

Contingencias como Modelos de Causalidad en Psicopatología¹

(Contingencies as Models of Causation in Psychopathology)

Santiago Castiello^{* **2} y Robin A. Murphy^{**3}

^{*}Wu Tsai Institute, Yale University

^{**}Corpus Christi College, University of Oxford

(Reino Unido)

Resumen

La Teoría de Aprendizaje por Contingencias (TAC) unifica el aprendizaje Pavloviano e instrumental y es usada para comprender psicopatologías (Byrom & Murphy, 2018). En la primera sección del artículo presentamos formas matemáticas de la TAC: analítica y computacional (o de procesos). En la segunda sección, describimos métodos experimentales para estudiar contingencias en humanos: secuencia rápida de estímulos, basada en la observación de contingencias entre estímulos; y operante libre, la cual requiere respuestas instrumentales. El primer método es pasivo y permite estudiar percepción de contingencias. El segundo método es activo en el cual los participantes usan sus acciones para controlar efectos (sentido de agencia e ilusión de causalidad). En la tercera sección, ejemplificamos como la TAC es usada para entender diferencias individuales relacionadas a depresión y esquizotipia. Por un lado, las personas con rasgos altos de depresión suelen estar protegidos contra sesgos optimistas de control, i.e., ‘realismo depresivo’. Esto sugiere insensibilidad a su propio control similar a personas con esquizotipia alta que son menos sensibles a los efectos de sus acciones. Con esta revisión esperamos incentivar el uso de la TAC en psicopatología experimental con fin de entender características transdiagnósticas en condiciones psiquiátricas en las cuales el aprendizaje causal sea central.

1 Financiamiento: Esta investigación fue realizada por el primer autor como parte de su tesis doctoral con la dirección del segundo autor. La Universidad de Guadalajara financió el doctorado de SCDO en Oxford supervisado por RAM durante 2018 y 2022 (V/2018/1476 y V/2021/989). Corpus Christi College, University of Oxford, otorgó un Stipendiary Lecturship a SCDO desde agosto 2022 hasta septiembre 2023 en cuyo año RAM y SCDO desarrollaron varias ideas presentadas en el presente trabajo.

2 Dirigir correspondencia a: Dr. Santiago Castiello De Obeso. Dirección: Wu Tsai Institute, Yale University, 100 College St, New Haven, CT 06510, USA. Email: santiago.castiellodeobeso@yale.edu

3 ORCID iDs: Santiago Castiello De Obeso (SCDO): <https://orcid.org/0000-0002-3672-1366>
Robin A. Murphy (RAM): <https://orcid.org/0000-0002-8763-5062>

Palabras clave: aprendizaje asociativo, Teoría de Aprendizaje por Contingencias, modelos mentales causales, diferencias individuales, psiquiatría computacional.

Abstract

Contingency Learning Theory (CLT) provides a computational background to develop models to understand causality. CLT provides a unifying account of Pavlovian and instrumental learning, and is used to understand mechanism underlying psychopathologies rather than simply describing symptomology (Byrom & Murphy, 2018). In this manuscript we present an overview of models and methods used within this theoretical perspective, and we describe applications in experimental psychopathology. In the first section, we present CLT in two mathematical forms: an analytical form (Delta-P rule) and computational form (or process-based; e.g., Rescorla-Wagner Model). In the second section, we describe two experimental methods used to study contingency learning in humans: the rapid-streaming trial procedure, which relies on perception and observation, and the free-operant, which involves participants' instrumental and agentic responding. The former is a passive model that considers the study of contingency perception and the psychophysics of learning. The latter is an active method where participants use their own actions to control possible outcomes, this allows the study of the sense of agency and illusion of causality. Finally, in the third section, we provide examples of how CLT is used to understand individual differences related to affect (depression dimension) and schizotypy (psychosis dimension). People with higher depressive scores tend to be protected against optimist control biases, i.e., 'depressive realism', but may show insensitivity to their control. In comparison, people with high schizotypy scores or with psychosis are less sensitive to the correlation between action-outcome or the causal powers of their actions. With this work we aim to link CLT –a formalized theory based on the principles of experimental behaviour analysis– and its applications in experimental and computational psychopathology. We believe this would improve the tools to understand transdiagnostic features of distinct psychiatric conditions in which causal understanding is central.

Keywords: associative learning, Contingency Learning Theory, causal mental models, individual differences, computational psychiatry.

Introducción

Un agente es un tomador de decisiones capaz de planear secuencias complejas de acciones y navegar el constante *flujo conductual* (Schoenfeld & Farmer, 1970) dentro del cambiante bombardeo de sensaciones que ofrece el mundo. Una forma de adaptarse al ambiente es anticiparse a estados del mundo y actuar con base en ellos. Dentro del *flujo conductual* las acciones que van teniendo relevancia son aquellas que logran predecir los estados futuros del mundo. Para anticiparse a estos estados, es fundamental aprender relaciones causales entre eventos (e.g., Darredeau et al., 2009). Una primera aproximación a la causalidad parte de la idea de predictibilidad, entender secuencias de eventos y saber qué ocurre después de

qué. Los agentes aprendemos mediante la experiencia sensorial probando hipótesis al actuar, discriminando complejas configuraciones de estímulos y detectando la regularidad de patrones o reglas (ver Murphy et al., 2004, 2008).

En la primera sección de este artículo describimos la Teoría de Aprendizaje por Contingencias (TAC), además caracterizamos el modelo analítico, así como el modelo basado en procesos (o computacional), ambos sustentan matemáticamente esta teoría. Segundo, introducimos dos métodos para el estudio de contingencias en humanos. Tercero, revelamos hallazgos de la TAC en diferencias individuales y aplicaciones a condiciones psiquiátricas. Finalmente, terminamos el artículo con una síntesis de aprendizaje causal en psicopatología y desarrollamos ideas que vinculan el presente trabajo con la *psiquiatría computacional* y la *psiquiatría de precisión*.

Una contingencia es una relación dependiente, condicional (Ribes, 1995), o estadística entre eventos, tanto estímulo-estímulo, estímulo-respuesta, o respuesta-consecuencia. Estas relaciones condicionales implican una cierta temporalidad entre los eventos contingentes, pero no son exclusivamente relaciones temporales (Ribes, 1995), sino que son dependientes en términos informativos. Una relación estadística implica certeza e incertidumbre, es decir, un evento provee información sobre la ocurrencia o ausencia de otro (e.g., la pasta de dientes predice la ausencia de vino tinto ¡gracias a Dios!, pero el jugo de naranja puede predecir huevos estrellados). Los agentes aprendemos a predecir estados en el mundo mediante la experiencia, por lo que a este tipo de aprendizaje también se le conoce como *aprendizaje predictivo*. Además, se considera que el aprendizaje predictivo es la base de cómo los agentes generan modelos mentales causales para entender el mundo (Baker et al., 1996, 2005). Aprender el valor predictivo de una señal sobre un desenlace (i.e., una relación entre dos eventos) puede ser relativamente sencillo. Sin embargo, en el mundo no solo existen relaciones entre dos eventos, sino que ocasionalmente muchas señales o causas potenciales coocurren (i.e., competencia de señales) lo cual vuelve más complejo decidir que señales causan ciertos efectos (ver Baetu et al., 2005; Baker & Mackintosh, 1979; Byrom & Murphy, 2019; Murphy et al., 2001b; Shanks, 1985, 1995).

Para ejemplificar la competencia entre señales, es decir, donde muchas causas predicen un efecto, se han utilizado tareas experimentales presentadas en computadora para humanos (Byrom & Murphy, 2019). En estos experimentos, los participantes son expuestos a ensayos con ciertas contingencias entre señales y desenlaces. Los participantes suelen emitir respuestas predictivas y finalmente emiten un juicio de contingencia entre las señales (e.g., fertilizantes o comida) y desenlaces (e.g., crecimiento de plántulas o alergias; Baetu & Baker, 2009). Un ejemplo es la tarea del tanque y el avión (*tank and plane task*; Baker, et al., 1993), donde participantes juegan en la computadora y aprenden a prevenir la destrucción de un tanque (desenlace) con base en una señal dependiente del participante (camuflaje del tanque) y otra señal independiente del participante (un avión que pasa por la pantalla). Los participantes aprenden la relación entre el camuflaje y el avión (señales) con la destrucción del tanque (desenlace). Sin embargo, cuando ambas señales predicen el desenlace, se observó un efecto de *descuento*. Esto es

que cuando el avión fue un predictor perfecto y el camuflaje un predictor moderado del desenlace, entonces los participantes reducen sus juicios de contingencia para el camuflaje, lo cual sugiere que el valor predictivo de una señal es relativo al valor predictivo de otras señales que coocurren ΔP (Baker et al., 1993, 2000). En otras palabras, el avión descontó o bloqueó la contingencia del camuflaje.

