

NANOECONOMÍA: UNA BASE NEUROCIENTÍFICA PARA UNA RECONSTRUCCIÓN BOTTOM-UP DE LA TEORÍA ECONÓMICA

Juan I. Fernández*

Resumen

Los modelos económicos actuales se basan en primitivas conductuales (agentes racionales, tasas de descuento constantes) que la neurociencia ha mostrado ser biológicamente implausibles. Proponemos la *nanoeconomía*: un marco epistemológico de segundo orden, integrado con la neurobiología, que actualiza teorías económicas existentes incorporando primitivas neurofisiológicas medibles. Como prueba de concepto del poder generativo de la *nanoeconomía* y como desarrollo teórico autónomo, derivamos el Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII), que vincula estados dopaminérgicos con preferencias temporales, y demostramos su aplicabilidad al actualizar (1) la Hipótesis del Ciclo de Vida de Modigliani, (2) el modelo de overshooting de Dornbusch y (3) la propensión marginal a consumir keynesiana. La evidencia empírica muestra que las personas con adicción a opioides exhiben horizontes temporales de 9 días frente a 4,7 años en controles ($\approx 190\times$), lo que socava los supuestos de planificación estable. Estudios recientes vinculan la crisis de opioides con una reducción de hasta 2 millones de personas en la fuerza laboral de EE. UU. (Krueger, 2017; Case & Deaton, 2017), debido a la incapacitación y la menor participación, con consecuencias relevantes para el capital humano. Durante ese período, los modelos DSGE no anticiparon este shock, lo que ilustra cómo las perturbaciones neurobiológicas

*Lic. en Economía, Universidad de Buenos Aires y Maestrando en Finanzas, Universidad Torcuato Di Tella. Diputado (Ciudad de Buenos Aires). juan.fernandez17@gmail.com. ORCID: 0009-0005-5365-8126

pueden evadir los marcos convencionales. Nuestro enfoque proporciona herramientas falsables para incorporar heterogeneidad neurobiológica en modelos económicos existentes, permitiendo mejoras inmediatas e incrementales y allanando el camino para avances discretos en realismo, poder predictivo y rigor epistemológico. Al fundamentar la economía en primitivas neurobiológicas medibles, la *nanoeconomía* articula una senda clara y prometedora hacia estándares propios de las ciencias duras.

Palabras clave: Nanoeconomía, Neuroeconomía, Teoría de Segundo Orden, Fundamentos Neurobiológicos, Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII), Preferencias Temporales, Hipótesis del Ciclo de Vida, Adicciones.

Abstract

Current economic models rely on behavioral primitives (rational agents, constant discount rates) that neuroscience has shown to be biologically implausible. We propose *nanoeconomics*: a second-order epistemological framework integrated with neurobiology that updates existing economic theories by incorporating measurable neurophysiological primitives. As both a proof of concept for the generative power of *nanoeconomics* and a standalone theoretical development, we derive the Internal Intertemporal Inconsistency Coefficient (IIIC), which links dopaminergic states to time preferences, and demonstrate its applicability by updating (1) Modigliani's Life-Cycle Hypothesis, (2) the Dornbusch overshooting model, and (3) the Keynesian marginal propensity to consume. Empirical evidence shows that people with opioid addiction exhibit time horizons of 9 days compared to 4.7 years in controls ($\approx 190\times$), undermining assumptions of stable planning. Recent work links the opioid crisis to a reduction of up to 2 million people in the U.S. labor force (Krueger, 2017; Case & Deaton, 2017) via incapacitation and lower participation, with consequences for human capital. During that period, DSGE models failed to anticipate this shock, illustrating how neurobiological disturbances can evade conventional frameworks. Our approach provides falsifiable tools for incorporating neurobiological heterogeneity into existing economic models, enabling immediate, incremental improvements while paving the

way for discrete advances in realism, predictive power, and epistemological rigor. By grounding economics in measurable neurobiological primitives, *nanoeconomics* articulates a clear and promising path toward hard-science standards.

Keywords: Nanoeconomics, Neuroeconomics, Second-Order Theory, Neurobiological Foundations, Internal Intertemporal Inconsistency Coefficient (IIIC), Time Preferences, Life Cycle Hypothesis, Addictions.

JEL: D03, D87, I12, E21, D91

Marco de segundo orden: alcance y criterio de evaluación

Este trabajo no presenta una teoría cerrada con hipótesis falsables de primer orden (predicciones económicas específicas), sino un marco de segundo orden: una epistemología computacional-biológica desde la cual derivar teorías de primer orden.

Por “epistemología de segundo orden” entendemos marcos que no buscan predecir fenómenos puntuales, sino proveer reglas generativas desde las cuales esas predicciones pueden deducirse. Así como la macroeconomía modela dinámicas sin fijar valores puntuales de inflación, o la termodinámica describe leyes emergentes sin rastrear moléculas, la nanoeconomía propone primitivas computacionales subyacentes al comportamiento económico. No es un modelo específico ni una hipótesis falsable en sí misma –como tampoco lo es la microeconomía–, pero sí genera modelos falsables a partir de su ontología.

En consecuencia, su aporte debe juzgarse por coherencia interna, parquedad, poder generativo y restricciones no vacuas; la instanciación empírica corresponde, por diseño, a trabajos subsiguientes. La argumentación e instancias ilustrativas aquí esbozadas son evidencia suficiente de fertilidad para justificar la continuación del programa.

Nivel	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3
Primer orden	Trayectoria de moléculas	Forecast de inflación	Elección de consumo individual
Segundo orden	Termodinámica	Macroeconomía	Nanoeconomía

Introducción

La economía moderna enfrenta una paradoja fundamental: en la abrumadora mayoría de los casos, modela decisiones humanas sin incorporar los mecanismos neurobiológicos que las generan. Los modelos DSGE asumen agentes que optimizan perfectamente a lo largo de décadas, mientras la evidencia neurocientífica documenta que estados como el estrés o la adicción comprimen drásticamente los horizontes temporales de decisión.

Esta brecha no es meramente conceptual sino empíricamente cuantificable. Petry, Bickel & Arnett (1998) demuestran que individuos adictos a opioides presentan horizontes temporales de apenas 9 días, frente a 4.7 años en grupos control. Esta diferencia de 190 veces representa una anomalía de gran magnitud para modelos DSGE contemporáneos como Smets & Wouters (2007), Christiano et al. (2005), o más recientemente Kaplan et al. (2018), que asumen estabilidad en preferencias temporales y capacidad de optimización a lo largo de décadas.

Contribución principal: Desarrollamos un enfoque con fundamentos neurobiológicos que permite actualizar modelos económicos existentes, incorporando primitivas neurofisiológicas medibles, manteniendo sus estructuras matemáticas fundamentales pero dotándolas de realismo biológico. En otras palabras, proponemos la integración explícita de fundamentos neurobiológicos medibles para reformular la teoría económica clásica, mediante un enfoque *bottom-up*: desde moléculas y circuitos neuronales hacia modelos micro y macroeconómicos.

A diferencia de intentos previos de integración neuro-económica que permanecen fragmentarios, nuestro marco establece un puente causal escalable desde mecanismos moleculares específicos (dopamina, cortisol) hasta fenómenos agregados, utilizando reglas de agregación sistemáticas que preservan la coherencia teórica a través de escalas.

El máximo local de la Economía Moderna: una oportunidad de arbitraje histórico

La mayoría de los economistas ignoran la neurociencia; la mayoría de los neurocientíficos ignoran la economía. Los primeros siguen tratando al cerebro como una caja negra; los segundos desatienden el mercado y el potencial de agregación de sus hallazgos. Esta desconexión disciplinaria constituye una ineficiencia epistemológica de gran magnitud: la economía continúa operando con primitivas conductuales obsoletas, mientras la neurociencia produce descubrimientos con implicancias económicas profundas que rara vez se traducen en modelos formales. Cerrar esta brecha no es solo una tarea pendiente, sino una oportunidad histórica de arbitraje intelectual: integrar ambas disciplinas podría permitir refactorizar las bases mismas de la teoría económica, ofreciendo un potencial transformador demasiado significativo como para ser desestimado.

El diagnóstico: paradigma del siglo XX en crisis

La economía está atrapada en un máximo local. Sus modelos –ya sean DSGE o "nudges" conductuales– permanecen en un paradigma del siglo XX, dependientes de *proxies* superficiales para el comportamiento humano (racionalidad, heurísticas). Mientras tanto, la neurociencia ha mapeado los algoritmos computacionales de la toma de decisiones (gradientes de dopamina, circuitos PFC-VTA), pero raramente esto es utilizado para comprender la dinámica económica. Y menos aún, ha penetrado dentro de los modelos *mainstream* que realmente se utilizan para modelar la realidad antes de ejecutar políticas públicas.

Los modelos DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium) siguen siendo el caballo de batalla de la macroeconomía moderna, las ecuaciones que los bancos centrales usan para simular economías enteras. Su premisa fundamental: todos los agentes económicos optimizan perfectamente sus decisiones futuras con información completa, y la economía siempre tiende hacia un equilibrio estable.

El problema: ningún cerebro humano funciona así. Cuando el Fed modela una recesión o proyecta inflación, asume que cada consumidor es básicamente una computadora que calcula probabilidades infinitas para maximizar su utilidad a lo largo de décadas.

Evidencia empírica contundente

Esta distorsión no es meramente conceptual sino dramáticamente cuantificable. Como mencionamos en párrafos anteriores, Petry, Bickel & Arnett (1998) demuestran que adictos a opioides operan con horizontes temporales de apenas 9 días, mientras individuos del grupo control planifican hacia 4.7 años, una diferencia de 190 veces. Bickel et al. (2020) conceptualizan esto en su teoría de 'Reinforcer Pathology', donde la adicción genera un "horizonte temporal acortado".

Estas diferencias radicales en *delay discounting* invalidan supuestos centrales de la teoría económica moderna: los modelos de ciclo de vida (Modigliani–Brumberg/Ando–Modigliani) asumen agentes que optimizan decisiones de ahorro e inversión a lo largo de décadas. Los sistemas previsionales se diseñan para horizontes de 40+ años, y las funciones de consumo agregado presuponen tasas de descuento relativamente estables entre la población.

Esto representa una posible inconsistencia de magnitud para los modelos tradicionales, al evidenciar una diferencia relevante en las preferencias temporales entre distintos grupos, una variación que dichos modelos no contemplan ni explican adecuadamente, pues asumen comportamiento homogéneo, tanto entre individuos, como en términos dinámicos.

El equilibrio subóptimo actual

La teoría económica moderna está estancada en un equilibrio subóptimo:

- Los modelos DSGE asumen que los humanos son calculadores hiperracionales.

- La economía conductual añade "sesgos" como notas adhesivas, sin una teoría subyacente. El por qué de esos sesgos es una "caja negra". El mínimo nivel de agregación es micro, no llega a lo nano.

Sin embargo, mientras la economía conductual ha documentado exitosamente desviaciones de los modelos de elección racional, a menudo trata estos como "sesgos psicológicos" sin una base biológica sistemática. La *nanoeconomía* proporciona una base más fundamental al derivar estos patrones de primitivas neurobiológicas medibles y mostrar cómo escalan fractalmente desde mecanismos moleculares hasta fenómenos económicos agregados.

- La neurociencia se sumerge en minucias sinápticas, ignorando las implicaciones multimillonarias de sus hallazgos.

Mientras tanto, sabemos desde hace décadas que:

- La dopamina codifica expectativas de recompensa y errores de predicción (Schultz, Dayan & Montague, 1997; Schultz & Dickinson, 2000).
- La "captura" de la amígdala distorsiona la percepción del riesgo bajo estrés, pero los modelos macro tratan el pánico como "shocks" exógenos.
- La inhibición de la corteza prefrontal (PFC) modula la preferencia temporal –el "cortoplacismo en sangre"–, pero las políticas asumen tasas de descuento estables y uniformes entre la población.
- El progreso tecnológico aumenta las probabilidades de manipular el sistema de recompensa humano (adicción), al crear herramientas más efectivas para captar nuestra atención (TikTok en smarphones frente a un Nokia 1100).

Esta ceguera mutua es un desperdicio histórico: podríamos reconstruir la economía desde el nivel neuronal, pero ambos campos se aferran a sus silos.

Nanoeconomía: Definición, Fundamentos y Arquitectura

¿Por qué "nano"?

Esto es como construir aerodinámica sin física. La lógica es clara: sin comprender los procesos a nivel "nano" en el individuo, es altamente improbable entender completamente los comportamientos en sistemas de orden superior (dinámicas de grupo, países, es decir, a nivel micro/macro). El nivel "nano" serían los ladrillos, los bloques fundamentales que luego se usarían para construir y comprender mejor los sistemas de orden superior: los modelos micro/macroeconómicos.

Definición operacional

Por "nanoeconomía" me refiero al estudio profundo, aunque estilizado, de los algoritmos subyacentes a los procesos (mayormente neuronales) que guían nuestras decisiones. Por ejemplo, la conexión entre nuestro sistema de recompensas (y sus dinámicas) y las decisiones individuales y agregadas, tanto en términos estáticos como dinámicos e intertemporales.

Claramente no se trata de modelar cada neurona, sino de capturar los algoritmos esenciales de manera tractable, optimizando el *trade-off* entre precisión y poder predictivo/utilidad, como en cualquier modelo que aspira a sobrevivir como herramienta académica.

