



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y
SOCIALES

**Evaluación empírica del modelo de Inferencia Activa
a través de la manipulación de falso feedback en el
reconocimiento facial emocional**

Autor/a: Teresa Garzón Molina

Director/a: Ignacio Echevoyen Blanco

Madrid

2025/2026

A mi padre.

“La muerte no es nada, solo he pasado a la habitación de al lado.”

En la memoria nadie muere.

Guardo tu recuerdo en cada palabra de este camino para que nunca dejes de acompañarme.

Resumen

El marco del Procesamiento Predictivo y de la Inferencia Activa concibe la experiencia emocional como el resultado de inferencias que integran señales sensoriales e interoceptivas para estimar el estado del cuerpo. Este proceso depende de la asignación de precisión entre señales internas y externas. Cuando la señal interoceptiva externa es considerada suficientemente fiable, puede inducir una actualización de las creencias sobre el estado corporal. En este estudio examinamos si la alteración del feedback cardíaco modula la evaluación emocional de rostros y la actividad cardíaca. Los participantes evaluaron la intensidad emocional de estímulos faciales mientras escuchaban feedback cardíaco real o manipulado. La manipulación no produjo cambios en los juicios emocionales ni en la respuesta fisiológica, indicando que la señal manipulada podría no haber sido incorporada en la inferencia corporal. Estos resultados contrastan con otros paradigmas donde el estado corporal es directamente relevante (dolor o esfuerzo), y refuerzan la brecha entre la formulación teórica del modelo y su validación empírica.

Palabras clave: inferencia activa, interocepción, feedback cardíaco manipulado, evaluación emocional, modelos lineales mixtos

Abstract

The Predictive Processing and Active Inference framework conceptualizes emotional experience as the result of inferences that integrate sensory and interoceptive signals to estimate the state of the body. This process depends on the relative precision assigned to internal and external signals. When external interoceptive input is considered sufficiently reliable, it can induce an update of beliefs about the bodily state. In this study, we examine whether altering cardiac feedback modulates the emotional evaluation of faces and cardiac activity. Participants evaluated the emotional intensity of facial stimuli while listening to real or manipulated cardiac feedback. The manipulation did not produce changes in either emotional judgments or physiological responses, indicating that the manipulated signal may not have been incorporated into bodily inference. These findings contrast with paradigms in which bodily state is directly relevant (e.g., pain or effort) and reinforce the gap between the theoretical formulation of the model and its empirical validation.

Keywords: active inference, interoception, manipulated cardiac feedback, emotional evaluation, linear mixed models

Tabla de contenido

Resumen.....	3
Introducción	6
Procesamiento predictivo.....	6
Inferencia activa.....	7
Interocepción	9
Evaluación emocional.....	11
Validación experimental	12
Brecha empírica	13
Objetivo e Hipótesis.....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
Hipótesis	14
Metodología	15
Participantes.....	15
Diseño experimental	15
Procedimiento	20
Análisis de datos.....	21
Hipótesis principales.....	22
Hipótesis exploratorias	23
Resultados.....	24
Hipótesis principales.....	24
Hipótesis exploratorias	24
Discusión y conclusiones.....	25
Síntesis de resultados	25
Interpretación desde el marco de la inferencia activa.....	25
Interpretaciones alternativas	26

Limitaciones metodológicas	26
Implicaciones teóricas y brecha empírica	27
Líneas futuras de investigación.....	29
Bibliografía.....	31
Anexos.....	37

Introducción

Procesamiento predictivo

Existe una asimetría en la arquitectura cortical que el modelo clásico de percepción no logra explicar; si la información fluyera únicamente desde los órganos sensoriales hacia niveles superiores, resultaría difícil justificar la densidad de conexiones descendentes que caracteriza al sistema nervioso central (Kandel et al., 2013). Como advierten Walsh et al. (2020) y Millidge et al. (2021), esta visión *feedforward* no solo ignora la anatomía cerebral, sino que es incapaz de explicar el peso de nuestras expectativas en la experiencia vivida. Probablemente por el amplio potencial explicativo de estas propuestas, el modelo de Procesamiento Predictivo (PP) y su ampliación en Inferencia Activa (AI), se han convertido recientemente en marcos de referencia para dar respuesta a estas limitaciones, tal y como exponen Hodson et al. (2024) y Millidge et al. (2021) en sus revisiones.

En sus concepciones iniciales, el PP aplicado a la percepción sugiere que inferimos el estado más probable del mundo minimizando los errores de predicción acerca de su contenido, tal y como exponen Friston (2008) y Walsh et al. (2020). Se trata de una inversión de la lógica, donde en lugar de acumular señales sensoriales para construir una imagen del mundo, el sistema genera predicciones *top-down* sobre lo que espera encontrar en el nivel inmediatamente inferior. La señal de error predictivo aparece cuando la actividad de un nivel de la jerarquía no se corresponde con lo anticipado por las predicciones.

Más específicamente, este modelo describe la arquitectura cerebral como una cascada profunda y multinivel (Hodson et al., 2024; Millidge et al., 2021), reconceptualizando así los enfoques más clásicos. Debido a la naturaleza jerárquica del cerebro, las predicciones se propagan de forma descendente. A través del intercambio de señales entre niveles de la jerarquía, los estratos superiores reevalúan y ajustan sus hipótesis. En otras palabras, la señal de error predictivo avisa al sistema de las incongruencias entre las predicciones del modelo y las señales sensoriales entrantes, lo que lleva al sistema a actualizar sus hipótesis para reducir este error.

Sin embargo, el cerebro no opera de forma indiscriminada ni otorga el mismo valor a todos los errores. La relevancia de cada señal depende de la precisión, entendida como una estimación de la fiabilidad o la relación señal-ruido de la información (Clark, 2013). En la práctica, solo los errores que el sistema etiqueta como altamente fiables consiguen

“romper” el filtro jerárquico. Son estos, y no otros, los que tienen la entidad suficiente para forzar una reevaluación de las creencias en los niveles superiores (Walsh et al., 2020; Toussaint et al., 2024).

Esta arquitectura convierte al cerebro en un sistema de inferencia bayesiana jerárquico. En sentido estricto, esto no implica que el cerebro realice cálculos bayesianos explícitos, sino que su dinámica puede describirse formalmente bajo ese marco probabilístico. Las inferencias son distribuciones de probabilidad codificadas neuronalmente sobre las causas del entorno, los estados sensoriales y la propia condición corporal interna (Millidge et al., 2021; Mann et al., 2022). En otras palabras, no nos limitamos a reaccionar frente al mundo, sino que lo construimos. Mediante el ajuste constante de sus hipótesis, la minimización del error predictivo se erige como el eje que da sentido a lo que percibimos (Friston, 2008; Smith et al., 2022).

Un caso ampliamente discutido en la literatura es la ‘Rubber Hand Illusion’. Cuando una mano de goma es acariciada de forma sincronizada con la mano real oculta del participante, muchas personas llegan a experimentar la mano artificial como propia. Desde nuestro marco, este fenómeno es el resultado de cómo el cerebro resuelve un conflicto entre señales visuales, táctiles y propioceptivas al actualizar su modelo corporal para minimizar el error de predicción.

El problema del PP es que, a pesar de ofrecer un marco formal para integrar percepción y acción, hasta ahora el foco se ha centrado principalmente en la dimensión representacional del modelo, dejando de lado el papel que el comportamiento ejerce sobre el flujo sensorial (Bowman et al., 2023; Van De Cruys & Van Dessel, 2021). Percibir no es un acto puramente pasivo, pues el agente selecciona activamente conductas para moldear su propia experiencia. La Inferencia Activa amplía el marco del Procesamiento Predictivo al incorporar la acción como parte del proceso inferencial. En sintonía con Ramstead et al. (2020), la inferencia activa adquiere una dimensión enactiva: el sujeto no es solo un cerebro dedicado a reducir su incertidumbre interna, sino un organismo corporizado que regula y construye su relación con el entorno a través del movimiento.

Inferencia activa

La Inferencia Activa se apoya en la estadística bayesiana, entendiendo la toma de decisiones como un proceso continuo de actualización probabilística. En este marco, desarrollado formalmente por Friston et al. (2010) y ampliado en trabajos posteriores

como los de Smith et al. (2022), el agente integra sus creencias previas (*priors*) con la evidencia sensorial entrante para perfeccionar su conocimiento sobre los estados ocultos del entorno. Lejos de ser una predicción estática, el Principio de Energía Libre adquiere un carácter proactivo: el agente asume un rol interventivo, cuestionando el mundo a través de la acción. El organismo infiere qué conductas tienen mayor probabilidad de satisfacer sus preferencias sensoriales. La acción deja de ser una simple respuesta motora para convertirse, en línea con lo propuesto por Parr y Friston (2017), en el puente que alinea la realidad externa con las expectativas internas.

Esta capacidad de intervención parte de una base clara: los agentes intervienen directamente sobre el mundo. Para ello, despliegan planes y políticas de acción orientados a reducir la energía libre generalizada (GFE) (Parr y Friston, 2019). Para poder comprender bien este concepto, conviene aclarar sus componentes. Mientras la energía libre variacional (VFE) resuelve el ‘aquí y el ahora’ ajustando la percepción y la acción inmediata, procesos como la planificación, la selección de acciones y la toma de decisiones exigen una mirada de largo alcance. Es ahí donde el sistema minimiza la energía libre esperada (EFE), proyectando las consecuencias de sus políticas hacia el futuro, un principio formalizado en los trabajos de Friston et al. (2010, 2017) y desarrollado posteriormente por Parr & Friston (2019).

La gran novedad que aporta la Energía Libre Esperada (EFE por sus siglas en inglés) es que resuelve el clásico dilema entre exploración y explotación sin la necesidad de tratarlos como procesos separados. A diferencia de otros modelos que los tratan como impulsos antagónicos, la EFE los integra bajo un único criterio de selección de políticas. En la práctica, la EFE se desglosa en dos términos: un componente epistémico, dirigido a reducir la incertidumbre sobre los estados ocultos del entorno (aprender algo nuevo sobre el entorno), y un componente pragmático o instrumental (llevar a cabo una acción cuyos efectos son conocidos), cuya finalidad es maximizar la obtención de los resultados preferidos por el organismo. Visto así, exploración y explotación dejan de ser mecanismos en conflicto para entenderse como dos contribuciones que operan de forma sinérgica dentro de una misma función objetivo (Friston et al., 2015; Parr & Friston, 2017).

La Energía Libre Generalizada (GFE) actúa como una función objetivo unificada. Tiene un valor práctico: permite integrar en un mismo cálculo el aprendizaje basado en la evidencia presente y la selección de políticas futuras. Esta fórmula amalgama la VFE

y la EFE, logrando que ambas operen en sintonía al equilibrar las consecuencias anticipadas de la acción con la incertidumbre que define al sistema (Parr & Friston, 2019).