Este aparentemente simple experimento y su resultado muestran la fascinante complejidad de cómo el valor predictivo de las señales interactúa entre sí. Por ejemplo, tengo gripa y me siento mal, entonces para sentirme bien tomo homeopatía (A), me hago un té (B) y me arropo en cama (C). Entonces me siento bien. Sin embargo, cómo saber si el “sentirme bien” es debido a A, B, o C. Lo que está claro es que cuando muchas señales sensoriales están presentes los agentes siguen estrategias para determinar cuál es o cuales son las causas de un efecto. Si bien, el problema de competencia de señales es complejo, existen muchas posibles soluciones y muchos modelos proponen distintas soluciones a cómo este proceso ocurre, desde modelos de condicionamiento clásico (Pearce & Hall, 1980; Rescorla & Wagner, 1972) hasta Redes Neuronales Artificiales (RNA; Delamater, 2012; Donahoe et al., 1993). Si el lector desea revisar más sobre competencia entre señales (o estímulos) y RNA puede consultar las siguientes referencias: *i*) en modalidad de elección Pavloviana o automoldeada con palomas (Castiello, Burgos, et al., 2020) y disminución de impulsividad (Aguayo-Mendoza et al., 2024), *ii*) en ensombrecimiento y ensombrecimiento mutuo en ratas (Ojeda-Aguilar et al., 2023), y *iii*) en discriminación de rasgo negativo (en lógica booleana XOR) con ratas (Castiello et al., 2021). En la siguiente sección revisamos la Teoría de Aprendizaje por Contingencias y posteriormente la implementación de un algoritmo que resuelve competencia de señales.

1. La Teoría de Aprendizaje por Contingencias (TAC)

La TAC es un marco común para el aprendizaje pavloviano e instrumental, así como para el aprendizaje causal en humanos (Baker et al., 2005; Dickinson, 2001). Estos tipos de aprendizaje comparten principios neurocomputacionales similares, mismos que parecen críticos para teorías evolutivas (Burgos, 1997; Donahoe et al., 1993). Para ser más precisos sobre la definición de contingencias entre dos eventos, nos referiremos a una contingencia como el valor ΔP (Delta P; Allan, 1980); sin embargo, para ver más detalles sobre formas analíticas de contingencias ver a Perales et al (1999). Cuando dos eventos E1 y E2 han sido experimentados en conjunción o contingencia positiva entonces la presencia de E1 predice la presencia de E2, i.e., coocurrencia, así como la ausencia de E1 señala la ausencia de E2, i.e., ausencia mutua. Por otro lado, la disyunción o contingencia negativa es cuando la presencia de E1 señala la ausencia de E2 y viceversa. Entonces, aprender la estructura causal del mundo puede ser vista como la habilidad para predecir la ocurrencia y ausencia de eventos en función de otros eventos. Por esto, se ha usado como un modelo mental de causalidad (Baker et al., 1993, 2005; Dickinson et al., 1984; Shanks & Dickinson, 1987; Vallée-Tourangeau et al., 2005). Además de contingencia, otro factor es la contigüidad temporal como factor necesario, pero no

suficiente, para el aprendizaje predictivo (Miller & Barnet, 1993; Ribes, 1995; para una revisión ver Savastano & Miller, 1998). Sin embargo, debido a los objetivos de este trabajo solo nos enfocaremos en el factor de contingencia.

Un Modelo Analítico General de Contingencias Entre dos Eventos

La contingencia (ΔP) entre dos eventos es función del número de coocurrencias entre E1 y E2 (A; ver Tabla 1), el número de ocurrencias de E1 solo (B), el número de ocurrencias de E2 solo (C), y el número de ausencias mutuas de E1 y E2 (D), y es definido como la diferencia entre probabilidades condicionales de E2 dado la presencia de E1 [$p(E2|E1)$], y la presencia de E2 dada la ausencia (\sim) de E1 [$p(E2|\sim E1)$] (Allan, 1980); por lo que:

$$\Delta P = p(E2|E1) - p(E2|\sim E1) = \frac{A}{A+B} - \frac{C}{C+D}, \quad (\text{eq. 1})$$

$$\Delta P = p(\text{efecto} | \text{causa}) - p(\text{efecto} | \text{ausencia de la causa}) \quad (\text{eq. 2})$$

Al igual que un coeficiente de correlación, cuando no existe relación entre los dos eventos, es decir $\Delta P = 0$, el E1 no provee información sobre la ocurrencia y ausencia de E2. Por otro lado, si $\Delta P > 0$, la presencia de E1 señala un incremento en la probabilidad de la presencia de E2, y si $\Delta P < 0$, entonces la presencia de E1 señala un decremento en la probabilidad de la ocurrencia de E2. Con base en las cuatro celdas o ensayos de la Tabla 1 y la eq. 1 se puede concluir que el incremento de ensayos A, incrementa los juicios de contingencia (e.g., Murphy et al., 2011). Sin embargo, y de forma menos intuitiva, incrementar el número de veces donde los eventos están ausentes, celda o ensayos D (Tabla 1), también debería incrementar la contingencia y, por ende, la percepción de una contingencia positiva (Castiello et al., 2022). En contraste, el incremento de ensayos B y C, debería reducir la contingencia percibida (Murphy et al., 2022).

Sin embargo, experimentos previos que han manipulado los cuatro tipos de ensayos demuestran que no afectan los juicios de contingencia de la misma forma (Murphy et al., 2022). Particularmente, se ha encontrado que los participantes ponderan los ensayos (Tabla 1) de la forma $A > (B \approx C) > D$ (Kao & Wasserman, 1993; Wasserman et al., 1993). Esto tiene sentido ya que la saliencia de A es mayor a D –debido a que se procesan dos estímulos en A y no se procesan estímulos en D–. Sin embargo, es particularmente interesante que la información ausente sea considerada con menor peso. Ya que la información ausente no es ausencia de información (ver Apéndice A donde describimos la relación entre TAC y la Teoría de la Información). Por ejemplo, la ausencia de síntomas clínicos es importante para el diagnóstico diferencial médico y se pueden usar como evidencia para confirmar o desconfirmar una hipótesis (ver Murphy et al., 2017). Por otro lado, cuando alguien cree que la homeopatía le funciona quizás es porque no recuerda la información ausente, es decir, la gente no recuerda cuando no tomo homeopatía y además se sintió bien (información contrafactual; cf. Castiello et al., 2022). De

este modo, podrían estar viviendo un sesgo de solo recordar cuando si tomaron homeopatía y se sintieron bien.

Tabla 1
Teoría de Aprendizaje por Contingencias

Aprendizaje Pavloviano			Aprendizaje Instrumental		
	Desenlace	~Desenlace		Reforzador	~ Reforzador
Señal	A	B	Respuesta	A	B
~Señal	C	D	~Respuesta	C	D
Generalización: Eventos					
			E2	~E2	
		E1	A	B	
		~E1	C	D	

Nota: donde ~ significa ausencia de Señal, Desenlace, Respuesta, Reforzador, E1 o E2. A, B, C, y D son celdas que representan la conjunción entre: señal/desenlace, respuesta/reforzador, o E1/E2. Por ejemplo, la celda A = ocasiones donde E1 y E2, Señal y Desenlace, y Respuesta y Reforzador co-ocurren.

Computaciones de Contingencias

Además de ΔP , la TAC puede derivarse de un modelo basado en proceso, es decir un modelo que aprende por cada nueva pieza de información en lugar de un cálculo basado en toda la información entre dos eventos. El modelo Rescorla-Wagner (RW; Rescorla & Wagner, 1972) es un algoritmo de aprendizaje por refuerzo (Sutton & Barto, 2018) que provee una forma de calcular el valor predictivo (o valor causal) entre eventos y además converge en ΔP (Baker et al., 1989). El modelo RW calcula los valores predictivos, v_t , entre señales, c_t (vector booleano de presencia y ausencia de señales), y el error de predicción, δ_t , en cada ensayo t . El modelo sigue la siguiente forma:

$$v_{t+1} = v_t + \theta \delta_t c_t, \tag{eq. 3}$$

Donde θ representa la tasa de aprendizaje. Usualmente, el modelo RW asume que $\theta = \alpha * \beta_0 * \beta_1$ el cual es el producto entre tasa de aprendizaje (α), sensibilidad para ausencia de desenlace o recompensa (β_0), y sensibilidad para presencia de desenlace o recompensa (β_1 ; Murphy et al., 2001). Además θ pondera al factor δ_t , error de predicción, es decir, la diferencia entre lo ocurrido (desenlace o reforzador; λ_t) y el valor predictivo esperado de todas las señales presentes ($c_t \cdot v_t$; *producto punto* el

4 Letras minúsculas y en negritas representan vectores de columna.

cual es la suma de las multiplicaciones individuales de cada par de elementos de ambos vectores). El error de predicción es un escalar y se calcula:

$$\delta_t = \lambda_t - (\mathbf{c}_t \bullet \mathbf{v}_t), \quad (\text{eq. 4})$$

Sin embargo, como todos los modelos, el RW tiene limitaciones (Miller et al., 1995), si bien no es el objetivo de este artículo profundizar en ellas. Además, otras extensiones de este modelo permiten usar contrafactuales y tasa de olvido (Rossi-Goldthorpe et al., 2024). Otras versiones permiten un θ dinámico y se ajustan a la volatilidad del ambiente (ver Mackintosh, 1975; Pearce & Hall, 1980). Si el lector desea indagar más puede acceder a nuestro simulador de acceso abierto que hemos desarrollado junto con el Prof. Andrew Delamater en GitHub: <https://github.com/santiagocdo/ALANN>⁵.