Arquitectura epistemológica

El nivel *nano* no se define por una sustancia o estructura específica, sino por cualquier variable neurobiológica con impacto causal en decisiones económicas: neurotransmisores, regiones corticales, niveles hormonales, patrones de activación funcional, etc. No se propone una *dopamine-centric theory*, sino una ontología computacional-biológica del comportamiento económico.

La piedra angular es el nivel nano-neurofisiológico en su conjunto –neurotransmisores (dopamina, cortisol, serotonina), regiones (PFC, OFC, amígdala, hipocampo), dinámicas sinápticas y plásticas– como fuente causal primaria del comportamiento económico.

Metodología fractal

La *nanoeconomía* opera como una metodología fractal para modelar la economía desde la base neurobiológica-computacional del comportamiento. Le otorga a la disciplina cimientos más sólidos sobre los cuales reexaminar las abstracciones existentes (modelos, teorías) y crear otras nuevas.

En resumen: proponemos partir de la ciencia dura (neurociencia) para reconstruir una ciencia blanda (economía).

No es reduccionismo, es rigor

Los críticos podrían descartarla como "reducciónismo", pero estarían equivocados. Comprender los *quarks* no hizo obsoleta la química; la hizo predictiva. De manera similar, la *nanoeconomía* no reemplazará las curvas de oferta y demanda, sino que podría explicar cuáles son los mecanismos *nano* que operan detrás de ellas.

La química no murió cuando descubrimos los átomos, se fortaleció. Las curvas de oferta y demanda no desaparecerán: ganarán fundamentos neurológicos. Ejemplo: la elasticidad del precio podría derivarse de distribuciones de receptores de dopamina y activación de la corteza pre-frontal a nivel poblacional.

Modelo falsable y extensible

Si mañana se descubre que una región ignorada –por ejemplo, el tálamo– cumple un rol decisivo en las decisiones financieras, su inclusión debería ser inmediata. La

nanoeconomía no se define por hipótesis fijas, sino por un método agnóstico y extensible. Es un marco abierto, no una teoría cerrada.

Arquitectura científica dura

La especulación psicológica y los modelos *ad hoc* con supuestos no falsables ni predictivos ceden lugar a una ciencia estructurada sobre medición, cuantificación, dinámica y causalidad. Lo metafísico y discrecional es desplazado por una arquitectura empírica y escalable.

Ese es el costo metodológico de alinear la disciplina con criterios estándar de ciencia empírica (medición, identificación y replicación). Otorgando potencial para el ingreso al panteón de las ciencias duras, en el caso de validación robusta y sistemáticamente reproducible.

El sistema de recompensas como motor computacional

El sistema de recompensas –con sus bucles dopaminérgicos y mecanismos de retroalimentación– opera como un motor computacional de naturaleza algorítmica orientado a maximizar la recompensa. Decodificar su lógica a nivel neurocomputacional puede constituir una piedra angular para microfundar la economía de manera medible.

Una limitación histórica de la disciplina ha sido la calidad y la granularidad de los datos en sus modelos. Al integrar este enfoque nano, incorporamos mediciones objetivas y repetibles.

Por ejemplo, la dopamina y la activación prefrontal (PFC) son cuantificables con protocolos estandarizados; la evidencia neurofisiológica aporta métricas de alta resolución que complementan los agregados macro; y la fMRI/RMf, sujeta a las especificaciones de adquisición y procesamiento, permite indicadores indirectos (proxies) confiables de activación mesolímbica (p. ej., área tegmental ventral, VTA),

reconociendo límites de resolución temporal, relación señal-ruido (SNR) y variabilidad entre sitios.

Hacia primitivas económicas medibles: avances en neurobiología

Los avances tecnológicos permiten mediciones fisiológicas cada vez más precisas e informativas para modelar el comportamiento económico:

- Dopamina: cuantificable en vivo por PET con [¹¹C]racloprida (cambios en binding ↔ liberación endógena) (Leyton et al., 2002), y, en contextos neuroquirúrgicos, por voltametría de barrido cíclico (FSCV) a escala sub-segundo (Kishida et al., 2016; Patel et al., 2020). La microdiálisis ofrece especificidad química, pero con baja resolución temporal y uso clínico humano limitado. Para una visión funcional de la dopamina como señal de error de predicción, ver Schultz (2016).
- Activación cortical y subcortical (fMRI): Existen estrategias de análisis de alta resolución que posibilitan el mapeo de regiones y capas corticales con mayor especificidad (Poldrack et al., 2017; Kuhnen & Knutson, 2011), con cautelas de fiabilidad/estandarización (EJ: UHF-fMRI ($\geq 7T$)).
- Biomarcadores periféricos de estrés: cortisol salival (HPAA) y otros marcadores (p. ej., alfa-amilasa) se miden de forma no invasiva (Takahashi et al., 2007; Porcelli & Delgado, 2017); su interpretación exige protocolos y control de confusores. Hay evidencia robusta de asociaciones entre cortisol y descuento temporal ya listas para su potencial uso en modelos económicos agregados.

Estas herramientas, aunque con costos y limitaciones técnicas, ofrecen mediciones más directas de los mecanismos causales subyacentes al comportamiento económico que las primitivas conductuales tradicionalmente inferidas. Incluso resultan objetivamente más precisamente medibles que muchas abstracciones hoy utilizadas en modelos económicos establecidos.

Diferenciación semántica y arquitectónica: Nanoeconomía vs. neuroeconomía

Arquitectura vs. aplicación

No se trata de reinventar la rueda, sino de dejar claro qué ya existe, y qué falta aún.

La primera gran diferencia es de arquitectura. La *nanoeconomía* está concebida desde una lógica de teoría de sistemas. No como una rama más de la economía, sino como una base teórica en un nivel de agregación más profundo, que se extiende fractalmente hacia niveles micro y macro.

Así como la microeconomía no es una "especialización", sino un conjunto de modelos económicos que trabaja a un nivel de agregación menor, la nanoeconomía funcionaría como la capa anterior a la micro, ausente hoy salvo por aportes parciales de la neuroeconomía.

No se trata de sumar una subdisciplina, sino de redefinir la base ontológica desde la cual se generan los modelos.

Diferenciación estructural

Dimensión	Neuroeconomía	Nanoeconomía
Objetivo	Estudiar correlatos neurales de decisiones económicas	Reconstruir la teoría económica desde fundamentos neuro-computacionales
Nivel de Análisis	Fenómenos aislados (ej. fMRI)	Base para un sistema adaptativo completo: algoritmos → agregación fractal
Relación con Economía	Rama especializada/complementaria	Nueva base epistemológica: cambio de base ontológica (segundo orden)
Amplitud	Fragmentaria: "islas de hallazgos"	Holística: teoría unificada con ambición fundacional

Brechas críticas que la nanoeconomía resuelve

1. La falta de teoría unificada

- Neuroeconomía: Describe *cómo* el cerebro responde a estímulos económicos (ej: dopamina en apuestas).
- Nanoeconomía: Explica *por qué* esos mecanismos generan o alteran las dinámicas de mercado, derivando leyes económicas de principios neuroalgorítmicos.

2. La desconexión macro

- Neuroeconomía: Rara vez escala hallazgos neurocientíficos a modelos macro *mainstream* (ej: inflación, ciclos económicos).
- Nanoeconomía: Podría conectar el cortisol individual con pánicos bursátiles, primitiva útil para armar modelos macro-financieros agregados. Provee herramientas para revisar y actualizar los modelos micro como macroeconómicos *mainstream* actuales.

3. El problema de las cajas negras

- Neuroeconomía: Trata regiones cerebrales como módulos independientes.
- Nanoeconomía: Podría utilizar dinámicas de redes neurofisiológicas (interacción PFC-amígdala-dopamina bajo estrés) para comprender su efecto en el comportamiento de los agentes. Cualquier dinámica, variable o interacción relevante que pueda ayudar a comprender mejor fenómenos económicos de manera predecible, en todas las escalas, sería una unidad de análisis válido para la *nanoeconomía*.
- La nanoeconomía no solo resuelve estas brechas, sino que se alinea explícitamente con la visión pionera de la neuroeconomics establecida por Camerer, Loewenstein y Prelec (2005), quienes argumentan que "La neuroeconomía utiliza el conocimiento sobre los mecanismos cerebrales para informar el análisis económico, y enraíza la economía en la biología. Abre la 'caja negra' del cerebro, de manera similar a como la economía organizacional agrega detalle a la teoría de la empresa" (p. 9). Compartimos su entusiasmo por anclar la economía en biología, pero expandimos este enfoque hacia una reconstrucción generativa: mientras la neuroeconomics mapea correlatos

neurales en fenómenos aislados, la nanoeconomía deriva primitivas computacionales-biológicas (e.g., CIII para descuento temporal) que escalan fractalmente a modelos agregados, ofreciendo no solo descripción, sino prescripciones falsables para políticas y DSGE actualizados.

El cambio de paradigma: de lo descriptivo a lo generativo

Neuroeconomía (Estado Actual):

Método: Observar respuestas neurales *ante* estímulos económicos

Limitación: No reconstruye la economía; solo añade datos a viejos marcos.

Ejemplo: "La ínsula se activa en pérdidas financieras" → Se usa para "explicar" la aversión al riesgo, pero no redefine la teoría del valor, ni se incluye para actualizar modelos hoy en uso.

Nanoeconomía (Propuesta):

Método: Derivar ecuaciones de utilidad desde dinámicas dopaminérgicas u otros mecanismos estilizados.

Potencial: Reemplazar o modelizar las funciones de demanda con *neuro-elasticidades*.

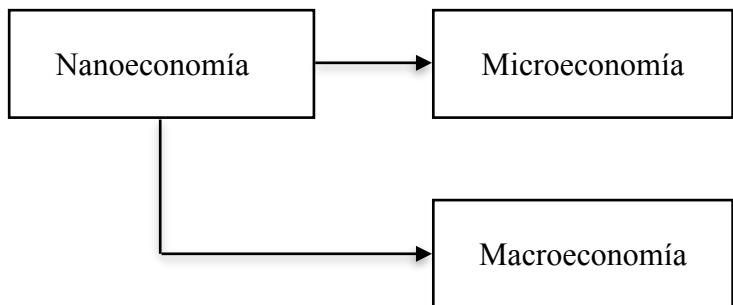
Conclusión: Cambio de Base y Programa de Investigación

La Neuroeconomía es como la anatomía del siglo XVI: Describe partes, pero no explica la vida. La Nanoeconomía sería análoga a la bioquímica moderna: Revela los mecanismos que generan la vida económica detrás de lo que hoy se conoce como macro y microeconomía.

La propuesta no agrega una subrama; especifica reglas generativas y mediciones elementales desde las cuales las ramas existentes pueden derivarse y ser evaluadas. Si la

neuroeconomía se tratara del estudio de los árboles, la nanoeconomía constituiría la disciplina encargada de descifrar el ADN de los mismos.

Postulo a la nanoeconomía como una capa basal de la macro y microeconomía, coherente con la trayectoria de la tecnología y del conocimiento científico.



BLOQUE II: del concepto a la herramienta: instanciando el marco nanoeconómico

El Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII): una abstracción nanoeconómica medible

Para demostrar el potencial generativo del marco nanoeconómico, desarrollamos una aplicación concreta: el Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII). Esta abstracción medible opera como un puente, conectando estados neurobiológicos subyacentes con decisiones económicas observables, y provee una herramienta cuantificable para modelos agregados y políticas públicas.

1. Deconstruyendo la tasa de descuento: una mirada nanoeconómica

La tasa de descuento intertemporal (θ_t) modela cómo un individuo valora el presente frente al futuro. La teoría económica tradicional trata a dicha tasa de descuento intertemporal (θ_t) como un parámetro fundamental pero opaco. El enfoque nanoeconómico propone desagregarla en sus dos componentes constitutivos:

- A_t (Componente Neurobiológico de Inconsistencia): Representa la distorsión provocada por adicciones, disfunción dopaminérgica o mala "salud neuroquímica". Un A_t elevado deteriora el autocontrol, impulsando la búsqueda de recompensas inmediatas. Varía positiva y causalmente con θ_t .
- L^e_t (Componente Racional de Mortalidad Subjetiva Esperada): Representa la expectativa *subjetiva* de años de vida restantes. Es racional y consistente descontar más el futuro si se espera vivir menos. Varía inversamente con θ_t .

2. Formalización matemática e intuición

La relación se formaliza de manera multiplicativa:

$$\theta_t = A_t * (1 / L^e_t)$$

La intuición detrás de la fórmula se revela en tres escenarios:

- Inconsistencia Patológica: Un adicto severo (A_t alto) con una larga expectativa de vida (L^e_t alto) exhibe una θ_t alta. Su conducta cortoplacista (ej.: malvender pertenencias) es inconsistente con su horizonte vital.
- Consistencia y Visión de Futuro: Una persona sana ($A_t \sim 1$) y joven (L^e_t alto) muestra una θ_t baja. Su preferencia por invertir en educación o ahorro es consciente y consistente.
- Consistencia en el Declive: Una persona mayor sana ($A_t \sim 1$) con baja expectativa de vida (L^e_t bajo) tiene una θ_t alta. Consumir sus activos no es irracional, sino una respuesta consistente a un horizonte vital acotado.

