohen, J. D. (2001). "An integrative theory of prefrontal cortex function". *Annual Review: Neuroscience*, 24, 167-202.
- Montague, P. R., y Berns, S. G. (2002). "Neural Economics and the Biological Substrates of Valuation". *Neuron*, 36, 265-284.
- Nieder, A., y Dehaene, S. (2009). "Representation of number in the brain". *Annual Reviews Neuroscience*, 32, 185-208.
- Padoa-Schioppa, C., y Assad, A. J. (2008). "The representation of economic value in the orbitofrontal cortex is invariant for changes of menu". *Nature Neuroscience*, 95-102.
- Paulus, M. P., y Frank, L. R. (2006). "Anterior cingulate activity modulates nonlinear decision weight function of uncertain prospects". *NeuroImage*, 30 (2), 668-677.
- Philistiades, M. G., Biele, G., y Heekeren, H. R. (2010). "A mechanistic account of value computation in the human brain". *PNAS*, 107 (20), 9430-9435.
- Pinker, S. (2002). *The blank slate: the modern denial of human nature*. London, Penguin Books.

- Plassmann, H., O'Doherty, J., Shiv, B., y Rangel, A. (2008). "Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness". *PNAS*, 105 (3), 1050-1054.
- Platt, M. L., y Glimcher, P. W. (1999). "Neural correlates of decision variables in parietal cortex". *Nature*, 400, 234-238.
- Plott, C. R., y Sunder, S. (1988). "Rational Expectations and the Aggregation of Diverse Information in Laboratory Security Markets". *Econometrica*, 56 (5), 1085-1118.
- Preuschoff, K., Bossaerts, P., y Quartz, S. (2006). "Neural differentiation of expected reward and risk in human subcortical structures". *Neuron*, 51, 381-390.
- Preuschoff, K., Quartz, S. R., y Bossaerts, P. (2008). "Human Insula Activation Reflects Risk Prediction Errors As Well As Risk". *The Journal of Neuroscience*, 28 (11), 2745-2752.
- Rangel, A., Camerer, C., y Montague, P. R. (2008). "A framework for studying the neurobiology of value-based decision making". *Nature Reviews: Neuroscience*, 9, 545-556.
- Samanez-Larkin, R. G., Kuhnen, C. M., Yoo, D. J., y Knutson, B. (2010). "Variability in Nucleus Accumbens Activity Mediates Age-Related Suboptimal Financial Risk Taking". *The Journal of Neuroscience*, 30 (4), 1426-1434.
- Shizgal, P., y Conover, K. (1996). "On the neural computation of utility". *Current Directions in Psychological Science*, 5, 37-43.
- Simon, H. (1997). *Models of Bounded Rationality*. Boston, MIT Press.
- Smith, D. V., Hayden, B. Y., Truong, T. K., Song, A. W., Platt, M., y Huettel, S. A. (2010). "Distinct Value Signals in Anterior and Posterior Ventromedial Prefrontal Cortex". *The Journal of Neuroscience*, 30 (7), 2490-2495.
- Smith, V. L. (2008). *Rationality in economics: constructivist and ecological forms*. New York, Cambridge University Press.
- Smith, V. L. (1998). "The two faces of Adam Smith". *Southern Economic Journal*, 65 (1), 1-19.

- Sokol-Hessner, P., Hsu, M., Curley, N. G., Delgado, M. R., Camerer, C. F., y Phelps, E. A. (2009). "Thinking like a trader selectively reduces individuals' loss aversion". *PNAS*, 106 (13), 5035-5040.
- Sugrue, L. P., Corrado, G. S., y Newsome, W. T. (2005). "Choosing the greater of two goods: Neural currencies for valuation and decision making". *Nature Reviews: Neuroscience*, 6, 363-375.
- Takahashi, T., Hadzibeganovic, T., Cannas, S. A., Makino, T., Fukui, H., y Kitayama, S. (2009). "Cultural neuroeconomics of intertemporal choice". *Activitas Nervosa Superior Rediviva*, 51 (1-2), 29-35.
- Tobler, P. N., O'Doherty, J. P., Dolan, R. J., y Schultz, W. (2006). "Reward Value Coding Distinct From Risk Attitude-Related Uncertainty Coding in Human Reward Systems". *Journal of Neurophysiology*, 97, 1621-1632.
- Tversky, A., y Kahneman, D. (1981). "The framing of decisions and the psychology of choice". *Science*, 453-458.
- Wallis, J. D. (2007). "Orbitofrontal Cortex and Its Contribution to Decision-Making". *Annual Reviews Neuroscience*, 30, 31-56.
- Yang, T., y Shadlen, M. (2007). "Probabilistic reasoning by neurons". *Nature*.
- Zak, P. J., Kurzban, R., y Matzner, W. T. (2005). "Oxytocin is associated with human trustworthiness". *Hormones and Behavior*, 48, 522-527.