En un estudio que publicamos recientemente, utilizamos el modelo RW para inferir los errores de predicción a partir de la conducta de los participantes mientras resolvían una tarea de Bloqueo de Kamin en aprendizaje causal con múltiples señales (Ongchoco et al., 2023). Encontramos que el pensamiento teleológico (pensamiento basado en propósito; ver también relación de teleología y paranoia en Castiello et al., 2024) puede ser explicado por excesivos errores de predicciones (δ) o simple aprendizaje asociativo en lugar de procesos complejos como lógica proposicional que hacen referencia a niveles altos de cognición como razonamiento. Pare ver un desglose de este modelo y otras variantes partiendo de principios similares ver Capítulo 5 de mi Disertación Doctoral (Castiello de Obeso, 2023).

2. Métodos de Estudio Desde la Teoría del Aprendizaje por Contingencias

En esta sección describimos dos métodos que son usados para estudiar aprendizaje de contingencias. El primero está basado en aprender contingencias mediante exposición rápida de estímulos visuales, es decir, aprendizaje de contingencias de forma pasiva. El segundo está basado en aprendizaje de contingencias activas, es decir involucra la elección del actuar por parte del agente.

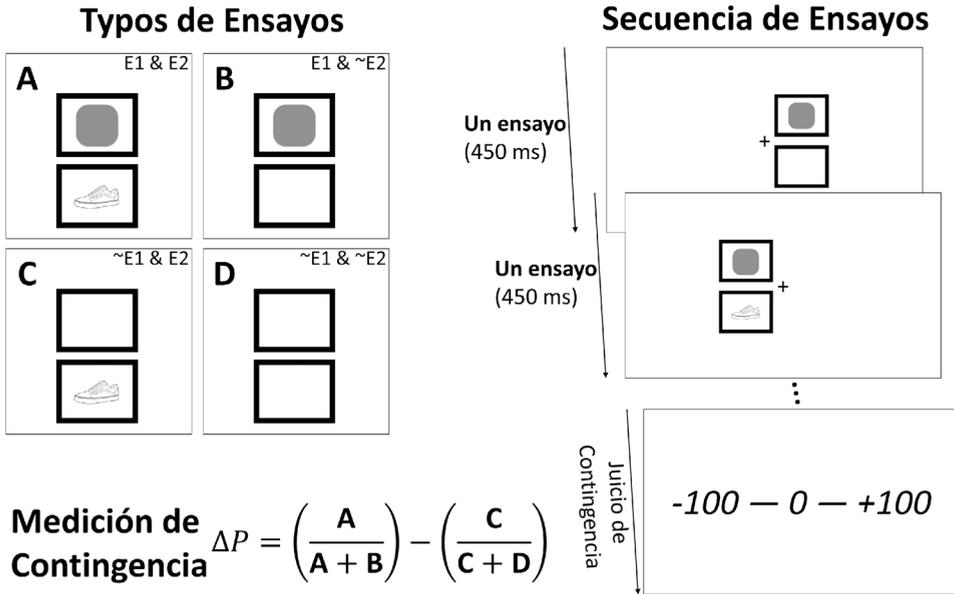
Procedimiento de Secuencia Rápida de Ensayos

El procedimiento de secuencia rápida de ensayos (en inglés *streamed-trial procedure*) fue desarrollado por Crump et al (2007) y consiste en la presentación rápida, en milisegundos, de ensayos para evaluar contingencias entre estímulos. Esto permite estudiar mayor cantidad de ΔP s (Crump et al., 2007) a diferencia de otros procedimientos clásicos (donde los ensayos duran segundos). En este tipo de procedimientos las secuencias rápidas contienen cualquier tipo de ΔP , al igual que arreglos con estímulos simultáneos o demorados, con varios estímulos, etc. Los ensayos se presentan a los participantes y al final de la secuencia rápida de

5 El repositorio ALANN se llama así en honor al Prof. Alan Wagner. En dicho simulador podrán encontrar algoritmos más complejos como Backpropagation y Contrastive Hebbian Learning. Estaríamos encantados de ayudar a quien sea que nos escriba para pedir ayuda con el simulador.

ensayos los participantes emiten un juicio de contingencia (ver Figura 1), ya sea en una escala continua, o emiten una respuesta binaria de detección de contingencia positiva, negativa, o nula.

Figura 1
Procedimiento de Secuencia Rápida de Ensayos



Nota: figura adaptada de Castiello et al. (2022). Panel izquierdo presenta los tipos de ensayos, y panel derecho presenta el ejemplo de una secuencia de ensayos que concluye en un juicio de contingencia que corresponde al ΔP , desde valores negativos hasta positivos.

Lo que se suele observar sistemáticamente es que los humanos suelen ser sensibles al ΔP . Además, este procedimiento ha sido capaz de integrar diferentes fenómenos de aprendizaje y teorías perceptuales como la Teoría de Detección de Señales (Allan et al., 2005, 2008; Jozefowicz, 2021; Jozefowicz et al., 2022; Maia et al., 2018; Siegel et al., 2009); la interacción de señales, como ensombrecimiento y descuento (Alcalá et al., 2023; Hannah et al., 2009; Laux et al., 2010; Mutter & Arnold, 2021); la sensibilidad a la frecuencia y duración de ensayos (Castiello et al., 2022; Murphy et al., 2022); y la extinción (Jozefowicz et al., 2020; Witnauer et al., 2022). Desde la perspectiva de un participante, muchas veces después de ver una secuencia rápida no se suele sentir certidumbre sobre la contingencia programada, sin embargo, los participantes suelen juzgar las secuencias con razonable precisión. Esto sugiere que aprender contingencias es algo que ocurre en niveles bajos de la jerarquía del procesamiento del humano, más cerca a la percepción (*low-level*) que

a la cognición (*high-level*). En otras palabras, percibir causa-efecto —en términos de contingencias— no requieren niveles altos de la cognición (e.g., razonamiento). Percibir contingencias pueden ser tan primario como la percepción de intensiones (Castiello et al., 2024).

Operante Libre para Estudiar el Sentido de Agencia y Control

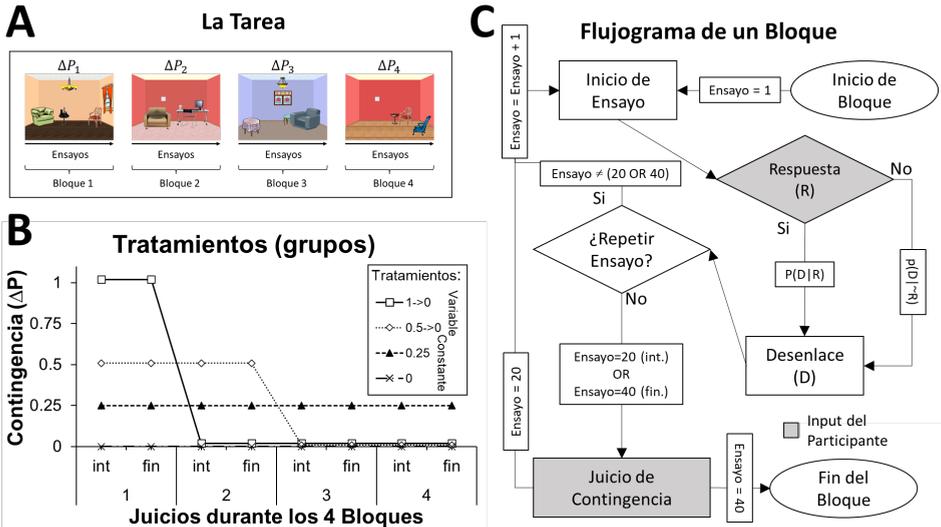
Operante libre se denomina al procedimiento en el cual los participantes pueden elegir emitir una acción (o no emitirla) en cualquier momento dentro de un determinado intervalo temporal, o bloque experimental. Originalmente, este procedimiento fue diseñado para el estudio con animales (Ferster & Skinner, 1957; Hammond, 1980), Sin embargo, la adaptación en humanos funciona de manera similar y permite estudiar el sentido de agencia e ilusión de causalidad en humanos (Blanco, 2017; Pitliya & Murphy, 2024). Sentido de agencia se refiere a la sensación de ser uno mismo el que produce las acciones y, por ende, el responsable de las consecuencias que ocurren (Moore, 2016). Este sentido está cercanamente vinculado con que el agente es capaz de controlar consecuencias (i.e., sentido de control), es decir, producir consecuencias específicas que correspondan con sus planes. En otras palabras, predecir consecuencias mediante el uso de las acciones (Pitliya & Murphy, 2024).