Si bien la formulación con $1/L^e_t$ es intuitiva y parsimoniosa, para mayor rigor actuarial podemos generalizarla utilizando el concepto de hazard subjetivo anual.

3. Derivación del Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII) con Hazard Subjetivo

Para mayor rigor actuarial, reformulamos la descomposición nanoeconómica utilizando el hazard subjetivo anual h^e_t , que representa la probabilidad subjetiva de mortalidad en el próximo año. Esto evita la aproximación $1/L^e_t$ y captura mejor el componente racional de la tasa de descuento, ya que h^e_t y θ_t son directamente comparables (ambas son tasas anuales).

Ecuación estructural:

$$(1) \quad \theta_t = A_t * h^e_t$$

- h^e_t es el hazard subjetivo anual, obtenido de la expectativa de vida restante L^e_t mediante un modelo actuarial (e.g., exponencial o Gompertz-Makeham).
- A_t captura la distorsión neurobiológica (como antes).

Bajo la aproximación exponencial parsimoniosa, $h^e_t \approx 1 / L^e_t$, recuperándose la formulación inicial para facilitar la comprensión y aplicación inmediata.

Aislando la Distorsión Neurobiológica (A_t):

El objetivo es aislar la distorsión pura generada por la disfunción neurobiológica. Partiendo de la ecuación estructural, despejamos A_t :

$$(2) \quad A_t = \theta_t / h^e_t$$

Definiendo el Benchmark de Consistencia:

El equilibrio de consistencia intertemporal se alcanza cuando la tasa de descuento se explica únicamente por la mortalidad esperada, es decir, cuando no hay distorsión neurobiológica: $A_t = 1$.

El Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna Firmado (sCIII):

Para medir la dirección y magnitud de la desviación, definimos un coeficiente "firmado" (con signo):

$$(3) \quad sCIII_t = \log (\theta_t / h^e_t) = \log (A_t)$$

- ¿Por qué "firmado"? Porque su signo indica el *tipo* de inconsistencia:

- $sCIII_t > 0$ (i.e., $A_t > 1$): Indica inconsistencia por exceso. El agente descuenta el futuro más de lo que su expectativa de mortalidad justificaría (cortoplacismo patológico).
- $sCIII_t < 0$ (i.e., $A_t < 1$): Indica inconsistencia por defecto. El agente descuenta el futuro *menos* de lo esperado (e.g., aversión excesiva al riesgo, hiperracionalidad). Es mucho menos común.

- ¿Por qué usar logaritmo? Transforma la relación multiplicativa en aditiva, haciendo que la métrica sea simétrica y más interpretable estadísticamente. Un valor de $sCIII_t = 0$ significa consistencia interna perfecta.

El Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII) – Magnitud:

La magnitud de la inconsistencia, que es lo que generalmente importa para diagnóstico y políticas, se captura con el valor absoluto:

$$(4) \quad CIII_t = |sCIII_t| = |\log(A_t)|$$

Interpretación del CIII:

- $CIII_t \approx 0$: Comportamiento intertemporalmente consistente. Las acciones del individuo están alineadas con sus expectativas de mortalidad.
- $CIII_t > 0$: Incoherencia interna. Un valor alto señala una fuerte distorsión en la toma de decisiones. Cuanto mayor es el valor, mayor es la "fiebre" intertemporal.
- El módulo asegura que la desviación sea siempre positiva, convirtiendo al CIII en un "score" de salud decisional fácil de interpretar.

Ejemplo Numérico Ilustrativo:

Para ilustrar el cálculo y la interpretación del CIII, consideremos un individuo de 30 años con los siguientes parámetros:

- Asumiendo un individuo normal/sano que espera vivir “lo normal”, la expectativa de vida subjetiva restante (L_{it}) sería de aproximadamente 50 años.
- Por ende, el Hazard Subjetivo Anual $h_{it} \approx 0.02$ (equivalente a un riesgo de muerte anual percibido del 2%, bajo supuesto exponencial).
- Tasa de Descuento Revelada $\theta_{it} = 0.15$.

Nota: Dado que lo estamos instanciando para un individuo i y momento t en particular, vamos a agregar el subíndice i .

Aplicando la ecuación estructural:

$$A_{it} = \theta_{it} / h^e_{it} = 0.15 / 0.02 = 7.5$$

Esto indica que el componente de distorsión neurobiológica es 7.5 veces mayor que el benchmark de consistencia (donde $A_{it} = 1$).

Usando la aproximación lineal del CIII (válida para desviaciones pequeñas o moderadas):

$$CIII_{it} = |A_{it} - 1| = |7.5 - 1| = 6.5$$

Interpretación: El individuo descuenta el futuro 7.5 veces más de lo que justificaría su riesgo vital percibido, mostrando una alta inconsistencia intertemporal ($CIII_{it} = 6.5$). Esto sugiere una fuerte distorsión cortoplacista, posiblemente debido a factores neurobiológicos como adicción o estrés, que podría requerir intervención, en base a un umbral a determinar en estudios posteriores.

Nota: Si se utilizara la formulación logarítmica:

$$CIII_{it} = |\log(A_{it})| \rightarrow |\log(7.5)| \approx 2.01$$

Esta alternativa también indica una desviación significativa, pero la magnitud es diferente debido a la naturaleza no lineal del logaritmo. La aproximación lineal es más intuitiva para ejemplos ilustrativos, mientras que la logarítmica es preferible para análisis econométricos rigurosos.

Separación apropiada de mecanismos/variables

La siguiente tabla resume las variables clave y sus mecanismos en el marco del CIII, proporcionando una referencia rápida para su correcta interpretación.

Vari able	Unidad	Qué Captura	Cómo se obtiene	Mecanismo/Rol en el Modelo
L^e_{it}	Años	Expectativa de vida subjetiva restante (L^e_{it}). Años de vida que el individuo cree que tiene por delante.	Autorreporte (con confianza)	Insumo para derivar h^e_t y evaluar consistencia interna en el accionar intertemporal del agente.
h^e_{it}	Prob. anual [0,1]	Hazard subjetivo anual (probabilidad subjetiva de mortalidad en el próximo año)	A partir de L^e_{it} (parsimonioso: $h^e_{it} \approx 1/L^e_{it}$ más riguroso: modelo actuarial, p.ej. exponencial o Gompertz-Makeham).	Racionalidad de supervivencia; expectativa subjetiva basada en creencias individuales sobre mortalidad. Componente racional: ancla el descuento por supervivencia en θ_t
θ_{it}	Tasa anual >0	Tasa de descuento intertemporal revelada por decisiones.	Áreas de elección temporal / comportamiento financiero; $\delta = e^{-\theta}$	Valoración relativa del presente vs. futuro; influenciada por preferencias temporales y sesgos neurobiológicos.
A_{it}	Adimensi onal >0	Distorsión neurobiológica (adicción/estrés/dopamina/función ejecutiva/otros).	Residuo estructural $A_{it} = \theta_{it} / h^e_{it}$; puede modelarse con escalas DSM-5, biomarcadores y tareas de control ejecutivo.	Variable que permite determinar inconsistencia interna (si $A_{it} \neq 1$).
$sCIII_i$ t	Nats (log natural)	Inconsistencia Intertemporal Firmada - dirección y magnitud de la desviación del equilibrio de consistencia.	$sCIII_{it} = \log(\theta_{it} / h^e_{it}) = \log A_{it}$	Señala el tipo de inconsistencia: >0 = sobre-descuento (cortoplacismo patológico); <0 = sub-descuento (hiperracionalidad). Mide la "fiebre" decisional con signo.

$CIII_{it}$	$Nats \geq 0$	Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal - magnitud de la inconsistencia intertemporal interna.	$CIII_t = sCIII_{it} = \log(A_{it}) $	Señala la magnitud de la desviación desde el equilibrio de consistencia ($A_{it}=1$). Funciona como "termómetro" de la incoherencia decisional.
-------------	---------------	---	--	--

4. El CIII como Medida de Consistencia Interna: Clarificación Conceptual

Es fundamental distinguir que el CIII no mide la racionalidad absoluta. Su propósito es identificar contradicciones internas entre las creencias declaradas de un individuo y su comportamiento observable. Esta distinción es ética y metodológicamente crucial, ya que evita imponer juicios de valor externos y respeta la soberanía individual sobre las preferencias temporales, siempre que sean internamente consistentes.

Para ilustrarlo de manera más clara, el CIII sería análogo a un termómetro de coherencia interna donde:

- La "temperatura" no importa tanto en términos absolutos.
- Lo que importa es la fiebre (desviación entre módulos cognitivos).
- Y la fiebre es síntoma de patología subyacente.

Un individuo puede tener preferencias temporales extremas (muy orientado al presente o al futuro) sin que eso indique disfunción, siempre que sus creencias declaradas y comportamiento revelado estén alineados. El CIII alto, en cambio, señala desconexión funcional entre sistemas de planificación y ejecución.

Consistencia vs. racionalidad objetiva

Consistencia Interna ($CIII \approx 0$):

- Una persona de 90 años que cree que vivirá 2 años más y consume sus activos rápidamente.
- Un joven que espera vivir 50 años más y ahorra consistentemente.

- Ambos casos muestran alineación entre expectativas y comportamiento.

Inconsistencia Interna ($CIII > 0$):

- Un joven que dice planear para el futuro pero malvende activos por gratificaciones inmediatas.
- Alguien que afirma tener décadas de vida por delante pero toma decisiones como si tuviera días.

5. Aplicaciones: del diagnóstico a la acción

El poder del CIII radica en transformar esta medida de coherencia en una herramienta de diagnóstico accionable:

- Planificación Financiera: Distingue entre un cliente que *consistentemente* prefiere el presente de uno cuyo autocontrol está *comprometido* (inconsistente), permitiendo asesoramiento personalizado.
- Diseño de Políticas Públicas: Permite dirigir programas (e.g., de educación financiera o rehabilitación) específicamente a poblaciones con alta inconsistencia interna, optimizando recursos y evitando intervenciones innecesarias en quienes son consistentes en sus preferencias.
- Evaluación Clínica: Sirve como indicador de alerta temprana para posibles estados (depresivos, adictivos, cognitivos) donde existe una brecha entre los planes declarados y las acciones, guiando hacia una evaluación profesional más profunda.

Ejemplo Ilustrativo: Dos casos de bajo ahorro, una diferencia crucial

- Caso A ($CIII_{it} \approx 0$): Expectativa: 10 años. Conducta: Gasto alto. Veredicto: Consistente.

- Caso B ($CIII_{it} > 5$): Expectativa: 40 años. Conducta: Gasto alto. Veredicto: Inconsistente, posiblemente requiera intervención.

Limitaciones y alcance

El CIII no determina si las expectativas de vida o las tasas de descuento son "correctas" en términos objetivos. Su valor está en identificar desalineaciones que pueden indicar:

- Problemas de autocontrol.
- Condiciones neurobiológicas que afectan la toma de decisiones.
- Estados emocionales o psicológicos que distorsionan el comportamiento.
- Necesidad de apoyo para alinear acciones con objetivos declarados.

En este sentido, el CIII funciona como un termómetro de coherencia decisional: no dice si la temperatura corporal es la "correcta" para el entorno, sino si existe fiebre que requiera atención.

6. Notas metodológicas y conclusión

- Operacionalmente, L^e_{it} se captura por auto-reporte, pues es la creencia subjetiva la que guía la acción. La formulación $1/L^e_{it}$ es una aproximación poderosa y parsimoniosa, aunque puede refinarse en el futuro con datos actuariales para obtener h^e_t de manera más precisa.
- La formulación $CIII_{it}=|A_{it}-1|$ es una aproximación lineal válida para desviaciones pequeñas de A_t alrededor de 1. La formulación logarítmica $CIII_{it}=|\log(A_{it})|$ es más general y adecuada para análisis econométricos, ya que trata de igual manera desviaciones por exceso y por defecto.

- En cuanto a la aproximación a Disfunción Neurobiológica/Adicción “A_{it}”, se abren múltiples posibilidades que requerirán exploración teórica y empírica. Como punto de partida, sugerimos una aproximación mediante desvíos homeostáticos:
 - ▶ Escalas estandarizadas (DSM-5).
 - ▶ Biomarcadores neurobiológicos.
 - ▶ Autoreporte de control ejecutivo.
- Dado que el CIII depende de estados dopaminérgicos y un grado de disfunción neurobiológica/adicción en un momento dado, es que no es una métrica necesariamente estable. Por ende, la definimos como una métrica de estado, no de rasgo, en consonancia con la evidencia empírica. Por ejemplo, personas que hayan atravesado una terapia conductual exitosa pueden haber mejorado en dichas métricas. Es por eso el énfasis en el subíndice “t”, porque hace referencia a una foto o *snapshot* en un momento dado.

De hecho, esto abre vías para la exploración teórica y empírica acerca de la estabilidad intertemporal de estos desvíos homeostáticos para el mismo individuo, su heterocedasticidad...factores explicativos, consecuencias sobre su proceso de toma de decisiones económico-financieras, y además, diferencias entre individuos en este sentido.