Este proceso de minimización se apoya en dos mecanismos que operan en paralelo. Mientras la inferencia perceptual permite al organismo actualizar sus creencias para que estas reflejen con fidelidad la evidencia sensorial, la acción actúa en la dirección opuesta: el agente interviene en el entorno para que sea la realidad la que se amolde a sus predicciones (Friston et al., 2010; 2017). En este intercambio, conocimiento y comportamiento se fusionan en un ciclo continuo que blinda la integridad del modelo interno frente a la variabilidad del mundo.

En este punto, la acción deja de entenderse como una respuesta reactiva frente a los estímulos para concebirse como un proceso diferencial. Es aquí donde se marca la distancia con el Procesamiento Predictivo tradicional: mientras que este se limita a explicar cómo el cerebro actualiza sus creencias a partir de la evidencia, la Inferencia Activa sostiene que el agente interviene proactivamente sobre el entorno. En lugar de limitarse a registrar la información, el sistema utiliza la acción para muestrear activamente el mundo en función de sus predicciones. El fin de esta intervención es que la realidad futura termine por validar las expectativas del modelo generativo. Las políticas de acción se infieren, por tanto, bajo la misma lógica que los estados ocultos. Su selección corresponde a su capacidad para minimizar la energía libre esperada (Friston et al., 2015; Parr & Friston, 2017).

Interocepción

Siguiendo la definición clásica de Craig (2003), entendemos la interocepción como la integración de las señales autonómicas, viscerales y hormonales que emanan del organismo. En el marco de la inferencia activa, la percepción interoceptiva deja de ser un registro pasivo de cambios internos, como suele entenderse desde el modelo *feedforward*, para entenderse como una interpretación inferencial de las sensaciones (Seth y Friston, 2016). Como proponen Friston (2010) y Smith et al. (2022), esta interpretación está mediada por la representación probabilística interna que el cerebro posee sobre su propio estado corporal.

Por tanto, el control interoceptivo va más allá de la regulación homeostática tradicional, que suele verse como una respuesta reactiva ante el desequilibrio, para adoptar una forma alostática y predictiva (Barrett, 2016; Seth & Friston, 2016). Esto da

lugar a una dinámica circular en la que ese establece una interacción bidireccional. Donde las predicciones descendentes se anticipan al cambio fisiológico y preconfiguran la actividad autonómica, mientras que las señales interoceptivas ascendentes permiten la actualización de dichas predicciones. En términos de Inferencia Activa, estaríamos hablando de los componentes pragmáticos y epistémicos de la EFE. El primero busca mantener el organismo dentro de los niveles adecuados para su supervivencia. El segundo, en cambio, reduce la incertidumbre sobre el estado del cuerpo actualizando continuamente sus creencias internas (Friston et al., 2015)

El fin de esta doble interacción es asegurar la estabilidad del organismo al anticiparse a sus necesidades biológicas (Friston, 2008; Tschantz et al., 2022). Es decir, se trata de un sistema con la capacidad de minimizar la energía libre generalizada, como describen Parr y Friston (2018). Precisamente esta minimización es la que orienta la selección de políticas interoceptivas destinadas a reducir la energía libre esperada (Friston et al., 2015; Parr & Friston, 2017).

Así, la interocepción se convierte en un proceso activo en el que el organismo percibe y regula su propio estado corporal (Ramstead et al., 2020; Seth, 2013). Esta formulación puede resultar abstracta por lo que conviene ilustrarla con un caso concreto. Un ejemplo es la sed: no debería entenderse como una respuesta a la deshidratación ya presente, sino como la expresión de una predicción interoceptiva. Como sugieren Seth y Friston (2016), el cerebro anticipa el déficit hídrico antes de que sea crítico y moviliza la conducta de búsqueda de agua (acción). Dicho de otro modo, la experiencia subjetiva de la sed no sería simplemente una consecuencia del estado fisiológico, sino parte del mecanismo regulador que permite al organismo mantenerse dentro de sus límites viables (Barrett, 2016).

Con estas piezas en su lugar, puede entenderse mejor el alcance del planteamiento de la Inferencia Activa: el cerebro regula activamente el cuerpo dentro de un marco inferencial jerárquico (Friston, 2010; Parr & Friston, 2017). Al codificar variables internas y externas dentro de niveles jerárquicos profundos, el sistema puede seleccionar políticas de acción que no solo responden al entorno, sino que protegen la integridad del organismo (Hesp et al., 2021; Toussaint et al., 2024).

Esta convergencia es la que da coherencia a nuestra identidad física, dando forma a lo que Limanowski y Blankenburg (2013) denominan el “modelo del *self* corporal”.

Evaluación emocional

Llegados a este punto, la evaluación emocional deja de ser una respuesta refleja ante estímulos externos para entenderse como la culminación de este proceso jerárquico. En este marco, Lisa Feldman Barrett (2016) rompe con la visión clásica al proponer que las emociones no poseen “firmas biológicas” universales. Más bien pueden entenderse como categorías conceptuales que el cerebro construye para dar sentido al flujo de señales interoceptivas. Integrando información interoceptiva, exteroceptiva y conceptual, el cerebro actúa como un modelo generativo orientado a la homeostasis; prediciendo las necesidades energéticas y minimizando los errores.

Igualmente, de estas predicciones interoceptivas emergen tanto la emoción como el “yo encarnado”, tal y como sostiene Anil Seth (2013). De acuerdo a su visión, el sentimiento subjetivo puede entenderse como la mejor hipótesis que el sistema puede formular sobre qué significa su estado corporal en un momento dado. Esta idea se expande con la propuesta de Seth y Friston (2016) sobre la causalidad circular: el cerebro utiliza sus predicciones para ajustar los reflejos autonómicos, de manera que la emoción cumple una función reguladora.

No obstante, conviene distinguir esta visión constructivista de modelos más locales, como el modelo propuesto por Joffily y Coricelli (2013). Estos autores proponen una formalización matemática de la valencia emocional, en la que esta se define en términos de la tasa de cambio negativa de la energía libre a lo largo del tiempo, entendida como una señal que refleja cómo está evolucionando el ajuste entre las expectativas del modelo y la información sensorial. El *mood* puede entenderse como una estimación más global de esta dinámica, que resume cómo le está yendo al organismo en su interacción con el entorno y orienta sus expectativas futuras (Kiverstein et al., 2020).

Si bien esta formulación matemática aporta un encaje de los aspectos elementales de la emoción en el modelo, en el presente trabajo se asume una postura más integradora, similar a la de Casper Hesp y colaboradores (2021). En su modelo de “afecto profundo”, la valencia es una estimación metacognitiva del éxito del propio modelo generativo. Esto también puede entenderse en términos de energía libre. A diferencia de los modelos anteriores, se refiere a una evaluación más global del funcionamiento del sistema, no tanto a la dinámica del error en sí (como en el modo), sino al éxito de las políticas que el organismo pone en juego. La “carga afectiva” informa al sistema sobre cuán eficaces

están siendo sus estrategias alostáticas, convirtiendo la emoción en un índice sintético que une la regulación fisiológica más básica con la narrativa del yo.

A la luz de lo expuesto, la inferencia activa permite comprender la emoción, la valencia y la autoconsciencia como expresiones de un sistema que busca preservar su integridad biológica mediante la regulación predictiva y constante de su propio estado corporal (Hesp et al., 2021; Toussaint et al., 2024).

Validación experimental

La viabilidad de estos modelos jerárquicos en el ámbito de la interocepción ha comenzado a explorarse de forma aún limitada mediante paradigmas de falso feedback autonómico. La hipótesis central es que el efecto del feedback manipulado sobre la inferencia del estado interno del cuerpo dependerá de la asignación relativa de precisión entre la señal externa y el modelo interno. De este modo, la actualización de las creencias corporales solo se producirá cuando la primera tenga suficiente peso en relación con la segunda. Bajo este supuesto, los experimentos de falso feedback no son meros engaños perceptivos, sino “sondas” que permiten observar cómo el sistema gestiona un error de predicción inducido artificialmente.

Siguiendo esta línea argumental, cuando un sujeto recibe un latido cardíaco falso (manipulando su frecuencia o ritmo), se genera una discrepancia entre el *prior* (la expectativa de calma/activación) y la evidencia sensorial (el sonido de un corazón acelerado). En la formulación de Seth y Friston (2016), la resolución de este conflicto dependerá de la asignación relativa de precisión al *prior* y a la señal sensorial. Así, si el *prior* (señales interoceptivas) posee una alta precisión, el sistema tenderá a mantener sus inferencias sobre el estado corporal y reducirá el peso asignado a la señal externa, tratándola como poco fiable. Por el contrario, cuando la señal exteroceptiva es considerada suficientemente precisa en relación con el modelo interno, aumentará la probabilidad de que se produzca una actualización de las creencias corporales.

Este mecanismo explica por qué, desde los trabajos pioneros de Valins (1966) hasta estudios contemporáneos sobre la percepción del esfuerzo (Iodice et al., 2019), los sujetos reajustan su experiencia afectiva y, en ocasiones, su conducta en función de la percepción de un latido distinto.

Esta línea de investigación ha mostrado que el falso feedback cardíaco puede modular distintas dimensiones de la experiencia. Por ejemplo, se ha observado que puede alterar

la percepción del dolor (Parrotta et al., 2023), sesgar la evaluación de estereotipos sociales (Azevedo et al., 2017) o incluso influir en la respuesta emocional ante estímulos visuales (Patchitt et al., 2025). En todos estos casos, los resultados son compatibles con las predicciones del modelo, en el sentido de que la emoción y la acción emergen como la “mejor explicación” que el modelo generativo encuentra para dar sentido a una entrada sensorial contradictoria. Esto cuestiona la idea de que la interocepción sea un simple registro fisiológico y la sitúa dentro de un proceso inferencial dinámico, sensible a las modulaciones contextuales. Aun así, esto no implica que estos efectos reflejen de forma clara mecanismos interoceptivos, y su interpretación sigue siendo discutida.

Brecha empírica

A pesar de la sofisticación matemática y del atractivo integrador de la Inferencia Activa, el marco teórico se enfrenta actualmente a lo que diversos autores han bautizado como una “brecha de validación”. Es decir, el desarrollo teórico del modelo ha avanzado más rápido que la evidencia empírica que permite contrastarlo (Hodson et al., 2024). Aunque experimentos como los de falso feedback han aportado resultados interesantes, la comunidad científica advierte que gran parte de la arquitectura del Procesamiento Predictivo podría explicarse mediante mecanismos más tradicionales. En particular, se debate si las señales neuronales observadas realmente reflejan errores de predicción jerárquicos o si pudieran explicarse a través de mecanismos alternativos, como la adaptación neuronal o modelos *feedforward* de procesamiento sensorial (Walsh et al., 2020).

A esto se añade la cuestión de la falsabilidad del marco. Bowman et al. (2023) sugieren que la flexibilidad del modelo puede dificultar la generación de predicciones empíricas claramente diferenciables frente a teorías alternativas. Al mismo tiempo, estudios sobre aprendizaje y percepción sugieren que la actualización de las predicciones no siempre se ajusta al comportamiento de un observador bayesiano ideal. Más bien, en palabras de Yon et al. (2019), nos encontramos frente a un “científico testarudo”, pues el cerebro mantiene ciertas expectativas incluso frente a evidencia contradictoria.