En este tipo de tareas se establece un ΔP entre una acción (picar una tecla del teclado) y un desenlace (prender un foco de luz); entonces, se les pide a los participantes que aprendan qué tanto controlan el desenlace. Por ejemplo, si el $\Delta P = p(\text{Acción}) - p(\sim\text{Acción}) = 0$, la acción no controla el desenlace, pero los humanos tendemos a mostrar la ilusión de control, i.e., sobre estimación en generar o prevenir un desenlace (Langer, 1975). La ilusión de control está positivamente relacionada con pensamiento supersticioso (Griffiths et al., 2019), lo cual podría sugerir cómo la formación de creencias podría estar sustentada en cómo aprendemos y nos comportamos (Blanco et al., 2011, 2015).

En un experimento con operante libre en humanos estudiamos el sentido de control en personas con rasgos de depresión (Castiello, Senan, et al., 2020). Los participantes pasaron por cuatro contingencias, una por cada bloque de 40 ensayos (Figura 2A). Dependiendo del tratamiento al que los participantes fueron asignados aleatoriamente, los participantes cambiaban de contingencias o no (e.g., iniciar con $\Delta P = 1$ en el primer bloque, pero terminaron el cuarto bloque con $\Delta P = 0$; Figura 2B). Dentro de cada bloque los participantes experimentaron cuarenta ensayos en los cuales podrían emitir o no una respuesta (i.e., picar una tecla) y entonces aprender qué su control sobre un desenlace (i.e., escuchar música; Figura 2C). A la mitad y al final de cada bloque los participantes hacían dos juicios de control, *i*) el control que ellos aprendieron, y *ii*) el control que factores externos tienen sobre el desenlace. Lo que encontramos es que las personas con depresión suelen minimizar el control de factores externos. Sobre este punto, ahondaremos más en la siguiente sección. Lo más importante de esta tarea es que permite que participantes decidan a voluntad cuándo actuar y cuándo no, y con base en eso aprender la relación causal de sus acciones.

Figura 2

Procedimiento de Operante Libre en Humanos con Cambios de Contingencias



Nota: figura adaptada de Castiello, Senan, et al. (2020). **A** presenta los 4 bloques y el contexto distinto en cada uno. **B** presenta la trayectoria de las contingencias de los 4 grupos durante los 4 bloques (dentro de cada bloque hubo dos juicios de contingencia). **C** flujograma de ensayos y juicios causales durante cada bloque. Durante cada bloque los participantes hicieron dos juicios de contingencias al después del ensayo 20 y al final del bloque en el ensayo 40.

3. Aplicaciones a Diferencias Individuales y Psicopatología

Tanto el aprendizaje de relaciones causales mediante observación de la realidad (pasivo), así como el aprendizaje de los efectos de nuestras acciones (activo), parecieran ser factores importantes para que los agentes se adapten a la volatilidad del mundo. Sin embargo, otro factor sumamente importante es cómo los individuos que aprenden son distintos entre sí, i.e., diferencias individuales en aprendizaje (Murphy & Msetfi, 2014). Mediante la TAC y el estudio de diferencias individuales, se ha encontrado que variaciones en el aprendizaje se relacionan con variables psicológicas como el afecto o la personalidad, y pueden ser características diagnósticas de psicopatologías (Byrom & Murphy, 2018). En esta última sección describimos en términos generales algunos resultados experimentales y su relación con diferencias individuales vinculadas a psicopatología. Para ver más a detalle investigación con diferencias individuales, puede consultar los siguientes estudios: en depresión (Castiello, Senan, et al., 2020; Msetfi et al., 2007; Murphy et al., 2005), autismo (Cuve et al., 2021), interferencia emocional (Saylik et al., 2021),

múltiples dimensiones psicológicas (Treviño et al., 2023), y teleología (Ongchoco et al., 2023). En las siguientes secciones expondremos dos rasgos psicológicos y sus instanciaciones conductuales. Primero será el caso de personas con rasgos depresivos y el caso del “realismo depresivo”. Segundo, la esquizotipia y la sensibilidad a las contingencias.

Los Rasgos Depresivos Promueven Juicios de Contingencias más Certeros

El primer caso es el del “realismo depresivo” (Alloy & Abramson, 1979), el cual se basa en que la ilusión de causalidad (o control) ocurre por un sesgo optimista (Baker et al., 2012). Esta explicación asume que todos los agentes sobrevaloramos (en línea base) las relaciones causales, ya que esto incrementa la probabilidad de detección de relaciones potencialmente importantes, en lugar de sentir que no producimos nada, como una especie de indefensión aprendida (Blanco, 2017). Sin embargo, personas con rasgos de depresión o con diagnósticos de depresión tienden a estimar contingencias de forma más precisa (o realista), lo cual pudiera ser una ‘vacuna’ ante el sesgo optimista.

El efecto de la ausencia de eventos (celda D; Tabla 1) pareciera jugar un rol importante en cómo las personas con rasgos depresivos integran la información cuando los estímulos objetivo para una asociación dada están ausentes (Byrom et al., 2015; Msetfi et al., 2005, 2013, 2017; cf. Dev et al., 2022). Estudios farmacológicos sugieren que el medicamento antidepresivo escitalopram (Inhibidor Selectivo de la Recaptación de Serotonina) incrementa la discriminación entre acción y contexto en personas con puntajes moderados de depresión (Msetfi et al., 2016). Varios mecanismos cognitivos podrían soportar los resultados previos, por ejemplo, modalidades de procesamiento configuracional, es decir, cómo los agentes integran diferentes estímulos (Msetfi et al., 2015), o qué tan sensibles son a la percepción del tiempo durante el aprendizaje de una contingencia (Msetfi et al., 2012). Para ver posibles mecanismos subyacentes de aprendizaje de estímulos ausentes ver Castiello et al. (2022).

En síntesis, los humanos tendemos a exhibir ilusión de causalidad (o de control) —sentir que producimos (o controlamos) algo cuando en realidad no es así— la cual puede estar basada en el sesgo optimista (Baker et al., 2012). Personas con puntajes moderados o altos de depresión parecen no mostrar un sesgo optimista y sí un “realismo depresivo” (Blanco et al., 2012; Msetfi et al., 2005, 2007; Murphy et al., 2005). Finalmente, estos resultados tienen que ver con cómo las personas juzgan la ausencia de eventos (celda D, Tabla 1) o procesan el contexto solo. En las personas con rasgos de depresión la percepción de control (respuesta-consecuencia) que tienen factores externos (e.g., el contexto) es reducida (Castiello, Senan, et al., 2020). Por lo cual, la responsabilidad sobre sus acciones —por contraste— podría estar aumentada y eso generar el distrés emocional. Por ejemplo: “Si mi pareja terminó conmigo, no creo que sea por algo que ella esté viviendo, debe ser por algo de mí”.

Insensibilidad de Contingencia y Rasgos Esquizotípicos

El segundo caso es sobre personas con rasgos altos esquizotípicos o diagnósticos del espectro de la psicosis. Apofenia es la tendencia de conectar eventos que no están relacionados (e.g., si pienso en alguien y al mismo tiempo esa persona me manda un mensaje, concluyo que pensar en la persona invoca la voluntad de aquella persona para escribirme). La apofenia tiene que ver con la sensibilidad que tenemos a asociar eventos, y suele ser un síntoma de personas con psicosis.

En población general, se ha mostrado que la sorpresa se relaciona con puntajes altos de delirios (Moore et al., 2011). Sorpresa es entendida como el valor absoluto de un error de predicción (i.e., $|\delta|$), los cuales parecen ser una ‘firma’ —o característica representativa— neurobiológica de la psicosis y la dimensión esquizotípica (Corlett et al., 2007; Corlett & Fletcher, 2012; Sterzer et al., 2018). Este exceso de errores de predicción (sorpresa) provoca que la coincidencia de eventos no relacionados pueda establecer asociaciones, como el caso de la apofenia. Por otro lado, el sentido de agencia se ha encontrado afectado en personas con esquizotipia alta o con diagnósticos de psicosis (Asai & Tanno, 2008; Balzan et al., 2013; Daprati et al., 1997; Salgado-Pineda et al., 2021). Cuando un agente controla consecuencias con sus acciones, existe una relación predictiva entre respuesta→consecuencia por lo que el agente no experimentará sorpresa. Sin embargo, la psicosis se ha teorizado como un estado de saliencia aberrante con mayor cantidad de errores de predicción (Kapur, 2003). Por lo que, a mayor cantidad de errores de predicción (sorpresa) entre acción-consecuencia menor sentido de agencia (mayor sorpresividad). En síntesis, exceso de errores de predicción se relacionan con una tendencia a asociar eventos (apofenia) y con una reducción del sentido de agencia.