7. Discusión, evidencia y limitaciones

Evidencia

La robusta evidencia empírica respalda este marco. Las adicciones a opioides comprimen los horizontes temporales en un factor de 190 (Petry, Bickel & Arnett, 1998; Bickel et al., 2020), lo que se traduciría en un CIII enormemente elevado. Hallazgos

consistentes emergen de literatura sobre subjective life expectancy (Hurd & McGarry, 2002; Elder, 2013) y temporal discounting en adicciones.

Con esta evidencia empírica como respaldo, el CIII se traduce en aplicaciones concretas y accionables.

Utilidad Práctica del CIII

El CIII es medible (escalas DSM-5, biomarcadores, autoreporte), falsable y accionable para policy makers. Su relevancia es evidente: la crisis de adicciones –digital y de sustancias– es un problema social masivo que altera sobremanera los patrones de toma de decisiones de los agentes económicos.

Predicciones falsables. El marco permite predicciones falsables específicas:

a) Poblaciones con mayor prevalencia de adicciones deberían mostrar:

- Menor formación de capital.
- Mayor volatilidad del consumo.
- Una respuesta exagerada a políticas de estímulo económico inmediato.

b) Cambios exógenos en estrés/nivel de adicciones, impactando en A_{it} , traería desplazamientos hacia arriba en θ_{it} , impactando al alza la Inconsistencia Intertemporal Interna del Individuo ($CIII_{it}$).

Aplicaciones específicas:

Planificación financiera personalizada: distingue preferencias presentes consistentes de inconsistencias por disfunción (foco en intervención comportamental, no en “cambiar preferencias”).

Política pública: identifica poblaciones con alta inconsistencia interna para intervenciones dirigidas (educación financiera, tratamiento de adicciones, programas de control ejecutivo), evitando sobre-intervenir donde hay consistencia.

Clínica/psicoeducación: señal temprana de estados adictivos/depresivos o deterioro del control, orientando evaluación profesional.

En conclusión, el CIII es mucho más que una fórmula; es una útil y prometedora instanciación que contribuye a demostrar el poder del marco nanoeconómico. Al descomponer una variable macro (θ_t) en sus micro-fundamentos (A_t, L^e_t), provee un índice claro, medible y profundamente útil para diagnosticar y abordar las inconsistencias decisionales humanas, que yacen en el corazón de tantos problemas económicos y sociales.

Yendo a su meta-utilidad, dado el marco de segundo orden propuesto en este escrito, el CIII demuestra cómo la nanoeconomía puede facilitar la creación y actualización de abstracciones útiles –la tasa de descuento intertemporal– dotándolo de realismo neurofisiológico, relevancia social y aplicabilidad política. Una abstracción simple, falsable y potencialmente útil: exactamente el tipo de herramienta que la economía del siglo XXI necesita.

Disclaimer

La crítica metodológica detallada sería apropiada para un paper empírico final, no para un framework generativo que establece bases conceptuales. El estándar correcto para evaluar un marco de segundo orden es si genera hipótesis testeable e insights útiles, no si está completamente calibrado.

Para un framework generativo que demuestra potencial teórico, el CIII cumple su función: muestra cómo primitivas neurobiológicas pueden traducirse en herramientas económicas relevantes, novedosas y operativas. Es decir, el marco establece las bases conceptuales, mientras que los problemas de implementación empírica corresponden a trabajos posteriores del programa de investigación.

Esto sigue la progresión natural desde marcos conceptuales hacia refinamiento y validación empírica sistemática.

Instancia I de la Potencial Utilidad de la Nanoeconomía: Actualización Neurofisiológica de la Hipótesis del Ciclo de Vida (LCH)

El Modelo Clásico de Modigliani

La Hipótesis del Ciclo de Vida (LCH¹), desarrollada por Franco Modigliani, es uno de los modelos fundamentales en la teoría del consumo. Postula que los individuos planifican su consumo y ahorro a lo largo de toda su vida para optimizar su utilidad, distribuyendo sus ingresos esperados de manera que su consumo sea relativamente suave a lo largo del tiempo.

Siguiendo la Hipótesis del Ciclo de Vida (Modigliani–Brumberg; Ando–Modigliani), el consumo se suaviza intertemporalmente bajo supuestos estándar. Aquí proponemos una versión neuro-modulada en la que el factor de descuento y el horizonte efectivo dependen del estado dopaminérgico, del estrés y del control prefrontal, alterando la dinámica de consumo/ahorro respecto del benchmark.

El LCH asume agentes racionales que:

1. Conocen su esperanza de vida
2. Tienen expectativas sobre sus ingresos futuros
3. Pueden endeudarse y prestar a una tasa de interés dada
4. Buscan maximizar su utilidad total a lo largo de su vida

¹ LCH = teoría de consumo-ahorro de hogares (Modigliani–Brumberg; Ando–Modigliani). No confundir con Modigliani–Miller (1958, 1963), que trata sobre la irrelevancia de la estructura de capital corporativa bajo supuestos de mercados perfectos.

Ecuación Simplificada del Consumo en el LCH (sin interés):

$$C_t = \frac{W_t}{EL_t},$$

Donde:

- C_t = Consumo en el periodo t
- EL_t = Esperanza de vida restante del individuo
- W_t = Riqueza total del individuo en el periodo t (incluye activos y el valor presente de los ingresos laborales futuros esperados)

Para llegar a esta forma simple, el LCH clásico hace estas suposiciones (como en Modigliani y Brumberg, 1954):

- Tasa de interés $r = 0$ (no hay rendimientos por ahorro ni costos por endeudamiento; simplifica el descuento financiero).
- Factor de descuento subjetivo $\beta \approx 1$ (poca o ninguna impaciencia; el individuo valora el futuro casi igual que el presente).
- No hay herencias (bequest motives): el individuo consume todos sus recursos al final de la vida (no deja legado).

Estos supuestos eliminan complejidades como incertidumbre o preferencias variables, enfocándose en el "suavizado" puro.

Función de Utilidad Intertemporal Original:

$$\max U = \sum_{t=0}^T \beta^t u(C_t).$$

Donde:

- T = Horizonte de vida

- β = Factor de descuento (refleja la preferencia temporal del individuo, asumiéndose constante)
- $u(C_t)$ = Función de utilidad del consumo
- A_0 = Activos iniciales
- Y_t = Ingreso laboral en el periodo t

Los sistemas previsionales y las políticas económicas que promueven el ahorro a largo plazo se construyen sobre la base de que los individuos operan, al menos aproximadamente, bajo la lógica del LCH, con una capacidad de planificación y una preferencia temporal razonablemente estables a lo largo de décadas. Un supuesto que resulta potencialmente heroico.

Maximización de Utilidad Intemporal:

$$\max U = \sum_{t=0}^T \beta^t u(C_t)$$

Sujeto a (restricción presupuestaria de por vida):

$$\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} = A_0 + \sum_{t=0}^T \frac{Y_t}{(1+r)^t}$$

La crítica neurobiológica fundamental

La nanoeconomía formula una crítica disruptiva pero rigurosamente fundamentada al supuesto de estabilidad racional en las preferencias temporales, eje central de modelos como la Hipótesis del Ciclo de Vida (LCH). La neurociencia ha revelado que el horizonte temporal de los individuos puede variar drásticamente debido a estados neurobiológicos.

El estudio de Petry, Bickel y Arnett (1998) es paradigmático: individuos adictos a opioides presentan un horizonte temporal de solo 9 días, frente a 4.7 años en un grupo de control sano, una diferencia de 190 veces. Este hallazgo resulta potencialmente disruptivo para los modelos que asumen una planificación intertemporal estable a lo largo de décadas, como el LCH y los sistemas previsionales.

Desde la nanoeconomía, esta patología del horizonte temporal se explica por la compresión neurobiológica de la función de utilidad intertemporal. La disfunción en circuitos neuronales clave (como el eje amígdala-PFC y el sistema dopaminérgico) bajo estrés o adicción, reduce drásticamente la capacidad de ponderar recompensas futuras.

Incorporación del CIII en el LCH

Para incorporar esta realidad, la nanoeconomía propone un Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (**CIII**) para cada agente i . Este CIII mide el grado de desviación de la consistencia intertemporal ideal del individuo, derivada de sus expectativas subjetivas.

Introducimos un factor de ajuste δ_{it} que se relaciona con el $CIII_{it}$ y θ_{it} de la siguiente manera:

El factor de descuento neuromodulado δ_{it} se deriva directamente de la tasa de descuento θ_{it} previamente definida, mediante la relación estándar:

$$\delta_{it} = e^{-\theta_{it}} = e^{-(A_{it} \times h^c_{it})}$$

Esto asegura coherencia con el marco conceptual del CIII y evita introducir parámetros redundantes.

Cabe mencionar que un $CIII_{it}$ alto (mayor inconsistencia) se traduce en un δ_{it} bajo, lo que implica una mayor impaciencia o un menor valor para las recompensas futuras.

LCH con Nanoeconomía (Factor de Descuento Neuro-Modulado):

$$\max U_i = \sum_{t=0}^T \left(\prod_{\tau=0}^{t-1} \delta_{i\tau} \right) u(C_{it}) = \sum_{t=0}^T \left(\prod_{\tau=0}^{t-1} e^{-\theta_{i\tau}} \right) u(C_{it}),$$

$$\prod_{\tau=0}^{-1}(\cdot) = 1.$$

\max U_i = \sum_{t=0}^T \left(\prod_{\tau=0}^{t-1} \delta_{i\tau} \right) u(C_{it}) = \sum_{t=0}^T \left(\prod_{\tau=0}^{t-1} e^{-\theta_{i\tau}} \right) u(C_{it})

$\prod_{\tau=0}^{-1}(\cdot) = 1$ (para $t=0$)

Donde:

- $CIII_{it} \approx 0$ (es decir, $A_{it} \approx 1$) indica consistencia intertemporal interna. En este caso, $\theta_{it} = h_{it}$ y $\delta_{it} = e^{-h_{it}}$, recuperando un comportamiento racional consistente con las expectativas de mortalidad.
- $CIII_{it} > 0$: Indica inconsistencia intertemporal interna ($A_{it} > 1$). Cuanto mayor es A_{it} , mayor es θ_{it} y menor es δ_{it} , lo que significa que el agente valora mucho menos el futuro. Para un adicto con un horizonte temporal de 9 días, su A_{it} sería extremadamente alto, llevando a un δ_{it} cercano a cero y, por tanto, a un descuento casi total de cualquier recompensa más allá de ese período corto.

Implicaciones macroeconómicas

La inclusión del CIII en el Modelo del Ciclo de Vida permitiría una comprensión mucho más precisa y granular de las decisiones de ahorro y consumo, revelando por qué un modelo universal de planificación a largo plazo falla en explicar el comportamiento de poblaciones con "patologías" neuronales que afectan la preferencia temporal.

De esta manera se ha transformado exitosamente el LCH de un modelo con preferencias temporales estáticas a uno donde **el descuento intertemporal emerge dinámicamente de estados neurobiológicos medibles**. Esto es exactamente lo que se propone con la nanoeconomía: proveer fundamentos biológicos con el potencial para mejorar teorías económicas existentes.

Implicaciones macro específicas:

- Destrucción cuantificable de capital humano: Adictos operan con horizontes temporales 190x más cortos
- Subestimación de volatilidad del consumo: Los modelos que ignoran estas patologías sobreestiman sistemáticamente tasas de ahorro
- Fallas predictivas en crisis de salud pública: La epidemia de opioides en EE.UU. estuvo estrechamente asociada al retiro de aproximadamente 2 millones de personas de la fuerza laboral (Krueger, 2017), concentrándose especialmente en hombres blancos de mediana edad sin educación universitaria (Case & Deaton, 2015, 2017). Mientras tanto, modelos DSGE proyectaban pleno empleo, ignorando completamente los shocks neurobiológicos que comprimen horizontes temporales y destruyen capital humano. Case & Deaton documentan un incremento sin precedentes en "muertes por desesperación" (suicidios, sobredosis, enfermedades hepáticas relacionadas con alcohol) que coincide temporalmente con el declive en participación laboral, sugiriendo vínculos causales entre estados neurobiológicos y agregados macroeconómicos que los modelos convencionales no capturan.

Las adicciones pueden afectar sensiblemente la acumulación de capital a nivel individual (micro), pero también a nivel agregado (macro), pues la macroeconomía es, en parte, la agregación de individuos sujetos a estas dinámicas.

Esto subraya la urgencia de una reconstrucción nanoeconómica para que la economía pueda abordar problemas del mundo real con mayor predictibilidad y eficacia. Explicando, por ejemplo, la potencial licuación de capital humano, menores tasas de ahorro y acumulación de capital, y, por ende, tasas de crecimiento potencial (en steady state) menores.