Esta desconexión entre la potencia teórica y la consistencia de los datos constituye el núcleo de la problemática actual en el campo. Es precisamente ante la necesidad de aportar evidencia primaria sobre el modelo interoceptivo y los límites de la inferencia activa donde se sitúa la pertinencia y el objetivo del presente trabajo.

Objetivo e Hipótesis

Objetivo general

El presente estudio se propone para contrastar empíricamente algunos postulados centrales del modelo de Inferencia Activa (IA) en el dominio de la cognición social. Específicamente, se busca determinar si la manipulación experimental de la retroalimentación interoceptiva (falso feedback cardíaco) modula la evaluación emocional de rostros, interpretando este fenómeno en términos de minimización de energía libre y actualización jerárquica de creencias (Friston, 2008; Parr & Friston, 2017)

Objetivos específicos

1. Examinar el efecto del feedback cardíaco manipulado sobre la evaluación emocional de rostros mediante un paradigma experimental inspirado en la lógica de Valins (1966) y adaptado a estándares contemporáneos de fisiología.
2. Evaluar el impacto del feedback interoceptivo manipulado sobre las dimensiones de valencia e intensidad emocional percibida atribuidas a estímulos sociales visuales.
3. Analizar si los cambios perceptivos observados son consistentes con las predicciones del modelo jerárquico de inferencia activa propuesto por Seth y Friston (2016).
4. Contribuir al examen empírico del marco predictivo en el ámbito de la cognición social.

Hipótesis

A partir de este marco teórico y de la evidencia empírica previa sobre manipulación del feedback interoceptivo, el presente estudio examina si la alteración experimental del feedback cardíaco puede modular la evaluación emocional de rostros. Con este objetivo, se plantean las siguientes hipótesis.

Hipótesis principales.

H1. El feedback cardíaco artificialmente acelerado se asociará con una mayor intensidad en la evaluación emocional de los estímulos faciales, en comparación con la condición de feedback real.

H2. La condición de feedback cardíaco decelerado no se asociará con cambios significativos en la intensidad de las evaluaciones emocionales respecto a la condición de feedback verídico.

H3. El efecto del feedback cardíaco sobre la intensidad de las evaluaciones emocionales será mayor para las expresiones de enfado que para otras expresiones faciales.

Hipótesis exploratorias

H4. La exposición de feedback cardíaco acelerado inducirá un incremento en la frecuencia cardíaca real de los participantes, reflejando un ajuste fisiológico hacia la señal interoceptiva percibida.

H5. La exposición a feedback cardíaco decelerado se asociará con una disminución de la frecuencia cardíaca real, indicando un posible efecto regulador de la señal interoceptiva percibida.

Metodología

Participantes

Se reclutó una muestra de 32 participantes de nacionalidad española, un 59,4% mujeres (n=19) y un 40,6% hombres (n=13), con edades comprendidas entre los 18 y los 28 años (M=21,8; DT=1,58) La selección de la muestra fue no probabilística por conveniencia. Aunque no se estableció un criterio de exclusión formal por edad, el contexto de captación resultó en una muestra constituida fundamentalmente por adultos jóvenes. Como criterio de exclusión específico se excluyó a aquellas personas que presentaban enfermedades cardíacas, en línea con los procedimientos habituales en paradigmas de falso feedback cardíaco para garantizar la seguridad de los participantes y el control de la señal fisiológica (Gray et al., 2007; Iodice et al., 2019; Parrotta et al., 2023). El tamaño muestral es comparable al empleado en estudios previos con diseños intrasujeto y manipulación de feedback cardíaco.

Diseño experimental

El estudio empleó un diseño experimental intrasujeto, en el que todos los participantes fueron expuestos a las tres condiciones de feedback cardíaco.

En primer lugar, se presentó un bloque de prueba con el objetivo de familiarizar a los participantes con la tarea, cuya estructura temporal replicó la del experimento principal, a pequeña escala (20 ensayos).

Para la tarea objetivo, se optó por un diseño intrasujeto con tres condiciones experimentales. El experimento consistió en la evaluación de la intensidad emocional de rostros, presentada de manera simultánea a la escucha de feedback cardíaco individualizado para cada participante. La secuencia consistió en 1) la presentación del estímulo visual durante 2 segundos, 2) seguida de una fase de evaluación de 2 segundos, y finalmente, 3) la aparición de una cruz de fijación con una duración de 1 segundo (Anexo A).

La evaluación se realizó mediante una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 correspondía a una valoración neutra y 5 a la mayor intensidad emocional. Aunque en estudios previos se ha empleado habitualmente una escala de 0 a 4, la elección de una escala de 1 a 5 correspondió a consideraciones prácticas relacionadas con la disposición del teclado numérico.

El diseño se estructuró en tres bloques experimentales, idénticos en su secuencia temporal, pero diferenciados por el tipo de feedback cardíaco presentado. Cada bloque siguió la misma estructura temporal que el bloque de prueba e incluyó la presentación de 65 estímulos visuales. De estos 65 estímulos por bloque, finalmente 48 fueron analizados. Los ensayos excluidos correspondieron a aquellos presentados durante las fases de rampa de entrada y de salida del feedback cardíaco manipulado, ya que en estos intervalos el ritmo auditivo no había alcanzado la manipulación estable ($\pm 10\%$) o se encontraba en proceso de retorno a la línea base. Esta decisión permitió asegurar que los análisis se realizaran únicamente sobre periodos de estimulación fisiológicamente estables (Anexo B).

Condiciones experimentales

El diseño intrasujeto se articuló en torno a tres modalidades de feedback cardíaco, presentadas de forma diferenciada en cada uno de los bloques. El orden de presentación de estos bloques fue aleatorizado de manera individual para cada participante. La señal cardíaca de cada participante fue registrada mediante el programa AcqKnowledge (BIOPAC Systems). A partir de este flujo se extrajo la tasa cardíaca (en latidos por minuto, LPM), con una actualización continua en el orden del milisegundo durante todo

el bloque experimental, lo que permitió que los distintos tipos de feedback se definieran de manera individualizada a partir de la señal cardíaca registrada en cada caso. El experimento incluyó tres tipos de feedback cardíaco: 1) feedback real, en el que el ritmo auditivo se sincronizaba en tiempo real con la tasa cardíaca registrada; 2) feedback asincrónico lento, en el que el ritmo presentado era un 10% inferior respecto al LPM registrado en cada momento; y 3) feedback asincrónico rápido, en el que el ritmo auditivo era un 10% superior al LPM propio del participante. Para evitar que el sujeto se diera cuenta de la falsificación del feedback asíncrono (en sus dos modalidades), se estableció una rampa ascendente o descendente (ver más abajo y en el Anexo C).

Variables e instrumentos

Variables demográficas. Las variables demográficas recogidas, sexo y edad, se utilizaron exclusivamente con fines descriptivos. La variable sexo fue codificada en dos categorías: hombres y mujeres, sin recategorizaciones adicionales.

Variable independiente. La variable independiente fue el tipo de feedback cardíaco, manipulada en tres condiciones: 1) feedback real (sin manipulación) 2) feedback asincrónico lento (-10% respecto al LPM real) y 3) feedback asincrónico rápido (+10% respecto al LPM real).

Factor del estímulo. Los estímulos faciales presentaban tres categorías emocionales 1) felicidad, 2) neutro, 3) enfado. Este factor permitió examinar posibles diferencias en la evaluación emocional en función del tipo de expresión facial.

Variables dependientes. La variable dependiente principal fue la intensidad emocional atribuida a los estímulos faciales, evaluada mediante una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 correspondía a neutro y 5 a la mayor intensidad emocional percibida.

Variable fisiológica. Se registró la frecuencia cardíaca real de los participantes, que permitió analizar posibles cambios fisiológicos asociados a la manipulación del feedback interoceptivo.

Materiales

Sonido cardíaco. El sonido del latido cardíaco se generó artificialmente mediante una función programada en Python 3.12 y ejecutada en Visual Studio Code. El sonido se construyó digitalmente para imitar los dos componentes característicos del latido (“lub” y “dub”).

Cada uno de estos componentes se modeló aplicando un filtrado pasa-banda y una envolvente temporal suavizada (con un ataque y decaimiento progresivos), con el objetivo de producir un sonido más natural. La frecuencia de reproducción se ajustó dinámicamente en tiempo real. La conexión con AcqKnowledge permitió que el sistema leyese los LPM calculados a partir del ECG del participante, milisegundo a milisegundo. Este valor determinaba el intervalo entre latidos, permitiendo que el ritmo auditivo se adaptara de forma individualizada a cada sujeto (Véase Anexo D para una vista detallada del código).

Tipo de latido. El ritmo del latido auditivo se controló en función de la condición experimental previamente asignada, tomando como referencia el LPM obtenido de AcqKnowledge. En las condiciones asincrónicas, el ritmo auditivo se modificó en un $\pm 10\%$ respecto al valor real.

Para garantizar la credibilidad del engaño, se implementaron rampas de transición progresiva en los bloques manipulados. 1) Rampa de entrada: durante los primeros 30 segundos del bloque, el desfase se incrementó gradualmente hasta alcanzar el objetivo de $\pm 10\%$. 2) Rampa de salida: en los últimos 30 segundos del bloque, se ejecutó una transición de retorno que consistió en 15 segundos de convergencia hacia el latido real y 15 segundos finales de estabilización en la tasa cardíaca basal antes de finalizar el bloque. (Véase Anexo E para una vista detallada del código).

Este procedimiento es consistente con recomendaciones metodológicas previas en paradigmas de manipulación interoceptiva mediante feedback cardíaco falso, que señalan la importancia de partir de la frecuencia cardíaca basal individual, ampliar modificaciones moderadas y graduales del ritmo percibido y restablecer la línea base entre bloques para maximizar la credibilidad del estímulo y minimizar efectos de arrastre (Iodice et al., 2019; Parrotta et al., 2023; Patchitt et al., 2025).

La modificación del 10% fue elegida por razones metodológicas, dado que se trata de un valor dentro de los rangos utilizados en estudios previos de feedback cardíaco falso (Parrotta et al., 2023; Patchitt et al., 2025) y permite generar una discrepancia perceptible sin salirse de los rangos normales de la frecuencia cardíaca.

Recogida de señal fisiológica. Las medidas de registro fisiológico se recogieron mediante el software AcqKnowledge (BIOPAC Systems), comunicándose con el código

del experimento por medio de una conexión de puerto paralelo que permitió acceder en tiempo real al valor más reciente de la frecuencia cardíaca.

Durante el bloque inicial de baseline (30s), se recogieron muestras continuas de las medidas de registro fisiológico para estimar la base individual de cada participante.