El significado de una acción tiene que ver con cómo el agente juzga la retroalimentación de esta. En un estudio en pacientes con esquizofrenia usando procedimiento de operante libre con dos respuestas posibles, los autores evaluaron la devaluación de recompensa y la degradación de contingencias (Morris et al., 2018), es decir, cómo las personas actualizan el valor de la recompensa y cómo establecen relaciones causales entre sus respuestas y las consecuencias. Para ello, los participantes tenían que elegir entre emitir o no una de dos posibles respuestas para obtener dulces (entregados al final del experimento). Morris y cols. (2018) encontraron que no hay un déficit en aprender las relaciones causales entre respuesta y recompensa (aprendizaje basado en metas). Sin embargo, encontraron que cuando la contingencia de una acción se degradaba (i.e., de tener un $\Delta P > 0$ se cambia a un $\Delta P = 0$) entonces los pacientes con esquizofrenia no cambiaban su tasa de respuesta. Estos datos sugieren que el déficit está en la relación causal establecida entre acción-consecuencia, y no tanto en el aprendizaje basado en metas. Además, dicha conducta parece estar moderada por hipoactividad en el núcleo caudado (área vinculada con inhibición motora; Morris et al., 2015). También se han encontrado déficits en otras tareas de ilusión de control (Moritz et al., 2014; Na et al., 2022), y correlación ilusoria (Balzan et al., 2013; Lee et al., 2005). Algunos autores han propuesto que esta forma de procesar contingencias de forma distinta pudiera ser lo

que promueve el incremento en creatividad en población esquizotípica (Claridge, 2018; Mohr & Claridge, 2015).

Conclusiones

En este artículo hemos presentado tres ideas generales. Primero, un marco global para estudiar las relaciones de eventos o el aprendizaje asociativo en múltiples especies, incluyendo humanos: la Teoría de Aprendizaje por Contingencias (TAC). Esta teoría tiene un componente analítico que puede usarse para cuantificar la relación estadística entre dos eventos (estímulos o respuestas) y tiene un segundo componente basado en procesos, o computacional, que permite estimar el valor causal o predictivo de eventos o potenciales causas. Segundo, presentamos dos métodos para el estudio de la TAC. El primer método puede ser visto como ‘pasivo’ (o Pavloviano), donde los agentes perciben eventos y estiman las relaciones entre ellos. El segundo método es ‘activo’ (o instrumental) en el sentido que los participantes utilizan sus acciones para establecer relaciones causales con efectos deseados o cualquier otro tipo de consecuencia relevante para un momento dado. Tercero, elaboramos cómo los conceptos y métodos de la TAC son utilizados para entender mecanismos subyacentes de distintos rasgos individuales como son la afectividad y esquizotipia o sus correspondientes psicopatologías, la depresión y la psicosis.

La TAC ha sido desarrollada y mejorada por décadas, tiene diversos métodos para su estudio, y provee modelos matemáticos para defender sus premisas. Sin embargo, en los últimos años la neurociencia ha tomado la delantera como modelo explicativo de enfermedades mentales, pero al final de cuentas, como ha sido discutido anteriormente, el “piso verdadero” (en inglés, *ground truth*) sigue siendo la conducta, “la neurociencia necesita a la conducta” (Krakauer et al., 2017). Los métodos presentados aquí son puramente conductuales, permiten evaluar juicios de contingencias y conductas emitidas usadas para establecer creencias de causa-efecto. Los modelos computacionales pueden ser usados para ajustarse a la conducta de los participantes y estimar parámetros latentes de cada agente (aproximación desde las diferencias individuales), lo cual es una parte fundamental de los objetivos de la *psiquiatría computacional* (Corlett & Fletcher, 2014). La *psiquiatría computacional* utiliza métodos precisos de mediciones de la *psique* y es la piedra angular de la *psiquiatría de precisión* (Fernandes et al., 2017) la cual busca “tratar personas y no enfermedades”. La tesis fundamental de este artículo es que la TAC puede ser la ciencia básica de la *psiquiatría computacional*, y ésta la piedra angular de la *psiquiatría de precisión*. Con esto se le da un propósito a la psicología conductual y cognitiva dentro de la psiquiatría de punta. Para finalizar, y considerando lo anterior, nos gustaría finalizar el artículo resaltando que el uso de la TAC en psicopatología experimental es ideal para generar hipótesis explicativas alternativas a las que suelen ser usadas en psiquiatría clásica. La enfermedad mental es muy difícil para quien la sufre, pero sobre todo para los familiares que la hemos sufrido, por lo que todos los abordajes son bienvenidos para intentar promover una mejor ciencia e intentar resolver estos problemas de naturaleza biopsicosociales.

Conflicto de Interés:

SCDO es asesor científico de Gabu®, empresa de videojuegos que genera ambientes de videojuegos seguros para niños. Ellos no financiaron el presente trabajo.

Agradecimientos:

Agradezco a mi asesor de doctorado el Prof. Robin A. Murphy y al asesor de mi asesor el Prof. Andy Baker por haberme dado la oportunidad de aprender junto con ellos del fascinante mundo de las teorías del aprendizaje. Además, agradezco a mi co-supervisor Prof. Michael Browning por su retroalimentación en mi disertación. De igual manera quiero extender mis agradecimientos a los profesores del Centro de Estudios e Investigaciones en Comportamiento (CEIC) de la Universidad de Guadalajara –donde realicé mi maestría–, ya que es ahí donde aprendí el valor de y rigor de la ciencia. Finalmente, nos gustaría agradecer a los revisores anónimos de Acta Comportamentalia ya que sus comentarios mejoraron considerablemente el manuscrito.

Referencias

- Aguayo-Mendoza, M., Buriticá, J., & Burgos, J. E. (2024). Autosshaped impulsivity: Some explorations with a neural network model. *Behavioural Processes, 218*, 105040. <https://doi.org/10.1016/J.BEPROC.2024.105040>
- Alcalá, J. A., Miller, R. R., Kirkden, R. D., & Urcelay, G. P. (2023). Contiguity and overshadowing interactions in the rapid-streaming procedure. *Learning and Behavior, 1*, 1–20. <https://doi.org/10.3758/S13420-023-00582-4/FIGURES/6>
- Allan, L. G. (1980). A note on measurement of contingency between two binary variables in judgment tasks. *Bulletin of the Psychonomic Society, 15*(3), 147–149. <https://doi.org/10.3758/BF03334492>
- Allan, L. G., Hannah, S. D., Crump, M. J. C., & Siegel, S. (2008). The psychophysics of contingency assessment. *Journal of Experimental Psychology: General, 137*(2), 226–243. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.226>
- Allan, L. G., Siegel, S., & Tangen, J. M. (2005). A signal detection analysis of contingency data. *Learning and Behavior, 33*(2), 250–263. <https://doi.org/10.3758/BF03196067/METRICS>
- Alloy, L. B., & Abramson, L. Y. (1979). Judgment of contingency in depressed and nondepressed students: Sadder but wiser? *Journal of Experimental Psychology: General, 108*(4), 441–485. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.108.4.441>
- Asai, T., & Tanno, Y. (2008). Highly schizotypal students have a weaker sense of self-agency. *Psychiatry and Clinical Neurosciences, 62*(1), 115–119. <https://doi.org/10.1111/J.1440-1819.2007.01768.X>
- Baetu, I., & Baker, A. G. (2009). Human judgments of positive and negative causal chains. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 35*(2), 153–168. <https://doi.org/10.1037/a0013764>