Y esto fue solo un ejemplo esbozado en poco más de 2 horas. A modo ilustrativo del potencial de repensar a la disciplina desde este ángulo.}

Comparativa y Consecuencias para el LCH

Característica	LCH de Modigliani (Original)	LCH con Nanoeconomía (Actualización Conceptual)
Racionalidad Intertemporal	Asume agentes racionales que optimizan su consumo a lo largo de décadas, con una preferencia temporal estable.	La racionalidad intertemporal es variable, neurobiológicamente modulada por estados como la adicción o el estrés.
Horizonte Temporal	Extenso y relativamente constante para la planificación de toda la vida (ej., jubilación).	Variable y dependiente de estados neurobiológicos; puede comprimirse drásticamente (ej., 9 días en adictos).
Factor de Descuento (β)	Constante para un individuo, reflejando su preferencia por el presente sobre el futuro.	Modulado dinámicamente por $\delta_{it} = e^{-\theta_{it}} = e^{-(A_{it} \times h_{it})}$. Variando por individuo y estado neurobiológico en cada momento
Decisiones de Ahorro/Consumo	Los individuos ahorrarán para suavizar el consumo a lo largo de su vida, especialmente para la jubilación.	CIII _t alto → δ_t bajo → consumo impulsivo y menor ahorro, impactando la acumulación de riqueza.
Capital Humano	Se construye a través de la inversión en educación y salud, bajo decisiones racionales a largo plazo.	Las patologías del horizonte temporal (ej: adicciones) son una “destrucción cuantificable de capital humano”, pues socavan la capacidad de inversión futura en uno mismo.
Implicaciones para Políticas Previsionales	Los sistemas de jubilación se diseñan asumiendo que los individuos ahorrarán para la vejez de forma racional y anticipada.	La heterogeneidad en el CIII implica que grandes segmentos de la población pueden no ahorrar lo suficiente para su jubilación, requiriendo políticas mucho más adaptadas o intervenciones directas.

Instancia II de la Potencial Utilidad de la Nanoeconomía:

Nanoeconomía del fenómeno “Overshooting” (Dornbusch)

Nivel Nano: Neuroeconomía del Overshooting

Hipótesis central: La sobrereacción agregada de los mercados tiene como base patrones neurofisiológicos comunes, especialmente en situaciones de amenaza o incertidumbre.

La amígdala actúa como sistema de alerta temprana y sobreactiva el eje amígdala–PFC (corteza prefrontal), desbalanceando la regulación ejecutiva. Haciendo que el individuo se comporte de manera exageradamente irracional. Esto reduce el horizonte temporal de decisión, activando heurísticas rápidas (tipo Sistema 1, Kahneman), priorizando la evitación de pérdidas (aversión al riesgo/pérdidas).

En momentos de eventos internacionales inesperados (guerras, quiebras, pandemias), se genera un pico dopaminérgico negativo (aversión anticipada) que fuerza decisiones de desinversión o cobertura defensiva, sin procesamiento racional completo.

Nivel Micro: Umbrales Agregados y Sensibilidad Cohorte-Dependiente

En la curva de oferta/demanda, el overshooting emerge cuando ciertos umbrales de cambio conductual se alcanzan. Por ejemplo, si un 5% de los agentes con mayor aversión al riesgo liquidan posiciones, pueden dispararse reacciones en cascada por aprendizaje imitativo y señales de segundo orden. Este proceso genera un umbral de transición de fase: de un mercado estable a una sobrerreacción explosiva por acople emocional colectivo, una suerte de “liminaridad psicológica” distribuida.

Diferentes tramos de la curva reflejan fenotipos cognitivos heterogéneos: traders institucionales con mayor control prefrontal versus traders minoristas dominados por impulsos límbicos. De ello se desprende la siguiente hipótesis testeable.

Hipótesis Testable: Inversores con mayor función ejecutiva deberían exhibir menor volatilidad en decisiones y mayor resistencia a pánicos. Estudios futuros podrían correlacionar biomarcadores de función prefrontal (PFC) y niveles de neurotransmisores/hormonas (ej. dopamina, cortisol, etc) con desempeño de mercado a mediano y largo plazo. En el mejor de los casos, erigiéndose como variables explicativas significativas de los diferenciales de performance entre dichos inversores.

Ejemplo arquetípico (Ilustrativo): Inversores con retornos consistentemente superiores al promedio (como Warren Buffett) podrían no distinguirse sólo por un umbral cognitivo general suficiente, sino también por funciones ejecutivas excepcionales que

inhiben respuestas de sobrerreacción, otorgándoles inmunidad relativa a la ciclotimia bursátil de corto plazo. Estas capacidades, ubicadas en percentiles superiores, podrían ser fundamentales para sostener un “view” racional de largo plazo, constituyendo un potencial diferencial competitivo explicable neurobiológicamente.

Este vector de investigación podría constituir una avenida promisoria para explicar por qué algunos agentes paniquean y otros no, cómo se compone el cohorte completo de las curvas de oferta y demanda, e incluso qué distingue estructuralmente a un inversor *top* de uno promedio.

Nivel Macro: El Overshooting como Epifenómeno Sistémico

Dornbusch (1976) lo modeló como un desbalance entre las velocidades de ajuste de precios vs. expectativas. Este marco explica **por qué esas velocidades están desbalanceadas** en términos neurológicos.

La sobrerreacción del tipo de cambio no es solo una cuestión de "rigideces nominales" o "expectativas adaptativas", sino una **manifestación termodinámico-computacional** de una red de nodos cognitivos operando bajo estrés.

El equilibrio posterior (corrección del overshooting) responde a la **recuperación paulatina del control ejecutivo colectivo** –la normalización dopaminérgica y la reintegración del PFC como moderador de decisiones.

Síntesis Fractal

Escala	Descripción	Dinámica Dominante
Nano	Circuitos dopaminérgicos y límbico-corticales	Disparadores emocionales y heurísticos rápidos
Micro	Curvas de oferta y demanda con agentes heterogéneos	Efectos de red y activación umbral

Macro	Variables agregadas como tipo de cambio y precios	Sobrereacción + corrección post-shock
--------------	---	---------------------------------------

Instancia III de la Potencial Utilidad de la Nanoeconomía:

Nanoeconomía de parámetros exógenos keynesianos: propensión marginal a consumir (y ahorrar)

Nivel Nano: “Endogeneizando” los parámetros exógenos de Keynes

La nanoeconomía permite, por primera vez, modelizar desde una base empírica y fisiológica lo que antes eran entelequias exógenas en la teoría macroeconómica. Tal es el caso de la propensión marginal a consumir (y ahorrar), un concepto clave en el pensamiento de Keynes, tradicionalmente tratado como constante. Desde una perspectiva nanoeconómica, dicha propensión emerge como una variable dinámica y mensurable, determinada por el estado neurobiológico dinámico del agente. El tono dopaminérgico, el estrés agudo, la fatiga cognitiva o incluso la carga hormonal modulan de forma significativa las tasas de descuento intertemporal –y, por ende, las decisiones de consumo y ahorro–.

La propensión marginal a consumir (PMC), un parámetro exógeno y estático en la formulación keynesiana clásica (Keynes, 1936), emerge desde la nanoeconomía como una variable endógena y dinámica. Proponemos una ecuación de consumo neuromodulada donde la PMC es función del Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna ($CIII_i$)

La Ecuación del Consumo Neuromodulada
(2025)

$$C_t = C_{a_t} + c(CIII_t) * Y_{d_t}$$

donde $c(\cdot)$ es una función creciente y monótona

La propensión marginal a consumir (y ahorrar) como una función del Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (neuromodulado, potencialmente dinámico). Donde un $CIII_t$ elevado, indicativo de mayor cortoplacismo neurobiológico, se traduce en una PMC_t más alta

La especificación empírica de la forma funcional exacta $c(CIII_t)$ –ya sea lineal, no lineal o por umbrales– queda fuera del alcance de este trabajo teórico. Nuestro objetivo aquí es establecer el principio fundamental y la plausibilidad de esta relación, sentando las bases para futuros trabajos de calibración empírica. Esta instanciación sirve principalmente para demostrar el poder generativo del marco *nanoeconómico* para revisar primitivas económicas fundamentales.

Cabe aclarar que, para el caso en el que se requiera agregación a nivel macroeconómico, se sugiere utilizar el CIII agregado ($CIII_t$) como media ponderada por tamaño de cohorte, u otra metodología de agregación alternativa que se ajuste mejor a la evidencia empírica y estructura demográfica específica. La forma funcional óptima de agregación –ya sea media simple, mediana, o ponderación por propensión marginal a consumir heterogénea– deberá determinarse empíricamente en trabajos subsiguientes, considerando posibles no-linealidades y efectos de composición en la respuesta agregada.

Más allá de ello, esta proposición está respaldada por evidencia neurocientífica robusta (ver Tabla Suplementaria 1 para un resumen de los estudios clave). El estrés agudo, reflejado en elevaciones de cortisol, se ha asociado con mayores tasas de descuento temporal y con una preferencia acentuada por recompensas inmediatas (Takahashi et al., 2011; Porcelli & Delgado, 2017). De manera similar, la fatiga cognitiva debilita el control ejecutivo y aumenta la probabilidad de elecciones impulsivas y hedónicas, como se ha mostrado en contextos de consumo (Shiv & Fedorikhin, 1999). Asimismo, la activación dopaminérgica mesolímbica amplifica los procesos de “wanting” hedónico, lo que puede favorecer conductas de gasto más impulsivas (Leyton et al., 2002, 2014). En conjunto, estos hallazgos sugieren que la función de consumo agregado no es estable, sino que depende dinámicamente del estado neurobiológico de la población.

Tabla Suplementaria 1. Evidencia empírica que sostiene la visión nanoeconómica

Fenómeno	Estudio	Hallazgo clave
Estrés → Consumo inmediato	Takahashi et al. (2011)	Cortisol ↑ predice mayor descuento temporal; asociación longitudinal hasta 6 meses
	Porcelli & Delgado (2017)	Estrés agudo ↑ preferencia por recompensas inmediatas; ↓ sensibilidad a feedback; (Se podría inferir ↑CIII, a los efectos del actual trabajo)
Fatiga cognitiva / Carga mental	Shiv & Fedorikhin (1999) – <i>Heart and Mind in Conflict</i>	Alta carga cognitiva ↑ elecciones impulsivas y hedónicas (ej. torta vs. ensalada)
Dopamina y gasto impulsivo	Leyton et al. (2002, 2014) – Estudios PET	Dopamina mesolímbica ↑ → intensifica wanting hedónico; asociado a conductas más impulsivas (Se podría inferir ↑CIII, a los efectos del actual trabajo)
Discounting en adicciones	Daniel et al. (2023) – Art-delivered EFT	Intervención artística reduce CIII en adictos a opioides (↓en descuento temporal), testable para políticas de rehabilitación en LCH.

Nivel Nano: De constantes exógenas a funciones evolutivas

No sólo se trata de endogeneizar estos parámetros, sino también de dotarlos de naturaleza dinámica. La propensión marginal a consumir puede variar de un momento a otro según el estado fisiológico y emocional del agente: el estrés eleva el cortisol y comprime el horizonte temporal; la fatiga reduce el control ejecutivo y favorece gratificación inmediata; la activación dopaminérgica intensifica el "querer" hedónico. En conjunto, esto redefine a la PMC no como una constante estructural exógena, sino como una función estado-dependiente, con profundas implicancias para los modelos agregados.

En suma, al mostrar que la propensión marginal a consumir no es un input fijo sino una función dependiente del estado fisiológico y cognitivo del agente, la nanoeconomía no solo enriquece el modelado microeconómico, sino que provee las bases para un rediseño radical de la macroeconomía agregada. Keynes intuía el rol de la psicología en la economía; la nanoeconomía provee las herramientas para modelarlo con precisión quirúrgica.

Una PMC neuro-modulada no es una metáfora: podría ser el primer paso hacia un Keynes mejorado, algo potencialmente digno de una ciencia dura.

Predicción Testeable:

Países con mayor cortisol poblacional (post-crisis) mostrarán mayor PMC que modelos keynesianos predicen. O sea, menores tasas de ahorro en términos relativos a períodos previos y a países comparables.

Estas aplicaciones demuestran el potencial heurístico del marco. A continuación, formalizamos su estructura como programa de investigación

BLOQUE III: visión transformadora

Elegancia fractal y campo unificado: hacia una teoría universal

Elegancia fractal: un marco unificado multi-escala

La nanoeconomía opera bajo una lógica fractal donde patrones neurobiológicos individuales se replican en dinámicas agregadas. La impaciencia impulsada por recompensa a nivel individual (nano) se refleja en decisiones erráticas de mercado (macro). Decodificar estos nano-algoritmos –cómo el estrés amplifica sensibilidad a recompensa– permite comprender dinámicas en cascada desde decisiones individuales hasta mayor comprensión de fenómenos agregados como la crisis sub-prime de 2008.

Si utilizamos los hechos estilizados proporcionados por la neurociencia –cómo las dinámicas dopaminérgicas cambian bajo incertidumbre– podríamos actualizar significativamente la teoría económica:

- Nivel Estático: Elecciones puntuales (\$10 ahora vs. \$15 después) vinculadas a estados específicos del sistema de recompensas

- Nivel Dinámico: Hábitos de elección (siempre elegir "ahora") mientras el sistema refuerza estos patrones
- Nivel Agregado: Sociedades con sesgo temporal hacia corto plazo que exhiben mayor volatilidad financiera y menor inversión

Esto no es ajustar modelos existentes: es reconstruirlos desde fundamentos neurobiológicos hacia arriba.

Hacia la unificación disciplinar

Esta elegancia fractal no es solo conceptual sino predictiva. Si sesgos cortoplacistas y emocionalmente reactivos (nano) pueden ser activados por eventos específicos (macro), disparando escaladas de irracionalidad, existe espacio para teorías unificadas. Simular cómo umbrales críticos de cortisol o dopamina en cohortes específicas precipitan dinámicas sistémicas no solo es plausible, sino una vía fértil para modelos con poder anticipatorio.