Estímulos visuales: caras del Karolinska Directed Emotional Faces. Los estímulos visuales consistieron en imágenes de rostros procedentes del conjunto Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF). Este repertorio coincide con el empleado en otros experimentos de evaluación emocional de caras con feedback cardíaco falso, como el de Gray et al. (2007). Dentro de este paradigma, otros estudios han empleado repertorios alternativos de expresiones faciales como las imágenes de Ekman y Friesen utilizadas por Patchitt et al. (2025). No obstante, en el presente estudio se optó por el conjunto de Karolinska debido a su amplia validación experimental y su uso consolidado en la investigación sobre procesamiento emocional de rostros (Goeleven et al., 2008)

Se escogieron rostros masculinos y femeninos que expresaban tres categorías emocionales: felicidad, neutralidad y enfado, en línea con procedimientos empleados en estudios previos (Gray et al., 2007; Patchitt et al., 2025). Las imágenes se seleccionaron y equilibraron de forma que cada bloque experimental incluyera una distribución homogénea de sexo y emoción facial. Todas las imágenes se presentaron individualmente y en orden pseudoaleatorio en cada bloque. Para los ensayos finalmente analizados (n=48 por bloque), se implementó un procedimiento de aleatorización que garantizaba un balance completo entre las categorías emocionales (felicidad, neutralidad, enfado) y el sexo de los rostros (masculino, femenino). De este modo, cada participante fue expuesto a una misma distribución de condiciones estímulo. (Véase Anexo F y Anexo G para el código detallado)

Software del experimento. El experimento se implementó íntegramente en Python 3.12 utilizando la librería de Psychopy (versión 2025.1.1). Psychopy se empleó para la presentación de estímulos visuales y para el registro de respuestas conductuales y tiempos de reacción. Visual Studio Code fue empleado para el sonido.

Dispositivo de presentación. Los estímulos visuales se presentaron en un monitor de ordenador en modo pantalla completa, con fondo blanco. Las imágenes faciales se presentaron centradas en la pantalla, con un tamaño ampliado de 720 x 720 píxeles.

El sonido del latido cardíaco se reprodujo a través de auriculares externos conectados al sistema (Realtek Audio).

Las respuestas se registraron mediante el teclado estándar del ordenador, utilizando las teclas numéricas del 1 al 5 para la evaluación de la intensidad emocional.

Procedimiento

La recogida de datos siguió un procedimiento estandarizado. La captación de participantes se realizó por medio de una encuesta de interés en la participación en estudios experimentales. Esta encuesta fue difundida a través de pósteres informativos en la universidad, y la divulgación del estudio en distintas redes sociales (WhatsApp, Instagram y LinkedIn). Una vez las personas hubieron manifestado interés, fueron contactadas a través del correo electrónico. Aunque este procedimiento aseguró una participación voluntaria y no remunerada, puede implicar ciertas limitaciones en términos de representatividad de la muestra. La recolección de datos se realizó en la sala Faraday del Laboratorio de Psicología de la Universidad Pontificia Comillas, en el campus de Cantoblanco.

Para asegurar que los participantes eran conscientes del carácter voluntario del estudio y de la posibilidad de interrumpir su participación en cualquier momento, firmaron un consentimiento informado previo a comenzar el procedimiento experimental. Este documento se puede encontrar en el Anexo H.

Tras la firma del consentimiento, el participante fue conducido a la sala Faraday, donde se procedió a la colocación de los instrumentos de registro fisiológico; electrocardiograma (ECG). Entonces, se le proporcionaron las instrucciones de la actividad experimental: *‘A continuación vas a tener que evaluar la intensidad emocional de los rostros que vas a ir viendo. Primero vas a hacer un bloque de prueba para que veas el funcionamiento general, y después harás el experimento como tal. En esta segunda prueba, escucharás simultáneamente el latido de tu propio corazón.’*

Se presentó el bloque de prueba con el fin de asegurar la correcta comprensión de las instrucciones por parte de los participantes. Una vez asegurado, se dio paso al experimento estudiado. Durante la duración de la prueba y del experimento, el experimentador permaneció en una sala contigua, supervisando el buen desarrollo de la tarea gracias a un espejo unidireccional.

Una vez concluido el experimento, se retiraron los dispositivos de registro fisiológico y se evaluó la posible sospecha de los participantes respecto a la manipulación experimental durante el procedimiento. Posteriormente, fueron informados del engaño experimental, se les ofreció la posibilidad de borrar sus datos en caso de así desearlo, conforme a lo establecido por el comité de ética de la universidad. Finalmente, los participantes firmaron un documento de confidencialidad, disponible en el Anexo I, el experimentador resolvió sus dudas y agradeció la participación en el experimento.

Análisis de datos

Inicialmente para realizar el análisis de datos se planteó realizar un ANOVA de medidas repetidas, siguiendo los procedimientos de análisis estadístico aprendidos durante mi formación universitaria. Sin embargo, este enfoque resultó limitado para comprobar los objetivos del presente estudio, ya que requiere trabajar con datos agregados por participante, lo que implicaría perder la información de los ensayos individuales y una simplificación de los resultados experimentales. Frente a esto, se optó por emplear modelos lineales mixtos (Linear Mixed Models, LMM) para poder realizar un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos y una mejor explotación de las hipótesis iniciales. Este tipo de modelos permite analizar la totalidad de los ensayos individuales al incorporar a los participantes como efectos aleatorios dentro del análisis. Además, otra ventaja de estos modelos es que permiten manejar datos faltantes sin necesidad de eliminar participantes del análisis. Por estos motivos, se ha considerado que los modelos lineales mixtos constituyen un enfoque más adecuado para el análisis de este tipo de datos experimentales (Gelman & Hill, 2007; Field et al., 2012). Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software Jamovi (versión 2.3), empleando el módulo GAMLj para la estimación de modelos lineales mixtos en el entorno R (versión 4.1).

Siguiendo las recomendaciones metodológicas de la literatura sobre modelos lineales mixtos, los modelos se estimaron mediante Restricted Maximum Likelihood (REML) y se evaluaron sus supuestos mediante la inspección de los residuos del modelo. Concretamente, se examinaron los gráficos Q-Q Plot para evaluar la normalidad aproximada de los residuos y gráficos de residuos frente a valores predichos para comprobar la homogeneidad de la varianza de los errores. Asimismo, el ajuste de los modelos se evaluó mediante índices de información (AIC, BIC y log-likelihood) y coeficientes de determinación marginal y condicional, mientras que la significación de

los efectos fijos se examinó mediante pruebas F con aproximación de grados de libertad de Satterthwaite (Harrison et al., 2018).

Hipótesis principales

Para contrastar las hipótesis principales del estudio (H1-H3), relacionadas con el efecto del feedback cardíaco sobre la evaluación emocional de los estímulos faciales, se ajustó un modelo lineal mixto. La variable dependiente fue la intensidad de la evaluación emocional percibida (escala de Likert de 1 al 5, evaluación), mientras que los efectos fijos fueron la condición de feedback cardíaco (condición) y la emoción de la cara (emoción), incluyendo su interacción (condición: emoción). Se incluyeron interceptos aleatorios para participantes (ID) e imágenes (imagen) con el objetivo de modelar la dependencia de las observaciones. Asimismo, se incorporaron pendientes aleatorias de la condición por participante (1 + condición | ID), permitiendo que el efecto de la manipulación experimental variara entre individuos en lugar de asumirse constante a nivel poblacional. El modelo siguió la siguiente estructura:

$$\text{evaluación} \sim 1 + \text{condición} + \text{emoción} + \text{condición: emoción} + (1 | \text{imagen}) + (1 + \text{condición} | \text{ID})$$

Esta estructura permite tener en cuenta que las evaluaciones no son independientes, ya que múltiples ensayos pertenecen a los mismos participantes (144 ensayos por participante) y las mismas imágenes se repiten a lo largo del experimento. De esta forma, se pueden analizar los efectos de interés de manera más precisa, analizando la variabilidad atribuible a las variables experimentales (condición, emoción y condición: emoción) y separándola de la variabilidad debida a las diferencias individuales entre participantes (ID) y la variabilidad de las imágenes (1 | imagen).

El modelo fue estimado mediante máxima verosimilitud restringida (REML) y convergió adecuadamente (optimizador bobyqa). En términos de ajuste, los efectos fijos explicaron un 38,6% de la varianza de la variable dependiente (R^2 marginal = 0,386), mientras que al incluir los efectos aleatorios la varianza explicada aumentó hasta el 57% (R^2 condicional = 0,570).

Los coeficientes de correlación intraclases (ICC = 0,170 e ICC = 0,174) indican que aproximadamente un 17% de la varianza total se explica por diferencias entre participantes y un 17,4% por diferencias entre estímulos.

Esto evidencia la relevancia de ambas fuentes de variabilidad y justifica el uso de un modelo multinivel con efectos aleatorios cruzados. Igualmente, los resultados obtenidos en las gráficas Q-Q Plot y los gráficos de residuos frente a valores predichos indicaron un cumplimiento razonable de los supuestos de normalidad de los residuos y homocedasticidad, sin observarse desviaciones sistemáticas relevantes.

Las tablas detalladas del análisis se encuentran en el Anexo J

Hipótesis exploratorias

Con el objetivo de comprobar las hipótesis exploratorias H4 y H5, que planteaban posibles efectos del feedback cardíaco sobre la frecuencia cardíaca real de los participantes, se ajustó un segundo modelo lineal mixto con intercepto aleatorio por participante (ID). La variable dependiente fue la frecuencia cardíaca media (FC_media) y la condición de feedback cardíaco se incluyó como efecto fijo. Se incluyó la baseline (fc_baseline) obtenida durante los 30 primeros segundos del experimento como covariable. Se incluyeron interceptos aleatorios por participante, así como pendientes aleatorias de la condición. El modelo siguió la siguiente estructura:

$$FC_media \sim 1 + fc_baseline + condicion + (1 + condicion | ID)$$

Esta estructura permite tener en cuenta que gran parte de la variabilidad de la frecuencia cardíaca depende de cada participante. La inclusión de la baseline como covariable permite explicar parte de la variabilidad de la frecuencia cardíaca posterior (fc_media), reduciendo el error del modelo y mejorando la estimación del efecto de la condición. Además, la inclusión de la pendiente aleatoria de la condición por participante permite el análisis de los datos tomando en cuenta la variabilidad interpersonal, en lugar de asumir una respuesta homogénea de la población.

El modelo fue estimado mediante máxima verosimilitud restringida (REML) y convergió adecuadamente (optimizador bobyqa). En términos de ajuste, los efectos fijos explicaron un 65,4% de la varianza de la variable dependiente (R^2 marginal = 0,654), mientras que al incluir los efectos aleatorios la varianza explicada aumentó hasta el 87,5% (R^2 condicional = 0,875).

Aproximadamente un 62,5% de la varianza total se explica por las diferencias entre participantes, dado lo obtenido en el coeficiente de correlación intraclases (ICC = 0,625). Igualmente, los resultados obtenidos en las gráficas Q-Q Plot y los gráficos de residuos frente a valores predichos indicaron un cumplimiento razonable de los supuestos de

normalidad de los residuos y homocedasticidad, sin observarse desviaciones sistemáticas relevantes.

Esto evidencia la relevancia de la variabilidad entre participantes y justifica el uso de un modelo multinivel con efectos aleatorios.