- Baetu, I., Baker, A. G., Darredeau, C., & Murphy, R. A. (2005). A comparative approach to cue competition with one and two strong predictors. *Learning & Behavior, 2005* 33:2, 33(2), 160–171. <https://doi.org/10.3758/BF03196060>
- Baker, A. G., Berbrier, M. W., & Vallée-Tourangeau, F. (1989). Judgements of a 2×2 Contingency Table: Sequential Processing and the Learning Curve. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B, 41*(1), 65–97. <https://doi.org/10.1080/14640748908401184>
- Baker, A. G., & Mackintosh, N. J. (1979). Preexposure to the CS alone, US alone, or CS and US uncorrelated: Latent inhibition, blocking by context or learned irrelevance? *Learning and Motivation, 10*(3), 278–294. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(79\)90034-1](https://doi.org/10.1016/0023-9690(79)90034-1)
- Baker, A. G., Mercier, P., Vallée-Tourangeau, F., Frank, R., & Pan, M. (1993). Selective Associations and Causality Judgments: Presence of a Strong Causal Factor May Reduce Judgments of a Weaker One. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*(2), 414–432. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.2.414>
- Baker, A. G., Msetfi, R. M., Hanley, N., & Murphy, R. A. (2012). Depressive realism? Sadly not wiser. In M. Haselgrove & E. Hogarth (Eds.), *Clinical applications of learning theory* (Psychology Press, pp. 153–177). Psychology Press.
- Baker, A. G., Murphy, R. A., Mehta, R., & Baetu, I. (2005). Mental models of causation: A comparative view. In A. J. Wills (Ed.), *New directions in human associative learning* (pp. 11–40). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Baker, A. G., Murphy, R. A., & Vallée-Tourangeau, F. (1996). Associative and normative models of causal induction: Reacting to versus understanding cause. In D. R. Shanks, K. Holyoak, & D. L. Medin (Eds.), *Causal Learning* (pp. 1–45). Academic Press. <https://psycnet.apa.org/record/2003-00368-001>
- Baker, A. G., Vallée-Tourangeau, F., & Murphy, R. A. (2000). Asymptotic judgment of cause in a relative validity paradigm. *Memory & Cognition, 28*(3), 466–479. <https://doi.org/10.3758/BF03198561>
- Balzan, R. P., Delfabbro, P. H., Galletly, C. A., & Woodward, T. S. (2013). Illusory correlations and control across the psychosis continuum: The contribution of hypersalient evidence-hypothesis matches. *Journal of Nervous and Mental Disease, 201*(4), 319–327. <https://doi.org/10.1097/NMD.0B013E318288E229>
- Blanco, F. (2017). Positive and negative implications of the causal illusion. *Consciousness and Cognition, 50*, 56–68. <https://doi.org/10.1016/J.CONCOG.2016.08.012>
- Blanco, F., Barberia, I., & Matute, H. (2015). Individuals Who Believe in the Paranormal Expose Themselves to Biased Information and Develop More Causal Illusions than Nonbelievers in the Laboratory. *PLOS ONE, 10*(7), e0131378. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0131378>
- Blanco, F., Matute, H., & Vadillo, M. A. (2011). Making the uncontrollable seem controllable: The role of action in the illusion of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 64*(7), 1290–1304. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.552727>

- Blanco, F., Matute, H., & Vadillo, M. A. (2012). Mediating Role of Activity Level in the Depressive Realism Effect. *PLOS ONE*, 7(9), e46203. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0046203>
- Burgos, J. E. (1997). Evolving Artificial Neural Networks in Pavlovian Environments. *Advances in Psychology*, 121(C), 58–79. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(97\)80090-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(97)80090-8)
- Byrom, N. C., Msetfi, R. M., & Murphy, R. A. (2015). Two pathways to causal control: Use and availability of information in the environment in people with and without signs of depression. *Acta Psychologica*, 157, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.ACTPSY.2015.02.004>
- Byrom, N. C., & Murphy, R. A. (2018). Individual differences are more than a gene \times environment interaction: The role of learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 44(1), 36–55. <https://doi.org/10.1037/xan0000157>
- Byrom, N. C., & Murphy, R. A. (2019). Cue competition influences biconditional discrimination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 72(2), 182–192. <https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1363256>
- Castiello de Obeso, S. (2023). *Computational dissection of schizotypy: differential contingency weighting* [University of Oxford]. <https://doi.org/10.5287/ora-2rerbaz1g>
- Castiello, S., Burgos, J. E., Buriticá, J., Dos Santos, C. V., & Alcalá, J. E. (2020). Interaction between magnitude and probability of reinforcement on autoshaped choice. *Revista Mexicana de Analisis de La Conducta*, 46(1). <https://doi.org/10.5514/rmac.v46.i1.76949>
- Castiello, S., Miller, R. R., Witnauer, J. E., Alcaide, D. M., Fung, E., Pitliya, R. J., Morrissey, D. K. C., & Murphy, R. A. (2022). Benefiting from trial spacing without the cost of prolonged training: Frequency, not duration, of trials with absent stimuli enhances perceived contingency. *Journal of Experimental Psychology: General*. <https://doi.org/10.1037/XGE0001166>
- Castiello, S., Ongchoco, J. D. K., van Buren, B., Scholl, B., & Corlett, P. R. (2024). The wolf or the sheep? Paranoid and teleological thinking give rise to distinct social hallucinations in vision. *PsyArXiv*.
- Castiello, S., Senan, S., Msetfi, R. M., & Murphy, R. A. (2020). Traits for depression related to agentic and external control. *Learning and Motivation*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2020.101684>
- Castiello, S., Zhang, W., & Delamater, A. R. (2021). The retrosplenial cortex as a possible “sensory integration” area: A neural network modeling approach of the differential outcomes effect in negative patterning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 185, 107527. <https://doi.org/10.1016/J.NLM.2021.107527>
- Claridge, G. (2018). *Psychopathology and Personality Dimensions: The Selected Works of Gordon Claridge* (1st ed.). Routledge.
- Corlett, P. R., & Fletcher, P. C. (2012). The neurobiology of schizotypy: Frontostriatal prediction error signal correlates with delusion-like beliefs in healthy people. *Neuropsychologia*, 50(14), 3612–3620. <https://doi.org/10.1016/J.NEUropsychologia.2012.09.045>

- Corlett, P. R., & Fletcher, P. C. (2014). Computational psychiatry: a Rosetta Stone linking the brain to mental illness. *The Lancet Psychiatry*, *1*(5), 399–402. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(14\)70298-6](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(14)70298-6)
- Corlett, P. R., Murray, G. K., Honey, G. D., Aitken, M. R. F., Shanks, D. R., Robbins, T. W., Bullmore, E. T., Dickinson, A., & Fletcher, P. C. (2007). Disrupted prediction-error signal in psychosis: Evidence for an associative account of delusions. *Brain*, *130*(9), 2387–2400. <https://doi.org/10.1093/brain/awm173>
- Crump, M. J. C., Hannah, S. D., Allan, L. G., & Hord, L. K. (2007). Contingency judgements on the fly. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(6), 753–761. <https://doi.org/10.1080/17470210701257685>
- Cuve, H. C., Castiello, S., Shiferaw, B., Ichijo, E., Catmur, C., & Bird, G. (2021). Alexithymia explains atypical spatiotemporal dynamics of eye gaze in autism. *Cognition*, *212*. <https://doi.org/10.1016/J.COGNITION.2021.104710>
- Daprati, E., Franck, N., Georgieff, N., Proust, J., Pacherie, E., Dalery, J., & Jeannerod, M. (1997). Looking for the agent: an investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition*, *65*(1), 71–86. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(97\)00039-5](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(97)00039-5)
- Darredeau, C., Baetu, I., Baker, A. G., & Murphy, R. A. (2009). Competition between multiple causes of a single outcome in causal reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *35*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1037/A0012699>
- Delamater, A. R. (2012). On the nature of CS and US representations in Pavlovian learning. *Learning & Behavior*, *40*(1), 1–23. <https://doi.org/10.3758/s13420-011-0036-4>
- Dev, A. S., Moore, D. A., Johnson, S. L., & Garrett, K. T. (2022). Sadder ≠ Wiser: Depressive Realism Is Not Robust to Replication. *Collabra: Psychology*, *8*(1), 565–584. <https://doi.org/10.1525/COLLABRA.38529/194062>
- Dickinson, A. (2001). Causal learning: Association versus computation. *Current Directions in Psychological Science*, *10*(4), 127–132. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00132>
- Dickinson, A., Shanks, D., & Evenden, J. (1984). Judgement of Act-Outcome Contingency: The Role of Selective Attribution. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *36*(1), 29–50. <https://doi.org/10.1080/14640748408401502>
- Donahoe, J. W., Burgos, J. E., & Palmer, D. C. (1993). A Selectionist Approach To Reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *60*(1), 17–40. <https://doi.org/10.1901/JEAB.1993.60-17>
- Fernandes, B. S., Williams, L. M., Steiner, J., Leboyer, M., Carvalho, A. F., & Berk, M. (2017). The new field of “precision psychiatry.” *BMC Medicine*, *15*(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/S12916-017-0849-X/FIGURES/1>
- Ferster, C. B., & Skinner, B. F. (1957). Schedules of reinforcement. In *Schedules of reinforcement*. Appleton-Century-Crofts. <https://doi.org/10.1037/10627-000>
- Griffiths, O., Shehabi, N., Murphy, R. A., & Le Pelley, M. E. (2019). Superstition predicts perception of illusory control. *British Journal of Psychology*, *110*(3), 499–518. <https://doi.org/10.1111/BJOP.12344>