Los mercados no son abstracciones sino agregados de redes neurales reales. Comprender la dinámica nano de esas redes y su comportamiento agregado es fundamental para una comprensión superior de fenómenos económicos.

Factibilidad tecnológica y aplicaciones inmediatas

Convergencia tecnológica

El marco propuesto puede apalancarse completamente en tecnologías emergentes que crecen geométricamente: IA, machine learning, procesamiento avanzado de imágenes, y big data neuroeconómico. Esto constituye una plataforma de desarrollo teórico donde es posible identificar patrones neuronales en decisiones financieras, combinando mapeo cerebral con análisis de grandes datasets para extraer insights escalables de nano a macro.

Pruebas de concepto validadas

Estudios recientes validan estas conexiones:

- Kuhnen & Knutson (2011): En tareas financieras de laboratorio, la activación anticipatoria del núcleo accumbens (NAcc), asociada a estados afectivos de aproximación/excitación, sesga la decisión hacia opciones de mayor riesgo, mientras que la activación de la ínsula –vinculada a ansiedad/evitación– induce la dirección contraria. En términos de Kahneman, esto refleja un desplazamiento transitorio del control deliberativo del Sistema 2 hacia el Sistema 1 rápido y afectivo, produciendo una heurística del afecto que incrementa la probabilidad de decisiones “irracionales” entendidas estrictamente como desviaciones del benchmark normativo de utilidad esperada y consistencia temporal. Prospect Theory ayuda a enmarcar estas desviaciones, describiendo asimetrías sistemáticas en la valoración de ganancias y pérdidas. Los autores sugieren que este mecanismo individual podría, junto con otros factores, contribuir a dinámicas colectivas como burbujas o episodios de volatilidad, aunque dicha conexión no se prueba empíricamente en mercados reales en dicho estudio (fuera de alcance del mismo).
- Sokol-Hessner et al. (2009): La reapreciación cognitiva (regulación emocional explícita) reduce el parámetro de aversión a pérdidas (λ) estimado en tareas de elección y disminuye la reactividad amigdalar, con mayor implicación prefrontal. Resultado: menor sesgo pérdida-aversión y decisiones más cercanas al benchmark bajo el mismo entorno informacional; evidencia directa de que heurísticas afectivas (Sistema 1) pueden atenuarse vía control deliberativo (Sistema 2).
- Bickel et al. (2011): En un ensayo controlado con individuos con historial de adicciones, el entrenamiento de memoria de trabajo mejora desempeño ejecutivo y reduce el descuento temporal (k) frente a controles activos, mostrando que la impaciencia intertemporal no es fija sino neuroplástica. Implicación: parámetros usados por LCH/DSGE (p. ej., β , δ) pueden endogeneizarse vía intervención sobre circuitos fronto-estriatales.

- Knutson et al. (2007): En decisiones de compra simuladas, la actividad del NAcc anticipa la compra, la ínsula responde a precios percibidos como “dolor” y el vmPFC integra ambas señales en un marcador de valor neto *trial-by-trial* que predice la decisión; evidencia de biomarcadores neurales de disposición a pagar, relevantes para la modelización microeconómica.
- Kable & Glimcher (2007): El vmPFC y el estriado codifican el valor subjetivo descontado en elección intertemporal; la señal paramétrica se correlaciona con el parámetro individual de descuento, anclando la impaciencia en circuitos de valoración y ofreciendo base neural para calibrar tasas de descuento y funciones de utilidad a nivel individual.
- De igual modo, Shestakova, Kopytin y Simova (2024) exploraron la neuroplasticidad en la toma de decisiones económicas mediante una tarea tipo *bandit* con estímulos auditivos y distintas probabilidades de recompensa. A través de EEG, mostraron que la experiencia de elección activa y el refuerzo producen reorganización en la corteza sensorial, modulando la respuesta a pérdidas y ganancias. Esta evidencia sugiere que incluso niveles perceptivos tempranos del procesamiento neuronal son plásticos frente a la dinámica de aprendizaje por refuerzo, lo que refuerza la tesis nanoeconómica de que la toma de decisiones no es estática sino modulada por estados neurofisiológicos. Implicación para la nanoeconomía: la plasticidad sensorial puede ser un mecanismo basal adicional mediante el cual parámetros económicos (ej. tasas de descuento o sensibilidad al riesgo) se endogeneizan dinámicamente en función de la experiencia.

Limitaciones metodológicas importantes: Los estudios neurocientíficos típicamente operan con muestras pequeñas ($n=20-50$), en entornos de laboratorio controlados que pueden diferir de decisiones económicas reales, y exhiben heterogeneidad individual significativa en respuestas neurales. Sin embargo, la convergencia de hallazgos a través de múltiples laboratorios, paradigmas y poblaciones fortalece la robustez de estas conexiones fundamentales.

Conclusión operativa: Estas evidencias convergen en un punto: los parámetros centrales de la elección económica (riesgo, pérdidas/ganancias, descuento temporal) son medibles, modulables y entrenables mediante estados afectivos y control ejecutivo. Si bien es necesario explorar con rigurosidad cómo todos estos efectos se agregan –particularmente qué proporción de población requiere cambios neurobiológicos para generar efectos macroeconómicos detectables– esto viabiliza reconstruir modelos económicos sobre primitivas neurobiológicas con identificación experimental y agenda de intervención. Terreno teórico fértil.

Posibles aplicaciones fértiles

1. Neurobiología de la Rigidez de Precios

- Mecanismo causal: Resistencia asimétrica a caídas de precios/salarios explicada por circuitos de aversión a pérdidas (amígdala→PFC), no solo rigideces institucionales.
- Implicaciones: Casos históricos (Japón, Argentina) reinterpretados como epifenómenos de hardware cognitivo.
- Políticas neuro-informadas: Reformas con transiciones graduales que minimicen activación de amenaza neural.

2. Instituciones financieras neuro-informadas

- Scoring crediticio neuro-informado: Bancos mejorando evaluación de riesgo crediticio basándose en mejoras medibles de funciones ejecutivas tras rehabilitación o protocolos de fortalecimiento de hábitos, reflejando reducciones en el CIII (Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal) según el modelo LCH neuromodulado.
- Política monetaria anticipatoria: Bancos centrales ajustando tasas según indicadores de estrés poblacional antes de que se manifieste el pánico en mercados.

- Circuit-breakers neurobiológicos: Sistemas automáticos activados por biomarcadores de pánico que superan umbrales críticos predefinidos.
- Trading neuro-adaptativo: Algoritmos que incorporan estados neurobiológicos poblacionales en tiempo real.

3. Implicancias para Formación y Currícula Educativa

- Doctorados en economía incorporando neurociencia y ciencia de datos en mayor profundidad.
- Curvas de oferta/demanda derivadas de distribuciones heterogéneas de fenotipos cognitivos.
- Nuevos perfiles interdisciplinarios con capacidad de traducción entre silos.

Herramientas tecnológicas disponibles

- fMRI de alta resolución temporal y espacial.
- Biomarcadores hormonales en tiempo real.
- Machine learning para patrones cerebrales.
- Análisis de big data neuroeconómico.

Respuesta a críticas fundamentales

Naturalmente, el modelado neuronal con resolución económica enfrenta desafíos significativos. Como señalan Bernheim (2009) y Gul & Pesendorfer (2008), la neuroeconomía ha sido criticada por problemas de validez externa y de agregación que la nanoeconomía debe abordar con sistematicidad. Entre las preocupaciones destacadas en esta literatura se incluyen el alto costo de los datos, el ruido inherente a las mediciones cerebrales, y la dificultad de escalar de niveles neuronales a fenómenos macroeconómicos. Sin embargo, no necesitamos isomorfismo perfecto: basta con

isomorfismos funcionales que permitan modelar tensiones, shocks y retroalimentaciones con mayor realismo que los actuales axiomas newtonianos, irreales y obsoletos.

El cuello de botella no es la tecnología, sino la falta de un marco unificador que traduzca hallazgos neuronales en principios económicos. Esto implica una integración organizacional estratégica, no un esfuerzo titánico. Entender las implicancias de los descubrimientos a nivel nano en los modelos que usamos y enseñamos puede generar, con bajo costo marginal, una economía mucho más coherente, predictiva y viva.

Por otro lado, la existencia de desafíos –incluso considerables– no debería ser razón suficiente para abandonar esta iniciativa. La macroeconomía, disciplina que usamos a diario millones de personas, enfrentó (y aún enfrenta) obstáculos enormes que requirieron décadas de trabajo acumulado, y sin embargo nunca se la descartó.

Esa misma macroeconomía, hoy aceptada globalmente, asumía –y todavía asume– agentes homogéneos y racionales completamente irreales, pero eso no impidió que resultara útil para pensar y modelar la dinámica de los mercados. Muchas de sus estimaciones eran –y son– aproximadas. Y aún más en décadas pasadas, cuando la tecnología no permitía mediciones más precisas ni sistemas de control confiables. Por ejemplo, las mediciones del PIB distaban de ser exactas, y aun así resultaban operativas. De hecho, hoy en día, la liberación de dopamina es mucho más medible que el PIB –ni hablar cuando se lo compara con cómo se medía este en los años 60.

Hago hincapié en esto porque no corresponde esperar que este trabajo resuelva todas las vicisitudes que se presentarán, en caso de que la *nanoeconomía* avance como programa de investigación en términos de Lakatos. Este trabajo no propone una teoría cerrada, sino un programa de investigación en sentido lakatosiano, con un núcleo duro neurobiológico y un cinturón protector de modelos falsables. Esto es exactamente cómo avanzan las ciencias maduras.

1. Creer que tendría las capacidades para hacerlo, advirtiendo todos los desafíos emergentes, sería incurrir en lo que Hayek llamó ‘fatal arrogancia’: la ilusión de que una mente individual puede planificar o predecir completamente el comportamiento

de sistemas complejos. La realidad es demasiado compleja como para pretender anticipar todos los efectos dinámicos emergentes de sistemas complejos en interacción. Sería de una inocencia intelectual supina creer que este trabajo deba predecirlos de forma quasi-perfecta. Reconocer los límites epistémicos no es debilidad - es rigor intelectual. Keynes no resolvió todos los problemas de la macroeconomía cuando escribió la Teoría General. Simplemente ofreció un marco que muchos consideraron mejor que "La Ley de Say" para entender las depresiones económicas. Y por eso fue adoptado y extendido.

2. El espíritu de este trabajo no es, ni debería ser ese. Basta con que el programa sea fértil, tecnológicamente viable y genere hipótesis falsables con aplicaciones relevantes –sobre todo en disciplinas actualmente estancadas– para justificar plenamente su desarrollo.

Reconocer estas limitaciones no debilita su potencial: es justamente lo que lo alinea con las exigencias de una ciencia madura.

3. Incluso la crítica de la complejidad computacional pierde fuerza al observar las tendencias tecnológicas. Si hoy modelar heterogeneidad neurobiológica resultara costoso en algunos casos, se puede optar por versiones simplificadas. No se trata de imponer la nanoeconomía, sino de incorporarla allí donde su utilidad marginal supere la del paradigma actual de parámetros estáticos y exógenos. Y eventualmente, la capacidad de cómputo eliminará muchas de estas restricciones. La Ley de Moore ya garantiza que este argumento tiene fecha de caducidad.