Las tablas detalladas del análisis se encuentran en el Anexo K

Resultados

Hipótesis principales

Los resultados no mostraron un efecto significativo de la condición de feedback cardíaco ($F(2, 30.1) = 2,148, p = .134$) pero sí de la emoción ($F(2, 208.6) = 372,984, p < .001$). Igualmente, no se observó una interacción significativa entre condición y emoción ($F(4, 4139.4) = 0.874, p = .419$).

Las comparaciones post hoc con corrección Bonferroni mostraron diferencias significativas entre las categorías emocionales. En concreto, los rostros de enfado fueron evaluados como más intensos que los rostros felices ($p < 0.001$) y neutros ($p < 0.001$), y los rostros felices fueron evaluados como más intensos que los neutros ($p < 0.001$). La estructura final de las evaluaciones de la intensidad de los rostros sería: enfado > feliz > neutro.

En conjunto, estos resultados parecen indicar que la evaluación emocional varía en función de la emoción del rostro, pero no se ve afectada por la condición del feedback cardíaco. Si bien se observa una tendencia hacia un posible efecto de la condición sobre la intensidad, en la comparación entre la condición de asincrónico rápido y asincrónico lento ($\beta = 0.093, p = .060$), esta diferencia no se mantuvo en las comparaciones post hoc con corrección Bonferroni ($p = 0.181$).

Hipótesis exploratorias

Los resultados no indicaron un efecto significativo de la condición experimental sobre la frecuencia cardíaca ($F(2, 31.0) = 1,68, p = 0.203$). Sin embargo, sí se obtuvo un efecto significativo de la frecuencia cardíaca basal ($F(1, 30.0) = 101.30, p < 0.001$). En términos de estimaciones, la covariable *fc_baseline* mostró un efecto positivo y elevado ($\beta = 0.884$).

Estos resultados indican que la frecuencia cardíaca está fuertemente determinada por los niveles basales de cada participante, sin evidenciarse un efecto significativo del feedback cardíaco sobre la respuesta fisiológica.

Discusión y conclusiones

Síntesis de resultados

Los resultados del presente estudio muestran que la manipulación del feedback cardíaco no produjo resultados significativos sobre la evaluación de la intensidad emocional de los rostros ni sobre la respuesta fisiológica de los participantes. Estos resultados no respaldan las hipótesis principales (H1-H3) ni las hipótesis exploratorias (H4-H5).

En concreto, los análisis de las hipótesis principales muestran que no hubo efectos de interacción entre la condición (feedback cardíaco auditivo) con la emoción; si bien, sobre la emoción sí se obtuvieron resultados significativos. Preliminarmente, los datos sugieren que los participantes distinguieron bien las emociones, pero que el tipo de feedback presentado no alteró la intensidad con la que realizaron la evaluación. Igualmente, la frecuencia cardíaca estuvo determinada por los niveles basales individuales, y la condición del feedback tampoco resultó en una diferencia respecto a las respuestas fisiológicas de los participantes.

Este patrón sugiere que el diseño experimental tuvo una gran sensibilidad para detectar diferencias entre categorías emocionales de los estímulos, pero no para detectar cambios inducidos por la manipulación del feedback cardíaco.

Interpretación desde el marco de la inferencia activa

La ausencia de resultados puede interpretarse desde el marco de la inferencia activa. Es probable que el sistema no haya asignado suficiente precisión al feedback auditivo manipulado. Por tanto, aunque se ha generado un error de predicción por la incongruencia de la señal externa, este no ha tenido el peso suficiente como para propagarse por el sistema y producir una actualización de las creencias. En consecuencia, el modelo se ha mantenido relativamente estable, lo que puede explicar la ausencia de efectos significativos entre condición y emoción.

Esto también encaja con los resultados obtenidos, donde la emoción sí ha mostrado efectos claros. En este sentido, es posible que las señales emocionales (las expresiones

faciales) hayan tenido un mayor peso relativo en el procesamiento, actuando como señales más fiables. Limitando de esa forma la influencia del feedback manipulado.

La ausencia de efectos en las hipótesis exploratorias puede entenderse también como una consecuencia de esta baja asignación de precisión. En la medida que la señal externa no habría sido lo suficientemente relevante como para modificar la señal interoceptiva.

Interpretaciones alternativas

No obstante, estos resultados también pueden explicarse sin la necesidad de recurrir a un marco de inferencia activa o a modelos predictivos jerárquicos. Desde enfoques más clásicos, la ausencia de efectos podría deberse simplemente a que el estímulo auditivo no tuvo la suficiente relevancia perceptiva, o a una integración multisensorial insuficiente entre la señal cardíaca y la tarea de evaluación emocional. En este sentido, es posible que el feedback auditivo no fuese lo suficientemente fuerte como para influir en el procesamiento de las caras, o que el acoplamiento entre ambas modalidades (auditiva y visual/interoceptiva) fuese débil dentro del contexto experimental.

Esta interpretación encaja con algunas de las críticas enunciadas con anterioridad al marco del procesamiento predictivo y de la inferencia activa. Estas señalan que muchos de los efectos que intenta explicar este modelo también pueden entenderse desde mecanismos más simples, como la adaptación neuronal o modelos *feedforward* más complejos.

Limitaciones metodológicas

Una primera limitación, como se preveía en las interpretaciones alternativas, tiene que ver con la magnitud de la manipulación experimental. La desviación del $\pm 10\%$ en la frecuencia cardíaca, aunque similar a la utilizada en estudios previos (Iodice et al., 2019; Azevedo et al., 2017), puede que no haya sido suficiente como para que los participantes percibiesen el feedback como realmente informativo. Es decir, la señal manipulada podría no haber destacado lo suficiente frente a la señal interna real, reduciendo así su influencia en el procesamiento. Es más, el hecho de mantener una manipulación moderada para evitar que los participantes detectasen el engaño, aunque tiene sentido a nivel metodológico, puede haber jugado en contra de la eficacia del paradigma.

Incluso la propia tarea experimental puede haber limitado la sensibilidad del experimento. Evaluar la intensidad emocional de caras no implica necesariamente una conexión con el estado corporal. Realmente se está pidiendo al participante un juicio

sobre las características del estímulo más que una evaluación de su propia experiencia afectiva. Por tanto, es posible que la respuesta esté guiada principalmente por procesos perceptivos o cognitivos, como el reconocimiento de la expresión emocional, sin que sea necesario recurrir de forma relevante a señales interoceptivas. Es esperable que el peso de estas señales en este contexto sea relativamente bajo. Esto es congruente con los resultados obtenidos, donde la emoción sí muestra efectos claros, mientras que la condición de feedback y la interacción entre ambas no resultan significativas.

Esto contrasta de forma directa con otros paradigmas donde sí se han encontrado efectos más claros, como tareas relacionadas con el dolor (Parrotta et al., 2023) o el esfuerzo (Iodice et al., 2019), donde el estado corporal es directamente relevante para la respuesta. En esos casos, es más probable que las señales interoceptivas influyan en la experiencia y en la evaluación. Algo parecido ocurre en estudios clásicos como el de Valins (1966), donde los estímulos tienen una mayor implicación motivacional, lo que puede favorecer que la señal corporal se integre en la evaluación subjetiva.

A esto se suma el tamaño muestral. Aunque es similar al de otros estudios con diseños intrasujeto (Iodice et al., 2019; Azevedo et al. 2017.,; Gray et al., 2007), es insuficiente para detectar efectos pequeños o moderados, especialmente en un tipo de tarea donde se espera bastante variabilidad entre participantes.

Otra medida clave es la ausencia de medidas directas de precisión interoceptiva. Otros estudios han empleado instrumentos como el MAIA (Iodice et al., 2019), lo que permite estimar esta variable y analizar su posible papel modulador en los resultados. Sin embargo, debido a las limitaciones en cuanto a validez de estos instrumentos y a los problemas asociados a su adaptación (Desmedt 2022), en el presente estudio se ha optado por no incluir este tipo de medidas.

No obstante, la falta de una medida operativa de la precisión interoceptiva impide evaluar empíricamente su papel modulador. En consecuencia, la interpretación en términos de asignación de peso o precisión de las señales no puede verificarse de forma independiente; introduciendo cierto grado de ambigüedad en la explicación de los datos obtenidos. Los resultados podrían explicarse en términos de cómo se habría distribuido la precisión entre señales y *priors*, pero esta interpretación no puede contrastarse directamente con los datos y depende en gran medida del propio marco teórico.

Implicaciones teóricas y brecha empírica

Estos hallazgos invitan a una reflexión sobre en qué condiciones el marco de la inferencia activa realmente permite generar predicciones empíricas claras. Como se ha señalado previamente, el modelo ofrece una forma muy potente de explicar la interacción entre percepción, acción e interocepción (Seth & Friston 2016). Si bien, su aplicación en el plano experimental ha sido objeto de diversas críticas (Walsh et al., 2020).

Una de las principales tiene que ver con el uso de constructos como la “precisión”, cuya medición en términos empíricos sigue siendo bastante limitada. Como se ha señalado en las limitaciones de este estudio, la ausencia de una medida operativa clara impide verificar directamente su papel en los resultados. Es más, las medidas disponibles presentan limitaciones importantes, por lo que resulta difícil evaluar este constructo de forma independiente. Esto introduce cierto margen de flexibilidad en la interpretación, que como decían Bowman et al. (2023), dificulta establecer predicciones claramente falsables.

En relación con esto, parte de la capacidad explicativa del modelo aparece a posteriori, ya que tanto la presencia como la ausencia de efectos puede explicarse en función de cómo se haya distribuido la precisión entre señales y *priors* (Hodson et al., 2024).

Los resultados ilustran bien la llamada brecha de validación del marco de la inferencia activa: un modelo potente a nivel teórico pero cuya aplicación experimental da lugar a resultados inconsistentes o difíciles de aislar de forma clara. La implementación experimental de este modelo sigue siendo limitada, y los estudios disponibles presentan una considerable diversidad en sus diseños, tareas y aproximaciones analíticas. Esto presenta una dificultad en la comparación directa entre resultados y la acumulación de evidencia consistente. Asimismo, la mayoría de los estudios, como el presente, cuentan con tamaños muestrales reducidos, lo que reduce la potencia estadística y aumenta la inestabilidad de los resultados. Especialmente en un ámbito caracterizado por una alta variabilidad interindividual.

Una limitación recurrente en este tipo de paradigmas es el uso de señales de feedback no acopladas en tiempo real a la actividad fisiológica del participante, sino basadas en registros pregrabados. Esto reduce la credibilidad de la manipulación desde un punto de vista interoceptivo y puede comprometer la interpretación de los efectos en términos de integración cuerpo-signal.

Así, la ausencia de efectos en el presente estudio también debe interpretarse a la luz de estas limitaciones. Aunque algunos trabajos han encontrado efectos del falso feedback, las diferencias en diseño y en el tipo de tarea empleada pueden contribuir a la variabilidad de los resultados observados y a que estos no siempre sean directamente comparables. Lo observado no resulta necesariamente contradictorio, sino compatible con un escenario en el que los efectos sean más débiles o dependientes de condiciones específicas de tarea y diseño experimental. En lugar de una ausencia total del fenómeno, estos resultados podrían estar reflejando una estimación más conservadora del efecto. Si bien deben interpretarse con cautela y no permiten establecer conclusiones definitivas.