- Hammond, L. J. (1980). The effect of contingency upon the appetitive conditioning of free-operant behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 34(3), 297. <https://doi.org/10.1901/JEAB.1980.34-297>
- Hannah, S. D., Crump, M. J. C., Allan, L. G., & Siegel, S. (2009). Cue-interaction effects in contingency judgments using the streamed-trial procedure. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 63(2), 103–112. <https://doi.org/10.1037/A0013521>
- Jozefowicz, J. (2021). Individual differences in the perception of cue-outcome contingencies: A signal detection analysis. *Behavioural Processes*, 188, 104398. <https://doi.org/10.1016/J.BEPROC.2021.104398>
- Jozefowicz, J., Berruti, A. S., Moshchenko, Y., Peña, T., Polack, C. W., & Miller, R. R. (2020). Retroactive interference: Counterconditioning and extinction with and without biologically significant outcomes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 46(4), 443–459. <https://doi.org/10.1037/XAN0000272>
- Jozefowicz, J., Urcelay, G. P., & Miller, R. R. (2022). Signal detection analysis of contingency assessment: Associative interference and nonreinforcement impact cue-outcome contingency sensitivity, whereas cue density affects bias. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 48(3), 190–202. <https://doi.org/10.1037/XAN0000334>
- Kao, S. F., & Wasserman, E. A. (1993). Assessment of an Information Integration Account of Contingency Judgment With Examination of Subjective Cell Importance and Method of Information Presentation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(6), 1363–1386. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.6.1363>
- Kapur, S. (2003). Psychosis as a State of Aberrant Salience: A Framework Linking Biology, Phenomenology, and Pharmacology in Schizophrenia. *American Journal of Psychiatry*, 160(1), 13–23. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.160.1.13>
- Krakauer, J. W., Ghazanfar, A. A., Gomez-Marín, A., MacIver, M. A., & Poeppel, D. (2017). Neuroscience Needs Behavior: Correcting a Reductionist Bias. *Neuron*, 93(3), 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.12.041>
- Langer, E. J. (1975). The illusion of control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 32(2), 311–328. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.32.2.311>
- Laux, J. P., Goedert, K. M., & Markman, A. B. (2010). Causal discounting in the presence of a stronger cue is due to bias. *Psychonomic Bulletin and Review*, 17(2), 213–218. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.2.213/METRICS>
- Lee, H. J., Cogle, J. R., & Telch, M. J. (2005). Thought–action fusion and its relationship to schizotypy and OCD symptoms. *Behaviour Research and Therapy*, 43(1), 29–41. <https://doi.org/10.1016/J.BRAT.2003.11.002>
- Mackintosh, N. J. (1975). A theory of attention: Variations in the associability of stimuli with reinforcement. *Psychological Review*, 82(4), 276–298. <https://doi.org/10.1037/h0076778>
- Maia, S., Lefèvre, F., & Jozefowicz, J. (2018). Psychophysics of associative learning: Quantitative properties of subjective contingency. *Journal of*

- Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 44(1), 67–81. <https://doi.org/10.1037/xan0000153>
- Miller, R. R., & Barnet, R. C. (1993). The Role of Time in Elementary Associations. *Current Directions in Psychological Science*, 2(4), 106–111. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.EP10772577>
- Miller, R. R., Barnet, R. C., & Grahame, N. J. (1995). Assessment of the Rescorla-Wagner model. *Psychological Bulletin*, 117(3), 363–386. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.3.363>
- Mohr, C., & Claridge, G. (2015). Schizotypy--Do Not Worry, It Is Not All Worrisome. *Schizophrenia Bulletin*, 41(suppl 2), S436–S443. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbu185>
- Moore, J. W. (2016). What Is the Sense of Agency and Why Does it Matter? *Frontiers in Psychology*, 7(AUG). <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2016.01272>
- Moore, J. W., Dickinson, A., & Fletcher, P. C. (2011). Sense of agency, associative learning, and schizotypy. *Consciousness and Cognition*, 20(3–2), 792. <https://doi.org/10.1016/J.CONCOG.2011.01.002>
- Moritz, S., Thompson, S. C., & Andreou, C. (2014). Illusory Control in Schizophrenia. *Journal of Experimental Psychopathology*, 5(2), 113–122. <https://doi.org/10.5127/JEP.036113>
- Morris, R. W., Cyrzon, C., Green, M. J., Le Pelley, M. E., & Balleine, B. W. (2018). Impairments in action–outcome learning in schizophrenia. *Translational Psychiatry*, 8(1), 54. <https://doi.org/10.1038/s41398-018-0103-0>
- Morris, R. W., Quail, S., Griffiths, K. R., Green, M. J., & Balleine, B. W. (2015). Corticostriatal Control of Goal-Directed Action Is Impaired in Schizophrenia. *Biological Psychiatry*, 77(2), 187–195. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPSYCH.2014.06.005>
- Msetfi, R. M., Byrom, N., & Murphy, R. A. (2017). To neglect or integrate contingency information from outside the task frame, that is the question! Effects of depressed mood. *Acta Psychologica*, 178, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.ACTPSY.2017.05.003>
- Msetfi, R. M., Kornbrot, D. E., Matute, H., & Murphy, R. A. (2015). The relationship between mood state and perceived control in contingency learning: effects of individualist and collectivist values. *Frontiers in Psychology*, 6, 1430. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2015.01430/BIBTEX>
- Msetfi, R. M., Kumar, P., Harmer, C. J., & Murphy, R. A. (2016). SSRI enhances sensitivity to background outcomes and modulates response rates: A randomized double blind study of instrumental action and depression. *Neurobiology of Learning and Memory*, 131, 76–82. <https://doi.org/10.1016/J.NLM.2016.03.004>
- Msetfi, R. M., Murphy, R. A., & Kornbrot, D. E. (2012). Dysphoric mood states are related to sensitivity to temporal changes in contingency. *Frontiers in Psychology*, 3(SEP), 368. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2012.00368/BIBTEX>
- Msetfi, R. M., Murphy, R. A., & Simpson, J. (2007). Depressive realism and the effect of intertrial interval on judgements of zero, positive, and negative contingencies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(3), 461–481. <https://doi.org/10.1080/17470210601002595>

- Msetfi, R. M., Simpson, J., Murphy, R. A., & Kornbrot, D. E. (2005). Depressive realism and outcome density bias in contingency judgments: The effect of the context and intertrial interval. In *Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 134, Issue 1, pp. 10–22). <https://doi.org/10.1037/0096-3445.134.1.10>
- Msetfi, R. M., Wade, C., & Murphy, R. A. (2013). Context and Time in Causal Learning: Contingency and Mood Dependent Effects. *PLoS ONE*, 8(5), e64063–e64063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064063>
- Murphy, R. A., Baker, A. G., & Fouquet, N. (2001a). Relative validity effects with either one or two more valid cues in Pavlovian and instrumental conditioning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27(1), 59–67. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.27.1.59>
- Murphy, R. A., Baker, A. G., & Fouquet, N. (2001b). Relative validity of contextual and discrete cues. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27(2), 137–152. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.27.2.137>
- Murphy, R. A., Byrom, N., & Msetfi, R. M. (2017). The problem with explaining symptoms: The origin of biases in causal processing. *European Journal for Person Centered Healthcare*, 5(3), 344. <https://doi.org/10.5750/EJPCH. V5I3.1318>
- Murphy, R. A., Mondragón, E., & Murphy, V. A. (2008). Rule learning by rats. *Science*, 319(5871), 1849–1851. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1151564/SUPPL_FILE/MURPHY.SOM.PDF
- Murphy, R. A., Mondragón, E., Murphy, V. A., & Fouquet, N. (2004). Serial order of conditional stimuli as a discriminative cue for Pavlovian conditioning. *Behavioural Processes*, 67(2), 303–311. <https://doi.org/10.1016/J.BEPROC.2004.05.003>
- Murphy, R. A., & Msetfi, R. M. (2014). Individual differences in associative learning. *Frontiers in Psychology*, 5(MAY). <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2014.00466>
- Murphy, R. A., Schmeer, S., Vallée-Tourangeau, F., Mondragón, E., & Hilton, D. (2011). Making the illusory correlation effect appear and then disappear: The effects of increased learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(1), 24–40. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.493615>
- Murphy, R. A., Vallée-Tourangeau, F., Msetfi, R., & Baker, A. G. (2005). Signal-outcome contingency, contiguity, and the depressive realism effect. In A. J. Wills (Ed.), *New directions in human associative learning* (pp. 193–219). Lawrence Erlbaum Associates Publishers. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2Vd6AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA193&dq=Signal-outcome+contingency,+contiguity,+and+the+depressive+realism+effect.+&ots=_qJ7Lo5gRy&sig=FLmngx36m_VJ_IVrGhuQs18UFI
- Murphy, R. A., Witnauer, J. E., Castiello, S., Tsvetkov, A., Li, A., Alcaide, D. M., & Miller, R. R. (2022). More frequent, shorter trials enhance acquisition in a training session: There is a free lunch! *Journal of Experimental Psychology: General*, 151(1), 41–64. <https://doi.org/10.1037/XGE0000910>
- Mutter, S. A., & Arnold, J. P. (2021). Aging and associative binding in contingency learning. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 28(5), 701–716. <https://doi.org/10.1080/13825585.2020.1812500>