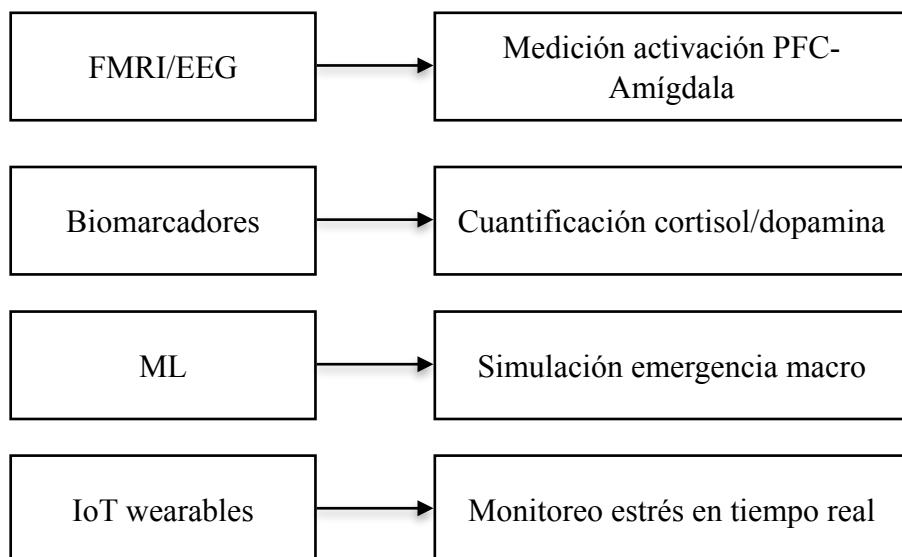
A continuación, se sintetizan algunas objeciones comunes y la respuesta estratégica desde el enfoque nanoeconómico:

Objeción	Respuesta nanoeconómica
"Es muy complejo"	La macro también lo era. Hoy es pilar central.
"Los datos son ruidosos"	Hoy medimos dopamina mejor que el PIB en 1960. Las series de medición de consumo y PIB también son ruidosas, y sin embargo son útiles y no disputadas en la práctica.
"Demasiado ambicioso"	Es un programa de investigación, no una teoría cerrada.
"Es computacionalmente inviable"	No siempre. Se puede simplificar. Además, la capacidad de cómputo crece exponencialmente.
"Depende de tecnología prohibitivamente costosa"	No necesariamente. La nanoeconomía puede utilizar hallazgos neurobiológicos ya existentes para, por ejemplo, recalibrar modelos históricos con parámetros neurofisiológicos conocidos y así evaluar si mejora su capacidad predictiva. El valor del marco no requiere necesariamente de laboratorios costosos, sino principalmente de integración inteligente de evidencia ya disponible.
"No es falsable/testeable"	Al contrario: genera hipótesis específicas y medibles (ej: países con mayor cortisol poblacional post-crisis mostrarán mayor PMC que modelos keynesianos predicen). Cada aplicación produce predicciones cuantificables.
"Los mecanismos neurales son demasiado complejos para modelar"	No necesitamos mapear cada neurona. Basta con capturar algoritmos esenciales de maneratractable, como ya hacemos en macro (no modelamos cada firma individual).
"No estás resolviendo el problema de la agregación, no se especifica cómo se haría"	No es estrictamente necesario, pues la nanoeconomía puede y debería servir inicialmente para revisar modelos microeconómicos. E incluso individuales, como la Teoría del Ciclo de Vida de Modigliani (LCH neuro-modulado con CIII podría ser una contribución valiosa por sí misma). O incluso el CIII a nivel "standalone". Ambas pruebas cabales de que no necesariamente se requiere resolver el problema de la agregación para contribuir sustancialmente a modelos económicos relevantes
"La agregación de heterogeneidad neurobiológica es intractable"	Usamos las mismas técnicas que la macro moderna: distribuciones, agentes representativos con parámetros estado-dependientes, y análisis de equilibrio general heterogéneo. Además, que la agregación no sea perfecta no implica que no pueda resultar en modelos más predictivos. Pues una buena aproximación parsimoniosa puede significar una mejora en la robustez y poder de los modelos. En todo caso, como teoría de segundo orden, se sugiere analizar caso por caso.

"Confunde correlación con causalidad"	La evidencia experimental (ej: manipulación exógena de estrés → cambios en descuento temporal) establece vínculos causales. Además, usamos experimentos naturales y variación exógena en estados neurobiológicos.
"Es reduccionismo que ignora instituciones y cultura"	No elimina factores institucionales, sino que añade una capa causal más profunda. Las instituciones siguen importando, pero ahora entendemos mejor por qué ciertos diseños institucionales funcionan (ej: por qué sistemas de pensiones con auto-enrollment aprovechan sesgos cognitivos).

Problema de la *causalidad inversa* o dinámicas no lineales: Estados neurobiológicos (ej: cortisol alto) pueden ser resultado de condiciones económicas (desempleo), no solo causa. Se sugieren estudios experimentales para aislar causalidad (ej: estudios naturales con cambios en políticas de salud mental) y/o para entender dinámica de potencial retroalimentación (EJ teórico: shock exógeno agregado → Cortisol individual→ amplificación agregada de shock exógeno inicial).

En esta línea, vale la pena revisar algunas de las críticas más influyentes a la incorporación de neurociencia en economía, para precisar cómo la *nanoeconomía* se posiciona frente a ellas.



Críticas clásicas y respuesta desde la nanoeconomía

Las objeciones de Gul & Pesendorfer (2008) y Caplin & Dean (2015) constituyen dos de las críticas más influyentes a la incorporación de neurociencia en la economía. Ambas parten de una defensa de la economía como disciplina autónoma, centrada en los resultados observables (preferencias reveladas), y muestran escepticismo frente al valor explicativo de los datos neuronales. Responder a estas posturas no solo fortalece el marco aquí propuesto, sino que permite trazar con mayor precisión la frontera que la *nanoeconomía* busca superar.

1. Gul & Pesendorfer (2008): “The Case for Mindless Economics”

Postura: Los datos neuronales no deberían modificar la teoría económica, ya que las preferencias reveladas contienen toda la información relevante para modelar decisiones. Lo demás sería considerado ruido biológico sin valor predictivo.

Respuesta desde la nanoeconomía: Esta crítica es válida dentro del marco clásico, pero se vuelve insuficiente al observar que los sistemas que generan esas preferencias pueden estar sistemáticamente distorsionados. Si un individuo con disfunción dopaminérgica valora el futuro 190 veces menos que un grupo control (Bickel et al., 2014), entonces el modelo clásico describe conducta bajo disfunción, no elección libre ni racionalidad estructural. Esto implica que nuestros modelos pueden no estar describiendo solo meras 'preferencias', sino también incluyendo en esa misma bolsa síntomas de patología neurobiológica que son confundidos o atribuidos a la categoría 'preferencias'. Lo que plantea un análisis filosófico del asunto que queda por fuera del alcance de este escrito, pero que se podría resumir en “¿Dónde termina "preferencia auténtica" y dónde empieza "síntoma de patología"?“.

Retomando lo anterior, la nanoeconomía no rechaza el valor de los outcomes observables, sino que propone una teoría del origen computacional y neurofisiológico de esos outcomes. Esto permite distinguir entre decisiones estables y decisiones moduladas patológicamente. Y además, ofrece la posibilidad de cuantificar el impacto

de esas divergencias, por ejemplo, en decisiones de ahorro e inversión, tanto a nivel individual como potencialmente agregado.

2. Caplin & Dean (2015): Neuroeconomics as Reduced Form

Postura: La neuroeconomía debe limitarse a correlaciones empíricas robustas. Derivar modelos estructurales desde la neurobiología sería metodológicamente inseguro.

Respuesta desde la nanoeconomía: La propuesta es exactamente la contraria: construir un marco estructural, no meramente descriptivo. Mientras la neuroeconomía convencional tiende a mapear correlaciones entre estímulos y activaciones cerebrales, la *nanoeconomía* busca modelar directamente los algoritmos funcionales que gobiernan la elección económica. No se trata de reemplazar lo empírico por lo especulativo, sino de dotar a la economía de una arquitectura generativa más realista, superando su actual dependencia de axiomas newtonianos y preferencias tratadas como cajas negras.

En síntesis

Ambas críticas suponen una economía que observa al agente desde fuera, como una entidad cerrada cuyas decisiones son tratadas como datos puros. La *nanoeconomía*, en cambio, parte de una pregunta distinta: ¿qué tipo de arquitectura computacional produce esas decisiones? ¿Qué ocurre cuando ese sistema está biológicamente comprometido, estresado o alterado?

Este enfoque reconoce que los estados neurofisiológicos (estrés, adicción, fatiga, neuroplasticidad) modifican estructuralmente el proceso decisorio. Reconoce que incluso en un mismo individuo las preferencias no son estáticas, sino dinámicas y modulables. Comprender esos mecanismos no invalida el concepto de preferencias, lo profundiza, dotándolo de un sustento empírico y falsabilidad, abriendo la posibilidad de un salto epistemológico potencialmente relevante.

Es así que el objetivo no es invalidar los modelos existentes, sino aportar una capa más basal desde la cual explicar por qué ciertos comportamientos emergen, cómo varían bajo condiciones fisiológicas específicas, y cómo eso repercute en la agregación macroeconómica.

Si la economía aspira a ciencia dura, debe ser capaz de modelar causalmente a sus propios agentes. Y eso exige mirar dentro de la máquina neuronal que los genera.

Programa de investigación y fertilidad heurística

Deconstrucción de Paradigmas

- Crítica fundacional al DSGE: Horizontes temporales son neurobiológicamente contingentes (adictos: 9 días vs. 4.7 años), inyectando heterogeneidad basada en estados biológicos.
- Superación de Economía Conductual: Provee mecanismos causales (dopamina modulando descuento) vs. descripciones de sesgos.
- Deconstrucción de Paradigmas: Esta deconstrucción propone un enfoque dual estratégico que equilibra innovación y viabilidad:
 - ▶ Actualizaciones incrementales para modelos que funcionan razonablemente bien pero tienen limitaciones conocidas (e.g., asumir tasas de descuento estables cuando sabemos que varían dramáticamente con estados neurobiológicos, como en el CIII).
 - ▶ Reconstrucción fundacional para áreas donde los enfoques actuales son inadecuados de base (e.g., modelar comportamiento económico durante epidemias de adicciones que los modelos existentes omitieron por completo, como la crisis de opioides y su impacto en 2 millones de la fuerza laboral).

Así, la nanoeconomía no derriba, sino que fortalece el edificio teórico, priorizando rigor biológico donde más se necesita.

- Resolución de Paradoja de Lucas: Expectativas racionales son biológicamente inviables bajo estrés/adicción.
- Capital Humano Reinterpretado: Adicciones destruyen capital humano vía compresión neurobiológica. Las epidemias de opioides han tenido un vínculo estrecho con el retiro de 2 millones de personas de la fuerza laboral mientras DSGE proyectaban pleno empleo. COVID pudo haber intensificado estas dinámicas, generando shocks permanentes sobre el CIII y parámetros de ahorro de largo plazo.

Nuevos Territorios de Investigación

Línea de Investigación	Ejemplo Concreto
Neuro-macroeconomía	Crisis bursátiles como falla masiva del eje amígdala-PFC en redes de traders
Fundamentos neurales	Rigidencias de precios explicadas por aversión a pérdidas en hardware cognitivo
Diseño institucional	Mecanismos de pre-commitment para individuos con alto CIII, screening de funciones ejecutivas con incentivos para mejora (scoring crediticio favorable, beneficios fiscales por rehabilitación neurobiológica)
Capital humano neuro-informado	Impacto de epidemias adictivas en crecimiento de largo plazo, modelado de shocks permanentes sobre CIII poblacional

Hacia una economía como “ciencia endurecida”

Variables medibles –neurotransmisores, activación cortical– pueden complementar y, cuando es metodológicamente viable, reemplazar proxies conductuales.

Los mercados son agregados de redes neuronales reales, no meras abstracciones platónicas: útiles como modelos, pero limitadas en rigor epistemológico. La nanoeconomía proporciona herramientas para modelos rigurosos y medibles sobre la economía real, donde el pánico bursátil se comprende como tormentas de cortisol

colectivas y el ahorro como función de circuitos dopaminérgicos y activación prefrontal.

Al sustituir gradualmente *proxies* por variables neurofisiológicas observables, se eleva el estándar epistémico y se abre un camino hacia una transición paulatina de la economía –desde una zona más blanda– hacia estándares empíricamente más exigentes, acercándola, bajo validación sistemática y acumulativa, a las ciencias empíricas maduras. Hacia una economía como “ciencia endurecida”.

La nanoeconomía no busca un salto discontinuo a 'ciencia dura', sino un proceso de endurecimiento continuo: cada modelo correctamente calibrado y predictivamente superior con primitivas neurofisiológicas basadas en evidencia empírica "dura" (ej: LCH con CIII) incrementa su rigor epistemológico y testabilidad, al reducir su dependencia de axiomas o premisas cerradas.

Hipótesis Falsables

H1: Historial de adicción → ↑CIII (más cortoplacismo)

- Discriminador: Difiere del agente representativo al capturar distorsión neurobiológica ($A_t > 1$), prediciendo brechas en ahorro intertemporal.
- Refutación: Adictos muestran elecciones intertemporales similares a controles (CIII ≈ 0).
- Observación: Esta hipótesis ya fue validada por múltiples estudios:
 - Kirby, Petry & Bickel (1999): Demostración experimental de que adictos a heroína presentan tasas de descuento significativamente más altas que controles, usando tareas de elección monetaria.
 - Petry, Bickel & Arnett (1998): Adictos a opioides presentan horizontes temporales de 9 días vs 4.7 años en controles (diferencia de 190×).

- Bretteville-Jensen (1999): Adictos activos muestran preferencia por recompensa inmediata 5x mayor que ex-adictos y 10x mayor que controles.
- Bickel et al. (2020): Conceptualización teórica de "Reinforcer Pathology" donde adicción genera acortamiento sistemático del horizonte temporal.
- Bickel et al. (2011): Demostración de que el descuento temporal es neuroplástico y modificable mediante entrenamiento cognitivo.
- Amlung et al. (2017) muestran, en meta-análisis, que el delay discounting se asocia de forma robusta con la severidad de conductas adictivas. En OUD y SUD, revisiones recientes indican que mayor discounting se vincula con peores resultados de tratamiento, aunque los tamaños de efecto son heterogéneos y no necesariamente predicen outcomes laborales.
- Hudson et al. (2023) evidencian que episodic future thinking (EFT) vía arte reduce significativamente el delay discounting (asociado al CIII de este trabajo), lo que sugiere una vía de intervención potencialmente escalable. Implicación nano: Escala fractal a políticas anti-adicción para ↓CIII agregado.

H2: LCH neuromodulado > LCH clásico en individuos con adicciones

- Discriminador: Predice quiebres en trayectorias de ahorro/consumo por CIII alto, endogeneizando vía A_{it} .
- Refutación: No se observan patrones diferenciales vs. controles (ahorro significativo y/o suave pese a adicción significativa).