Líneas futuras de investigación

De cara a futuras investigaciones resulta fundamental diseñar paradigmas que realmente permitan poner a prueba el modelo en condiciones más controladas y exigentes. En este sentido, sería importante incorporar medidas que evalúen de forma más directa la precisión interoceptiva, de manera que no todo el peso de la interpretación recaiga en inferencias a posteriori sobre el comportamiento de las señales.

Asimismo, los diseños experimentales deberían plantearse de forma que limiten la flexibilidad interpretativa del modelo, favoreciendo la generación de predicciones claras antes del análisis de los datos. Esto implica, entre otras cosas, evitar decisiones analíticas a posteriori y utilizar enfoques estadísticos acordes a la estructura de los datos, como modelos mixtos en diseños intrasujeto.

Por otro lado, sería necesario trabajar con tamaños muestrales más amplios que permitan obtener estimaciones más estables y extrapolables. En la misma línea, el uso de señales de feedback acopladas en tiempo real a la actividad fisiológica del participante podría aumentar la credibilidad de la manipulación y su impacto en el procesamiento interoceptivo.

Además, la elección de tareas con una mayor implicación del estado corporal podría facilitar la detección de efectos, especialmente en aquellos casos en los que se espera que las señales interoceptivas tengan un papel relevante en la inferencia.

Más allá de mejorar la sensibilidad de los diseños, un objetivo clave sería desarrollar paradigmas que permitan discriminar de forma más clara entre explicaciones alternativas, de modo que los efectos observados puedan atribuirse con mayor precisión a los mecanismos propuestos por el marco de la inferencia activa.

Avanzar en estas direcciones permitiría obtener evidencia más concluyente y delimitar con mayor claridad en qué condiciones el marco de la inferencia activa genera predicciones empíricas consistentes.

Bibliografia

- Azevedo, R. T., Garfinkel, S. N., Critchley, H. D., & Tsakiris, M. (2017). Cardiac afferent activity modulates the expression of racial stereotypes. *Nature Communications*, 8(1), 13854. <https://doi.org/10.1038/ncomms13854>
- Barrett, L. F. (2016). The theory of constructed emotion: An active inference account of interoception and categorization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, nsw154. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw154>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- BIOPAC Systems, Inc. (2023). *AcqKnowledge® software* (Version 5.0) [Computer software]. BIOPAC Systems, Inc. <https://www.biopac.com>
- Bowman, H., Collins, D. J., Nayak, A. K., & Cruse, D. (2023). Is predictive coding falsifiable? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 154, 105404. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105404>
- Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 181–204. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000477>
- Craig, A. (2003). Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(4), 500-505. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00090-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00090-4)
- Critchley, H. D., & Garfinkel, S. N. (2017). Interoception and emotion. *Current Opinion in Psychology*, 17, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.04.020>
- Desmedt, Olivier & Heeren, Alexandre & Corneille, Olivier & Luminet, Olivier. (2022).

- What Do Measures of Self-Report Interoception Measure? Insights from A Systematic Review, Latent Factor Analysis, and Network Approach. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2022.108289>
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2014). *Discovering statistics using R* (Repr). Sage.
- Friston, K. (2008). Hierarchical Models in the Brain. *PLoS Computational Biology*, *4*(11), e1000211. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000211>
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(2), 127-138. <https://doi.org/10.1038/nrn2787>
- Friston, K. (2023). Computational psychiatry: From synapses to sentience. *Molecular Psychiatry*, *28*(1), 256-268. <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01743-z>
- Friston, K., Da Costa, L., Sakthivadivel, D. A. R., Heins, C., Pavliotis, G. A., Ramstead, M., & Parr, T. (2023). Path integrals, particular kinds, and strange things. *Physics of Life Reviews*, *47*, 35-62. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2023.08.016>
- Friston, K. J., Daunizeau, J., Kilner, J., & Kiebel, S. J. (2010). Action and behavior: A free-energy formulation. *Biological Cybernetics*, *102*(3), 227-260. <https://doi.org/10.1007/s00422-010-0364-z>
- Friston, K. J., Parr, T., & De Vries, B. (2017). The graphical brain: Belief propagation and active inference. *Network Neuroscience*, *1*(4), 381-414. https://doi.org/10.1162/NETN_a_00018
- Friston, K., Rigoli, F., Ognibene, D., Mathys, C., Fitzgerald, T., & Pezzulo, G. (2015). Active inference and epistemic value. *Cognitive Neuroscience*, *6*(4), 187-214. <https://doi.org/10.1080/17588928.2015.1020053>
- Friston, K. J., Rosch, R., Parr, T., Price, C., & Bowman, H. (2018). Deep temporal models and active inference. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *90*, 486-501.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.04.004>

Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module].

Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

Goeleven, E., De Raedt, R., Leyman, L., & Verschuere, B. (2008). The Karolinska Directed Emotional Faces: A validation study. *Cognition & Emotion*, 22(6), 1094-1118.

<https://doi.org/10.1080/02699930701626582>

Gray, M. A., Harrison, N. A., Wiens, S., & Critchley, H. D. (2007). Modulation of Emotional Appraisal by False Physiological Feedback during fMRI. *PLoS ONE*,

2(6), e546. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000546>

Harrison, X. A., Donaldson, L., Correa-Cano, M. E., Evans, J., Fisher, D. N., Goodwin, C. E. D., Robinson, B. S., Hodgson, D. J., & Inger, R. (2018). A brief introduction to mixed effects modelling and multi-model inference in ecology. *PeerJ*, 6, e4794.

<https://doi.org/10.7717/peerj.4794>

Hesp, C., Smith, R., Parr, T., Allen, M., Friston, K. J., & Ramstead, M. J. D. (2021).

Deeply Felt Affect: The Emergence of Valence in Deep Active Inference. *Neural Computation*, 33(2), 398-446. https://doi.org/10.1162/neco_a_01341

Hodson, R., Mehta, M., & Smith, R. (2024). The empirical status of predictive coding and active inference. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 157, 105473.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105473>

Iodice, P., Porciello, G., Bufalari, I., Barca, L., & Pezzulo, G. (2019). An interoceptive illusion of effort induced by false heart-rate feedback. *Proceedings of the National Academy of Sciences*,

116(28), 13897-13902.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1821032116>

Joffily, M., & Coricelli, G. (2013). Emotional Valence and the Free-Energy Principle.

- PLoS Computational Biology*, 9(6), e1003094.
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003094>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., Hudspeth, A. J., & Mack, S. (Eds.). (2013). *Principles of neural science* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Kiverstein, J., Miller, M., & Rietveld, E. (2020). How mood tunes prediction: A neurophenomenological account of mood and its disturbance in major depression. *Neuroscience of Consciousness*, 2020(1), niaa003.
<https://doi.org/10.1093/nc/niaa003>
- Limanowski, J., & Blankenburg, F. (2013). Minimal self-models and the free energy principle. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00547>
- Mann, S. F., Pain, R., & Kirchhoff, M. D. (2022). Free energy: A user's guide. *Biology & Philosophy*, 37(4), 33. <https://doi.org/10.1007/s10539-022-09864-z>
- Mehling, W. E., Price, C., Daubenmier, J. J., Acree, M., Bartmess, E., & Stewart, A. (2016). *Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness* [Dataset].
<https://doi.org/10.1037/t45826-000>
- Millidge, B., Seth, A., & Buckley, C. L. (2021). *Predictive Coding: A Theoretical and Experimental Review* (Versión 4). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2107.12979>
- Parr, T., & Friston, K. J. (2017). Uncertainty, epistemics and active inference. *Journal of The Royal Society Interface*, 14(136), 20170376.
<https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0376>
- Parr, T., & Friston, K. J. (2019). *Generalised free energy and active inference: Can the future cause the past?* *Neuroscience*. <https://doi.org/10.1101/304782>

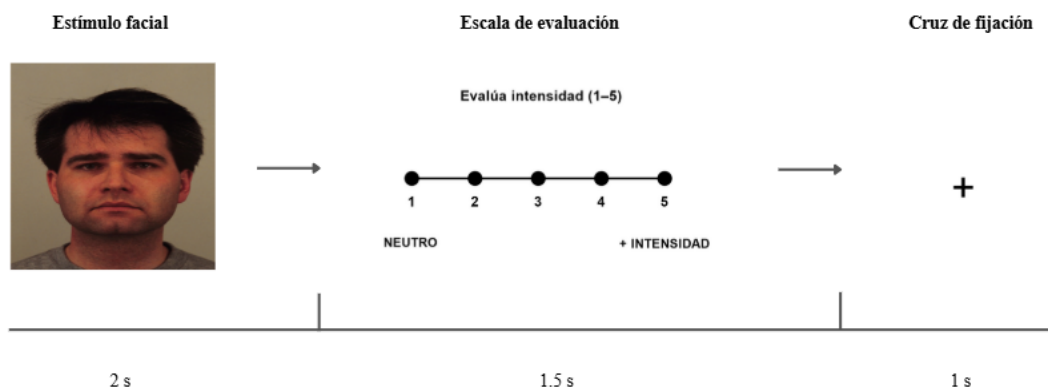
- Parrotta, E., Bach, P., Pezzulo, G., Perrucci, M. G., Costantini, M., & Ferri, F. (2023). *Exposure to false cardiac feedback alters pain perception and anticipatory cardiac frequency*. <https://doi.org/10.7554/eLife.90013.1>
- Patchitt, J., Garfinkel, S., Strawson, W. H., Miller, M., Tsakiris, M., Clark, A., & Critchley, H. D. (2025). Somatosensory false feedback biases emotional ratings through interoceptive embodiment. *Scientific Reports*, *15*(1), 11472. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94971-6>
- Ramstead, M. J., Kirchhoff, M. D., & Friston, K. J. (2020). A tale of two densities: active inference is enactive inference. *Adaptive behavior*, *28*(4), 225–239. <https://doi.org/10.1177/1059712319862774>
- Ramstead, M. J. D., Badcock, P. B., & Friston, K. J. (2018). Answering Schrödinger's question: A free-energy formulation. *Physics of life reviews*, *24*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2017.09.001>
- R Core Team (2021). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).
- Seth, A. K. (2013). Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(11), 565-573. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.09.007>
- Seth, A. K., & Friston, K. J. (2016). Active interoceptive inference and the emotional brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *371*(1708), 20160007. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0007>
- Smith, R., Friston, K. J., & Whyte, C. J. (2022). A step-by-step tutorial on active inference and its application to empirical data. *Journal of Mathematical Psychology*, *107*, 102632. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2021.102632>

- The jamovi project (2022). *jamovi*. (Version 2.3) [Computer Software].
<https://www.jamovi.org>.
- Toussaint, B., Heinzle, J., & Stephan, K. E. (2024). A computationally informed distinction of interoception and exteroception. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *159*, 105608. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105608>
- Tschantz, A., Barca, L., Maisto, D., Buckley, C. L., Seth, A. K., & Pezzulo, G. (2022). Simulating homeostatic, allostatic and goal-directed forms of interoceptive control using active inference. *Biological Psychology*, *169*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2022.108266>
- Valins, S. (1966). Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of Personality and Social Psychology*, *4*(4), 400-408. <https://doi.org/10.1037/h0023791>
- Van De Cruys, S., & Van Dessel, P. (2021). Mental distress through the prism of predictive processing theory. *Current Opinion in Psychology*, *41*, 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2021.07.006>
- Walsh, K. S., McGovern, D. P., Clark, A., & O'Connell, R. G. (2020). Evaluating the neurophysiological evidence for predictive processing as a model of perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1464*(1), 242-268. <https://doi.org/10.1111/nyas.14321>
- Yon, D., De Lange, F. P., & Press, C. (2019). The Predictive Brain as a Stubborn Scientist. *Trends in Cognitive Sciences*, *23*(1), 6-8. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.10.003>

Anexos

Anexo A

Secuencia del ensayo experimental



Nota. Cada ensayo consistió en la presentación de un estímulo facial (2 s), seguido de una fase de evaluación de la intensidad emocional mediante una escala Likert de 1 a 5 (1.5 s), y finalmente una cruz de fijación (1 s).