- Na, S., Blackmore, S., Chung, D., O'Brien, M., Banker, S. M., Heflin, M., Fiore, V. G., & Gu, X. (2022). Computational mechanisms underlying illusion of control in delusional individuals. *Schizophrenia Research*, *245*, 50–58. <https://doi.org/10.1016/J.SCHRES.2022.01.054>
- Ojeda-Aguilar, Y. L., Burgos, J. E., García-Leal, O., & Buriticá, J. (2023). Ensombrecimiento posterior al preentrenamiento de cada EC en redes neurales artificiales y ratas. *Acta Comportamentalia*, *31*(3), 441–465.
- Ongchoco, J. D. K., Castiello, S., & Corlett, P. R. (2023). Excessive teleological thinking is driven by aberrant associations and not by failure of reasoning. *IScience*, *26*(9). <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2023.107643>
- Pearce, J. M., & Hall, G. (1980). A model for Pavlovian learning: Variations in the effectiveness of conditioned but not of unconditioned stimuli. *Psychological Review*, *87*(6), 532–552. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.6.532>
- Perales, J. C., Catena, A., Ramos, M. M., & Maldonado, A. (1999). Aprendizaje de relaciones de contingencia y causalidad: Una aproximación a las tendencias teóricas actuales. *Psicológica*, *20*, 163–193.
- Pitliya, R. J., & Murphy, R. A. (2024). A Model of Agential Learning Using Active Inference. *Communications in Computer and Information Science*, *1915 CCIS*, 106–120. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47958-8_8/FIGURES/4
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In A. H. B. and W. F. Prokasy (Ed.), *Classical Conditioning II* (pp. 64–99). Appleton-Century-Crofts.
- Ribes, E. (1995). Causalidad y Contingencia. *Revista Mexicana de Análisis de La Conducta*, *3*(21), 123–142.
- Rossi-Goldthorpe, R., Silverstein, S. M., Gold, J. M., Schiffman, J., Waltz, J. A., Williams, T. F., Powers, A. R., Woods, S. W., Zinbarg, R. E., Mittal, V. A., Ellman, L. M., Strauss, G. P., Walker, E. F., Levin, J. A., Castiello, S., Kenney, J., & Corlett, P. R. (2024). Different learning aberrations relate to delusion-like beliefs with different contents. *Brain*. <https://doi.org/10.1093/brain/awae122>
- Salgado-Pineda, P., Fuentes-Claramonte, P., Spanlang, B., Pomes, A., Landin-Romero, R., Portillo, F., Bosque, C., Franquelo, J. C., Teixido, C., Sarró, S., Salvador, R., & Pomarol-Clotet, E. (2021). Neural correlates of disturbance in the sense of agency in schizophrenia: An fMRI study using the ‘enfacement’ paradigm. *Schizophrenia Research*. <https://doi.org/10.1016/J.SCHRES.2021.06.031>
- Savastano, H. I., & Miller, R. R. (1998). Time as content in Pavlovian conditioning. *Behavioural Processes*, *44*(2), 147–162. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(98\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(98)00046-1)
- Saylik, R., Castiello, S., & Murphy, R. A. (2021). The role of emotional interference on learning in an emotional probabilistic Go/No-Go task. *Dusunen Adam The Journal of Psychiatry and Neurological Sciences*, *34*, 23–31. <https://doi.org/10.14744/DAJPNS.2021.00117>

- Schoenfeld, W. N., & Farmer, J. (1970). Reinforcement schedules and the “behavior stream”. In W. N. Schoenfeld (Ed.), *The theory of reinforcement schedules* (pp. 215–224). Appleton-Century-Crofts.
- Shanks, D. R. (1985). Forward and Backward Blocking in Human Contingency Judgement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 37(1b), 1–21. <https://doi.org/10.1080/14640748508402082>
- Shanks, D. R. (1995). The Psychology of Associative Learning. *The Psychology of Associative Learning*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623288>
- Shanks, D. R., & Dickinson, A. (1987). Associative Accounts of Causality Judgment. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 21, Issue C, pp. 229–261). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60030-4](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60030-4)
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
- Siegel, S., Allan, L. G., Hannah, S. D., & Crump, M. J. C. (2009). Applying Signal Detection Theory to Contingency Assessment. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 4. <https://doi.org/10.3819/CCBR.2009.40012>
- Sterzer, P., Adams, R. A., Fletcher, P., Frith, C., Lawrie, S. M., Muckli, L., Petrovic, P., Uhlhaas, P., Voss, M., & Corlett, P. R. (2018). The Predictive Coding Account of Psychosis. *Biological Psychiatry*, 84(9), 634–643. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPSYCH.2018.05.015>
- Sutton, R. S., & Barto, A. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (A. Barto, Ed.; Second). The MIT Press.
- Treviño, M. (2016). Associative learning through acquired salience. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 353. <https://doi.org/10.3389/FNBEH.2015.00353/BIBTEX>
- Treviño, M., Castiello, S., De la Torre-Valdovinos, B., Osuna Carrasco, P., Medina-Coss y León, R., & Arias-Carrión, O. (2023). Two-stage reinforcement learning task predicts psychological traits. *PsyCh Journal*, 12(3), 355–367. <https://doi.org/10.1002/PCHJ.633>
- Vallée-Tourangeau, F., Murphy, R. A., & Baker, A. G. (2005). Contiguity and the outcome density bias in action-outcome contingency judgements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B: Comparative and Physiological Psychology*, 58(2), 177–192. <https://doi.org/10.1080/02724990444000104>
- Wasserman, E. A., Elek, S. M., Chatlosh, D. L., & Baker, A. G. (1993). Rating causal relations: Role of probability in judgments of response^outcome contingency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(1), 174–188. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.1.174>
- White, P. A. (2006). The causal asymmetry. *Psychological Review*, 113(1), 132–147. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.113.1.132>
- Witnauer, J. E., Castiello, S., Fung, E., Pitliya, R. J., Murphy, R. A., & Miller, R. R. (2022). Determinants of extinction in a streamed trial procedure. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. <https://doi.org/10.1177/17470218221110827>

Apéndice A

Simetría entre información presente y ausente

En este apéndice mostramos que la presencia y ausencia de un estímulo (E) puede proveer la misma cantidad de información en bits con base en la Teoría de Información (Shannon, 1948; cf. White, 2006). Asumimos que los E son variables aleatorias –i.e., $E \sim B e(p) : E \in \{0, 1\}$, en otras palabras, un experimento de Bernoulli con probabilidad de éxito p . La entropía (H) de una variable aleatoria E es (Shannon, 1948):

$$H(E) = -\sum_{e \in E} p(e) * \log_2 [p(e)] \tag{eq. A1},$$

en donde a mayor valor de H , mayor cantidad de información requerida para describir E (ver más en Capítulo 4; Castiello de Obeso, 2023). Asimismo, la entropía conjunta entre dos $E1$ y $E2$ es:

$$H(E1, E2) = -\sum_{e1 \in E1} \sum_{e2 \in E2} p(e1, e2) * \log_2 [p(e1, e2)] \tag{eq. A2}.$$

Finalmente, la información mutua (I) entre los dos eventos es:

$$I(E1, E2) = H(E1) + H(E2) - H(E1, E2) \tag{eq. A3}.$$

Para ejemplificar esto, tomamos cuatro combinaciones de celdas de contingencias y las presentamos en la Tabla A1. Dos de ellas tienen ΔP de 0.25 y las otras dos -0.25. Aquí mostramos que $I(E1, E2)$ es la misma cantidad para cualquiera de las cuatro contingencias, y esto independientemente de la presencia o ausencia tanto de $E1$ como de $E2$. Para ambas contingencias con ΔP de 0.25.

Tabla A1
Contingencias e Información Mutua (I) entre E1 y E2

Frecuencia de Eventos en Tabla de Contingencias	p(E2 E1)	p(E2 ~E1)	ΔP	I(E1, E2)
A15; B5; C5; D5	0.75	0.5	0.25	0.04
A5; B15; C5; D5	0.25	0.5	-0.25	0.04
A5; B5; C15; D5	0.5	0.75	-0.25	0.04
A5; B5; C5; D15	0.5	0.25	0.25	0.04

Nota: p(E2|E1) = probabilidad de E2 dado E1; p(E2|~E1) = probabilidad de E2 dada la ausencia de E2; $\Delta P = p(E2|E1) - p(E2|~E1)$; I(E1, E2) = Información Mutua entre E1 y E2.