H3: Tono dopaminérgico alto → mayor gasto impulsivo, menor holding period

- Discriminador: Conecta rasgos motivacionales (dopamina mesolímbica) con horizontes de inversión, prediciendo volatilidad en portafolios.
- Refutación: Perfiles impulsivos mantienen inversiones largas consistentemente (holding >1 año pese a ↑dopamina).

H4: Mayor activación PFC → mayor planificación y ahorro

- Discriminador: Estado ejecutivo como variable de estado, prediciendo ↑ahorro vía inhibición de impulsos ($\downarrow A_t$).
- Refutación: Mejoras en control ejecutivo sin cambios en conducta de ahorro (planificación alta pero consumo impulsivo).

H5: Países con mayor estrés/adicciones → menor tasa de ahorro

- Discriminador: PMC endógena al estado neuro-social, prediciendo \downarrow ahorro vía ↑CIII agregado (e.g., CIII agregado como media ponderada por prevalencia de adicciones (A) en cada grupo i).
- Refutación: Aumento de estrés sin caída de ahorro en condiciones similares (e.g., ↑cortisol pero PMC estable).

H6: Overshooting correlacionado negativamente con activación PFC

- Discriminador: Explica cascadas por composición cognitiva (\downarrow PFC → ↑heurísticas Sistema 1 en cohortes).
- Refutación: Overshoots liderados por agentes con alta autorregulación (PFC dominante pese a shocks).

Conclusión: hacia una reconstrucción generativa de la teoría económica

Este trabajo trasciende la propuesta de una teoría específica para esbozar las bases de un programa de investigación lakatosiano, articulado alrededor de un núcleo duro neurobiológico y protegido por un cinturón de modelos falsables y refinables. Lejos de ser una debilidad, el reconocimiento explícito de sus limitaciones actuales –en agregación y medición– es lo que alinea este programa con los estándares de rigor de una ciencia empírica madura, que avanza reconociendo sus fronteras para expandirlas de manera sistemática.

La contribución fundamental reside en demostrar que un conjunto parsimonioso de primitivas neurofisiológicas medibles –desde estados dopaminérgicos y niveles de cortisol hasta la integridad del control prefrontal– puede servir como base común para actualizar y enriquecer teorías económicas diversas. Desde la Hipótesis del Ciclo de Vida y el modelo de *overshooting* hasta la propensión marginal a consumir keynesiana, estas primitivas ofrecen un sustrato causal unificado. El Coeficiente de Inconsistencia Intertemporal Interna (CIII) encarna esta visión: una herramienta concreta que transforma un constructo psicológico en una variable cuantificable, tendiendo así un puente definitivo entre la neurociencia y la modelización económica formal.

En esencia, el valor de este marco no estriba en derrocar el edificio teórico existente, sino en proporcionarle los cimientos biológicos que siempre le faltaron. De modo análogo a cómo la teoría atómica confirió a la química un poder predictivo y explicativo radicalmente superior sin invalidar sus leyes emergentes, la nanoeconomía no busca reemplazar los modelos económicos, sino dotarlos de una base nano-fundacional más realista y robusta.

Por consiguiente, la métrica adecuada para evaluar este programa no es su capacidad predictiva inmediata y total –un estándar irrazonable para cualquier marco generativo– sino su fertilidad heurística: su potencia para generar hipótesis novedosas, falsables y relevantes. El CIII y las aplicaciones aquí esbozadas demuestran de manera elocuente que este potencial es no sólo real, sino urgente y necesario para iniciar de lleno la transición de la economía de una ciencia social a una ciencia dura.

Referencias bibliográficas

- Camerer, C., Loewenstein, G., & Prelec, D. (2005). Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics. *Journal of Economic Literature*, 43(1), 9–64. <https://doi.org/10.1257/0022051053737843>
- Bernheim, B. D. (2009). Behavioral welfare economics. *Journal of the European Economic Association*, 7(2–3), 267–319. <https://doi.org/10.1162/JEEA.2009.7.2-3.267>
- Bickel, W. K., Yi, R., Landes, R. D., Hill, P. F., & Baxter, C. (2011). Remember the future: Working memory training decreases delay discounting among stimulant addicts. *Biological Psychiatry*, 69(3), 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.08.017>
- Bretteville-Jensen, A. L. (1999). Addiction and discounting. *Journal of Health Economics*, 18(4), 393–407. [https://doi.org/10.1016/S0167-6296\(98\)00057-5](https://doi.org/10.1016/S0167-6296(98)00057-5)
- Caplin, A., & Dean, M. (2015). Revealed preference, rational inattention, and costly information acquisition. *American Economic Review*, 105(7), 2183–2203. <https://doi.org/10.1257/aer.20121222>
- Gul, F., & Pesendorfer, W. (2008). The case for mindless economics. In A. Caplin & A. Schotter (Eds.), *The Foundations of Positive and Normative Economics* (pp. 3–39). Oxford University Press.
- Hayek, F. A. (1988). *The fatal conceit: The errors of socialism* (W. W. Bartley III, Ed.). University of Chicago Press.
- Keynes, J. M. (1936). *The general theory of employment, interest and money*. Macmillan.
- Krueger, A. B. (2017). Where have all the workers gone? An inquiry into the decline of the U.S. labor force participation rate. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2017(2), 1–87.
- Case, A., & Deaton, A. (2015). Rising morbidity and mortality in midlife among white non-Hispanic Americans in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(49), 15078–15083.
- Kuhnen, C. M., & Knutson, B. (2005). The neural basis of financial risk taking. *Neuron*, 47(5), 763–770. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.08.008>
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge University Press.

- Lucas, R. E. Jr. (1990). Why doesn't capital flow from rich to poor countries? *American Economic Review*, 80(2), 92–96.
- Modigliani, F., & Brumberg, R. (1954). *Utility Analysis and the Consumption Function: An Interpretation of Cross-Section Data*. In K. K. Kurihara (Ed.), Post-Keynesian Economics (pp. 388–436). Rutgers University Press.
- Ando, A., & Modigliani, F. (1963). The “Life Cycle” Hypothesis of Saving: Aggregate Implications and Tests. *American Economic Review*, 53(1), 55–84.
- Friedman, M. (1957). A Theory of the Consumption Function. Princeton University Press. (*Para contrastar con PIH*)
- Petry, N. M., Bickel, W. K., & Arnett, M. (1998). Delay discounting, impulsiveness, and addiction severity in opioid-dependent patients. *Drug and Alcohol Dependence*, 52(3), 209–218. [https://doi.org/10.1016/S0376-8716\(98\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0376-8716(98)00026-3)
- Radu, P. T., Yi, R., Bickel, W. K., Gross, J. J., & McClure, S. M. (2011). A mechanism for reducing delay discounting by altering temporal attention. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 96(3), 363–385. <https://doi.org/10.1901/jeab.2011.96-363>
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, socialism and democracy*. Harper & Brothers.
- Poldrack, R. A., et al. (2017). Scanning the horizon: towards transparent and reproducible neuroimaging research. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(2), 115-126.
- Leyton, M., Boileau, I., Benkelfat, C., Diksic, M., Baker, G., & Dagher, A. (2002). Amphetamine-induced increases in extracellular dopamine, drug wanting, and novelty seeking: A PET/[11C]raclopride study in healthy men. *Neuropsychopharmacology*, 27(6), 1027-1035.
- Takahashi, T., Ikeda, K., & Hasegawa, T. (2007). Social evaluation-induced amylase elevation and economic decision-making under stress. *International Journal of Psychophysiology*, 66(3), 245-251.
- Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275(5306), 1593-1599. <https://doi.org/10.1126/science.275.5306.1593>.
- Schultz, W., & Dickinson, A. (2000). Neuronal coding of prediction errors. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 473-500. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.473>.

- Schultz, W. (2016). Reward prediction error. *Current Biology*, 26(15), R687-R690. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.02.064>
- Sokol-Hessner, P., Hsu, M., Curley, N. G., Delgado, M. R., & Camerer, C. F. (2009). Thinking like a trader selectively reduces individuals' loss aversion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5035–5040. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806761106>
- Leyton, M., Boileau, I., Benkelfat, C., Diksic, M., Baker, G., & Dagher, A. (2002). *Amphetamine-induced increases in extracellular dopamine, drug wanting, and novelty seeking: A PET/[11C]raclopride study in healthy men*. *Neuropsychopharmacology*, 27(6), 1027–1035. [https://doi.org/10.1016/S0893-133X\(02\)00358-4](https://doi.org/10.1016/S0893-133X(02)00358-4)
- Leyton, M. (2014). *Moving past the incentive sensitization versus opponent process debate: A multiple systems model of craving*. *Neuropharmacology*, 76(Pt B), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2013.04.034>
- Porcelli, A. J., & Delgado, M. R. (2017). *Stress and decision making: Effects on valuation, learning, and risk-taking*. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 14, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.11.015>
- Shiv, B., & Fedorikhin, A. (1999). *Heart and mind in conflict: The interplay of affect and cognition in consumer decision making*. *Journal of Consumer Research*, 26(3), 278–292. <https://doi.org/10.1086/209563>
- Takahashi, T., Ikeda, K., & Hasegawa, T. (2007). *Social evaluation-induced amylase elevation and economic decision-making under stress*. *International Journal of Psychophysiology*, 66(3), 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.08.004>
- Kishida, K. T., Saez, I., Lohrenz, T., Witcher, M. R., Laxton, A. W., Tatter, S. B., White, J. P., Ellis, T. L., Phillips, P. E. M., & Montague, P. R. (2016). Sub-second dopamine detection in human striatum. *PLoS ONE*, 11(1), e0145747. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145747>
- Christiano, L. J., Eichenbaum, M., & Evans, C. L. (2005). Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy. *Journal of Political Economy*, 113(1), 1-45.
- Smets, F., & Wouters, R. (2007). Shocks and frictions in US business cycles: A Bayesian DSGE approach. *American Economic Review*, 97(3), 586-606.
- Kaplan, G., Moll, B., & Violante, G. L. (2018). Monetary policy according to HANK. *American Economic Review*, 108(3), 697-743.

- Bickel, W. K., Athamneh, L. N., Snider, S. E., Craft, W. H., DeHart, W. B., Kaplan, B. A., & Basso, J. C. (2020). Reinforcer Pathology: Implications for Substance Abuse Intervention. *Current Topics in Behavioral Neurosciences*, 47, 139-162. https://doi.org/10.1007/7854_2020_145
- Hurd, M. D., & McGarry, K. (2002). The predictive validity of subjective probabilities of survival. *The Economic Journal*, 112(482), 966-985. <https://doi.org/10.1111/1468-0297.00065>
- Elder, T. E. (2013). The predictive validity of subjective mortality expectations: Evidence from the Health and Retirement Study. *Demography*, 50(2), 569-589. <https://doi.org/10.1007/s13524-012-0164-2>
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (2016). Liking, wanting, and the incentive-sensitization theory of addiction. *American Psychologist*, 71(8), 670-679.
- Boileau, I., Assaad, J. M., Pihl, R. O., Benkelfat, C., Leyton, M., Diksic, M., ... & Dagher, A. (2003). Alcohol promotes dopamine release in the human nucleus accumbens. *Synapse*, 49(4), 226-231.
- Buckholtz, J. W., Treadway, M. T., Cowan, R. L., Woodward, N. D., Li, R., Ansari, M. S., ... & Zald, D. H. (2010). Dopaminergic network differences in human impulsivity. *Science*, 329(5991), 532.
- Dreyer, J. K., Herrik, K. F., Berg, R. W., & Hounsgaard, J. D. (2010). Influence of phasic and tonic dopamine release on receptor activation. *Journal of Neuroscience*, 30(42), 14273-14283.
- Koob, G. F., & Volkow, N. D. (2016). Neurobiology of addiction: a neurocircuitry analysis. *The Lancet Psychiatry*, 3(8), 760-773.
- Martinez, D., Slifstein, M., Narendran, R., Foltin, R. W., Broft, A., Hwang, D. R., ... & Laruelle, M. (2012). Alcohol dependence is associated with blunted dopamine transmission in the ventral striatum. *Biological Psychiatry*, 71(4), 296-305.
- Nestler, E. J. (2005). Is there a common molecular pathway for addiction? *Nature Neuroscience*, 8(11), 1445-1449.
- Volkow, N. D., Fowler, J. S., Wang, G. J., Baler, R., & Telang, F. (2009). Imaging dopamine's role in drug abuse and addiction. *Neuropharmacology*, 56(1), 3-8.
- Wang, G. J., Volkow, N. D., Fowler, J. S., Logan, J., Abumrad, N. N., Hitzemann, R. J., ... & Pappas, N. (1997). Dopamine D2 receptor availability in opiate-dependent subjects before and after naloxone-precipitated withdrawal. *Neuropsychopharmacology*, 16(2), 174-182.

- Daniel, T. O., Epstein, L. H., & Saelens, B. E. (2023). Art-delivered episodic future thinking reduces delay discounting. *Addictive Behaviors Reports*, 18, 100512. <https://doi.org/10.1016/j.abrep.2023.100512>
- Amlung, M. A., Vedelago, L., Acker, J., Balodis, I. M., & MacKillop, J. (2017). Steep delay discounting and addictive behavior: A meta-analysis of continuous associations. *Addiction*. [PMC+1](#)