Anexo B

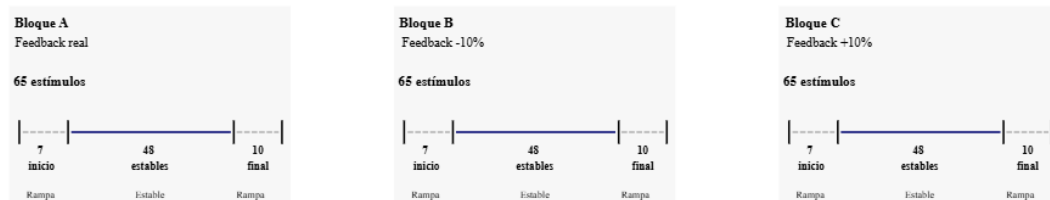
Orden de bloques y contrabalanceo experimental (diseño intrasujeto)

Ejemplos de orden posible:

A → B → C

B → C → A

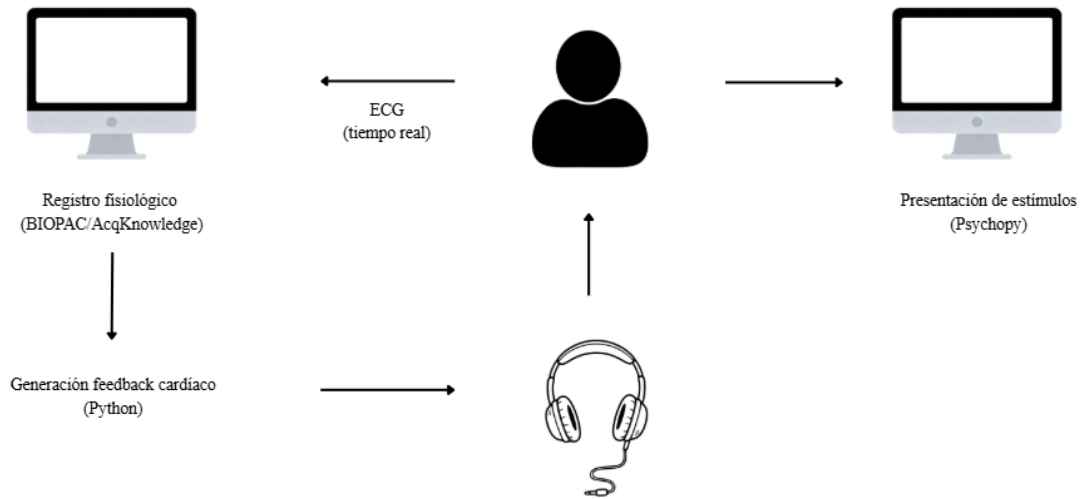
C → A → B



Nota. Representación del orden de presentación de los bloques experimentales (feedback real, asincrónico lento y asincrónico rápido) y su contrabalanceo entre participantes. Cada bloque incluyó 65 ensayos, con fases de rampa inicial y final que permiten una transición progresiva del feedback cardíaco, y una fase central de ensayos estables utilizada para el análisis.

Anexo C

Arquitectura del sistema experimental y flujo de señal fisiológica



Nota. Esquema del flujo de información durante el experimento: la señal ECG se registra en tiempo real mediante BIOPAC/AcqKnowledge, se procesa en Python para generar el feedback cardíaco manipulado y se sincroniza con la presentación de estímulos visuales en Psychopy.

Anexo D

Generación del sonido cardíaco

Código 1

```

SAMPLE_RATE = 44100

def make_beat_extra_smooth(duration, volume, low, high):
    """
    Generación del latido cardíaco sintético
    basado en ruido filtrado y envolvente temporal suavizada
    """
    n = int(SAMPLE_RATE * duration)
    noise = np.random.randn(n)

    filtered = bandpass_filter_improved(noise, low, high, SAMPLE_RATE)

    t = np.linspace(0, duration, n)
    env = smooth_envelope(t)

    sig = filtered * env
    sig = normalize_safe(sig) * volume

    stereo = np.column_stack([sig, sig])
    return stereo.astype(np.float32)

# Componentes del latido
LUB = make_beat_extra_smooth(0.070, 1.2, 18, 120)
DUB = make_beat_extra_smooth(0.045, 0.9, 40, 180)

```

Nota. Este fragmento implementa la generación del sonido cardíaco sintético mediante ruido blanco filtrado y una envolvente temporal suavizada, permitiendo simular los componentes acústicos del latido (“lub” y “dub”).

Anexo E

Manipulación del feedback cardíaco a través de rampas progresivas

Código 1

```
def update_factor(self, now):
    """
    Aplicación de rampas progresivas en la manipulación del feedback cardíaco
    """
    if self.factor_start_time is not None:
        elapsed = now - self.factor_start_time

        if elapsed >= RAMP_SECONDS:
            self.factor_current = self.factor_target
            self.factor_start_time = None
        else:
            x = elapsed / RAMP_SECONDS
            s = 1 / (1 + np.exp(-10 * (x - 0.5))) # transición suave
            self.factor_current = (
                self.factor_start +
                s * (self.factor_target - self.factor_start)
            )

    return self.factor_current
```

Código 2

```
# Definición de condiciones experimentales
if d7 and d8:
    factor = 1.00 # feedback real
elif d7 and not d8:
    factor = 1.10 # asincrónico rápido
elif d8 and not d7:
```

```
factor = 0.90 # asincrónico lento

# Aplicación del feedback
bpm_audio = bpm_real * factor
```

Nota. Estos fragmentos implementan la manipulación del feedback cardíaco. El Código 1 aplica una transición progresiva mediante rampas temporales, mientras que el Código 2 define las condiciones experimentales ajustando la frecuencia cardíaca percibida en $\pm 10\%$ respecto al valor real.

Anexo F

Procedimiento de selección balanceada de estímulos (sexo × emoción)

Código 1

```
def seleccionar_trials_estables_balanceados(df, n_por_combo=8):
    """
    Selección balanceada por sexo y emoción facial
    """
    combos = [
        ('af', 'feliz'), ('af', 'neutro'), ('af', 'enfadado'),
        ('am', 'feliz'), ('am', 'neutro'), ('am', 'enfadado')
    ]

    seleccion = []

    for sexo, emo in combos:
        subset = df[
            (df['sexo'] == sexo) &
            (df['emocion'] == emo)
        ]

        seleccion.extend(
            subset.sample(n=n_por_combo, replace=False).to_dict('records')
        )

    random.shuffle(seleccion)
    return seleccion
```

Nota. Este fragmento implementa la selección de ensayos experimentales mediante un procedimiento de balanceo completo entre sexo y categoría emocional, garantizando una distribución homogénea de estímulos en cada bloque.

Anexo G

Construcción de bloques experimentales y control de ensayos estables

Código 1

```
# Selección de ensayos estables

trials_estables = seleccionar_trials_estables_balanceados(df_pool,
n_por_combo=8)

# Pool de ensayos libres (excluyendo los estables)
estables_files = {t['file'] for t in trials_estables}
df_libres_pool = df_pool[~df_pool['file'].isin(estables_files)]
libres_pool = df_libres_pool.to_dict('records')

# Ensayos libres de inicio (rampa de entrada)
inicio_libres = random.sample(libres_pool, 7)

# Eliminar usados
libres_restantes = [t for t in libres_pool if t not in inicio_libres]

# Ensayos libres de final (rampa de salida)
final_libres = random.sample(libres_restantes, 10)

# Construcción final del bloque
trials = inicio_libres + trials_estables + final_libres
```

Nota. Este fragmento implementa la estructura de los bloques experimentales, combinando ensayos iniciales y finales no estables con un conjunto central de ensayos balanceados. Esta organización permite aislar los ensayos utilizados para el análisis de los periodos de transición asociados a la manipulación del feedback cardíaco.

Anexo H

Consentimiento informado del participante

INVESTIGACIÓN SOBRE INFERENCIA ACTIVA, INTEROCEPCIÓN Y RECONOCIMIENTO EMOCIONAL

Consentimiento Informado del participante

Desde la Universidad Pontificia de Comillas (Madrid) se está llevando a cabo una investigación con motivo del Trabajo Final de Grado.

El objetivo principal de esta investigación es analizar cómo la información interoceptiva, concretamente el feedback cardíaco, influye en la percepción y evaluación emocional de estímulos faciales, en el marco teórico del modelo de Inferencia Activa.

La participación en el estudio consistirá en la realización de una tarea experimental en la que se presentarán imágenes de rostros con distintas expresiones emocionales, mientras el participante escucha sonidos auditivos a través de auriculares y valora la intensidad emocional percibida.

Antes de comenzar, nos gustaría recordarle que:

- La participación en el estudio es **VOLUNTARIA**.
- El estudio es **ANÓNIMO** y **CONFIDENCIAL**; en ningún caso será posible identificar personalmente a los participantes a partir de los datos recogidos.
- Las tareas realizadas no tienen carácter **diagnóstico ni evaluativo**, y no existen respuestas correctas o incorrectas. Le rogamos que responda con la mayor sinceridad posible.
- El experimento es **INDIVIDUAL**, por lo que le pedimos que no consulte sus respuestas con otras personas durante su realización.
- Es importante que siga las instrucciones que se le indiquen y que responda conforme a su experiencia personal.
- Puede interrumpir su participación en cualquier momento, sin necesidad de justificar su decisión y sin que ello suponga ningún perjuicio.
- Al finalizar la tarea experimental, recibirá una explicación detallada (debriefing) sobre los objetivos del estudio y los procedimientos utilizados.

Le agradecemos de antemano su colaboración y su contribución al avance del conocimiento científico en el ámbito de la psicología.

Todos los datos recogidos serán tratados con extrema confidencialidad y usados únicamente para los fines científicos y académicos del presente trabajo.

Yo, D./Dña. _____, con DNI/NIE _____, declaro que he sido informado/a de manera clara y comprensible sobre la naturaleza, objetivos y procedimientos del estudio mencionado, así como sobre los posibles riesgos y beneficios derivados de mi participación.

Declaro igualmente que:

- He recibido información suficiente sobre el estudio, incluyendo los procedimientos de seguridad adoptados para el tratamiento y custodia de los datos, así como las personas que tendrán acceso a los mismos.
- He tenido la oportunidad de formular preguntas y obtener respuestas satisfactorias antes de decidir mi participación.
- He comprendido que mi participación es **voluntaria** y que puedo **retirar mi consentimiento en cualquier momento**, sin necesidad de justificar mi decisión y sin que ello suponga ningún tipo de penalización o perjuicio.
- He sido informado/a de que los datos recogidos serán tratados de forma **anónima** y **confidencial**, y utilizados exclusivamente con fines científicos y académicos.

Por todo ello, **presto libre y voluntariamente mi consentimiento para participar en el estudio.**

Firma del/de la participante: _____

Nombre y apellidos: _____

Fecha: ____ / ____ / ____



Firma del/de la investigador/a:

Nombre y apellidos: Teresa Garzón Molina

Fecha: ____ / ____ / ____

Anexo I

Compromiso de confidencialidad del participante

INVESTIGACIÓN SOBRE INFERENCIA ACTIVA, INTEROCEPCIÓN Y RECONOCIMIENTO EMOCIONAL

COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD DEL PARTICIPANTE

Título del estudio: **Evaluación empírica del modelo de Inferencia Activa a través de la manipulación de falso feedback cardíaco en el reconocimiento emocional facial**

Investigadora responsable: Teresa Garzón Molina

Institución: Universidad Pontificia Comillas

Yo, D./Dña. _____, con DNI/NIE _____, declaro que he participado de forma voluntaria en el estudio de investigación arriba indicado.

Mediante la firma del presente documento, me comprometo a mantener la confidencialidad sobre toda la información relacionada con el desarrollo del experimento, incluyendo, pero no limitándose a:

- Las tareas, pruebas o actividades realizadas durante la investigación.
- Los estímulos presentados, materiales utilizados o instrucciones recibidas.
- Los objetivos específicos del estudio, en caso de que no hayan sido plenamente explicados durante mi participación.
- Cualquier otro aspecto del procedimiento experimental que pueda afectar a la validez del estudio si es divulgado a terceras personas.

Entiendo que la difusión de esta información (de forma oral, escrita o a través de redes sociales u otros medios) podría comprometer los resultados de la investigación y perjudicar su validez científica.

Este compromiso de confidencialidad se mantendrá una vez finalizada mi participación en el estudio, hasta que los resultados hayan sido analizados y, en su caso, difundidos por los cauces académicos correspondientes.

Se me ha informado de que este compromiso no afecta a mis derechos como participante, incluyendo el derecho a retirar mis datos del estudio conforme a la normativa vigente en materia de protección de datos personales.

Y para que así conste, firmo el presente documento en:

Firma del/de la participante:

Firma del/de la investigador/a responsable:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "C. López" with "11/04" written below it.

Anexo J

Análisis de datos de las hipótesis principales

Tabla J1

Ajuste del modelo lineal mixto para la evaluación emocional de los estímulos faciales

Estimación	Linear mixed model fit by REML
Call	evaluación ~ 1 + condicion + emocion + condicion:emocion+(1 imagen)+(1 + condicion ID)
AIC	11451.837
BIC	11594.504
LogLikel.	-5725.972
R2 marginal	0.386
R2 condicional	0.570
Convertido	Sí
Optimizador	bobyqa

Nota. Modelo lineal mixto (REML). R² marginal = efectos fijos; R² condicional = efectos fijos + aleatorios. Interceptos aleatorios por imagen e ID y pendientes de condición por ID.

Tabla J1

Efectos fijos del modelo lineal mixto sobre la evaluación emocional

	F	Num df	Den df	P
Condición	2.148	2	30.1	0.134
Emoción	372.984	2	208.6	< .001
Condición *	0.874	4	4139.4	0.479
Emoción				

Nota. Los grados de libertad se estimaron mediante la aproximación de Satterthwaite

Tabla J2*Componentes de efectos aleatorios del modelo lineal mixto para la evaluación emocional*

Groups	Name	SD	Variance	ICC
imagen	(Intercept)	0.3808	0.14497	0.170
ID	(Intercept)	0.3861	0.14909	0.174
	condicion1	0.1982	0.03926	
	condicion2	0.0712	0.00508	
Residual		0.8423	0.70953	

Nota. Número de observaciones = 4385; grupos: imagen (n = 212) e ID (n = 31).

Tabla J3*Comparaciones múltiples post hoc (ajuste Bonferroni) para el factor emoción*

emocion	emocion	Difference	SE	t	df	pbonferroni
enfado	- feliz	0.270	0.0715	3.78	209	< .001
enfado	- neutro	1.806	0.0715	25.28	208	< .001
feliz	- neutro	1.536	0.0712	21.56	209	< .001

Nota. Comparaciones múltiples con corrección de Bonferroni.

Tabla J4*Comparaciones múltiples post hoc (ajuste Bonferroni) para el factor condición*

condición		condición	Difference	SE	t	df	p_{bonfer}
asincr_le	-	asincr_ra	-0.0929	0.04	-1.95	30.	0.1
nt		pi					
o		d					
		o					
asincr_le	-	real	-0.0425	0.03	-1.25	30.	0.6
nt							
o							
asincr_ra	-	real	0.0504	0.04	1.01	29.	0.9
pi							
do							

Nota. Comparaciones múltiples con corrección de Bonferroni.

Anexo K

Análisis de datos de las hipótesis exploratorias

Tabla K1

Estadísticos de ajuste del modelo lineal mixto (REML) para la variable FC_media

Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	FC_media ~ 1 + fc_baseline + condicion+(1 + condicion ID)
AIC	26376.460
BIC	26448.581
LogLikel.	-13177.895
R-squared Marginal	0.654
R-squared Conditional	0.875
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

Nota. Modelo lineal mixto (REML). R² marginal = efectos fijos; R² condicional = efectos fijos y aleatorios. Se incluyeron interceptos aleatorios por ID y pendientes aleatorias de la condición por participante.

Tabla K2

Efectos fijos del modelo lineal mixto sobre la frecuencia cardíaca

	F	Num df	Den df	p
fc_baseline	101.30	1	30.0	< .001

	F	Num df	Den df	p
condicion	1.68	2	31.0	0.203

Nota. Los grados de libertad se estimaron mediante la aproximación de Satterthwaite.

Tabla K3

Componentes de efectos aleatorios del modelo lineal mixto para la frecuencia cardíaca

Groups	Name	SD	Variance	ICC
ID	(Intercept)	5.27	27.77	0.625
	condicion1	2.40	5.76	
	condicion2	2.20	4.84	
Residual		4.08	16.67	

Nota. Number of Obs: 4608 , groups: ID 32

Nota. Número de observaciones = 4608; grupos: ID (n = 32).

Tabla K4

Comparaciones múltiples post hoc (ajuste Bonferroni) para el factor condición

Condición	Condición	Diferencia	SE	t	df	p_{bonfe}
asincr_lent o	asincr_rapi do	-0.151	0.44	-0.336	31.	1.00
asincr_lent o	real	-0.734	0.41	-1.763	31.	0.26

Condición	Condición	Diferencia	SE	t	df	p_{bonfe}
asincr_rapi do	- real	-0.582	0.45	-1.274	31.	0.63

Nota. Comparaciones múltiples con corrección de Bonferroni

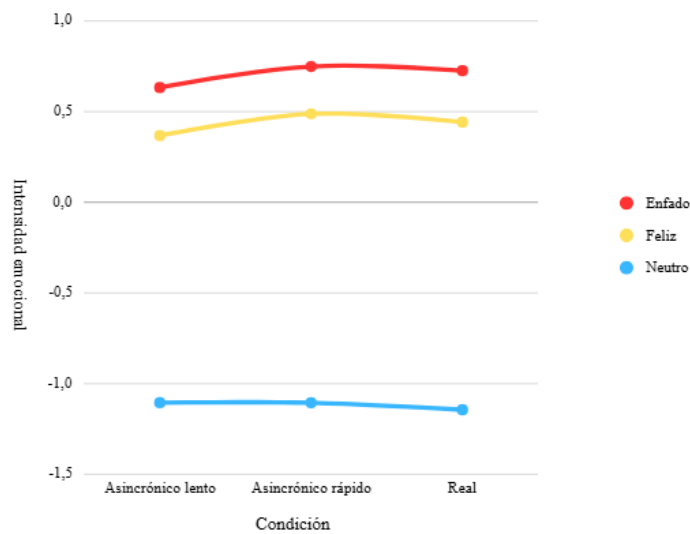
Anexo L

Figuras de resultados

A continuación, se presentan las representaciones gráficas de los principales resultados del estudio.

Figura L1

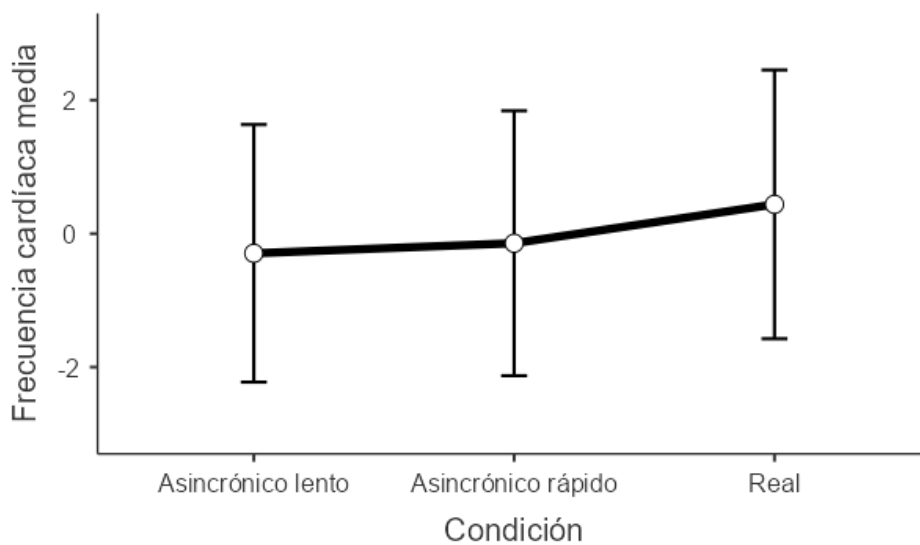
Evaluación de la intensidad emocional en función de la emoción y la condición



Nota. Los valores representan las medias estimadas del modelo lineal mixto.

Figura L2

Frecuencia cardíaca media en función de la condición de feedback cardíaco



Nota. Los valores representan las medias estimadas del modelo lineal mixto. Las barras de error indican el error estándar.