

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE PSICOLOGÍA



Inducción experimental de sinestesia y su relación con la atención
Tesis para obtener el título profesional de Licenciada en Psicología
que presenta:

Adriana Mariel Chachi Salcedo

Asesor:

Mg. Renato Paredes Venero

Lima, 2024

Informe de similitud

Yo, Renato Paredes Venero, docente de la Facultad de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la Tesis titulada “Inducción experimental de sinestesia y su relación con la atención”, de la autora Adriana Mariel Chachi Salcedo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 12%. Así lo consigna el reporte del software Turnitin el 27/09/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte, así como la Tesis, y no se advierten indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

San Miguel, 27 de setiembre de 2024

Paredes Venero, Renato

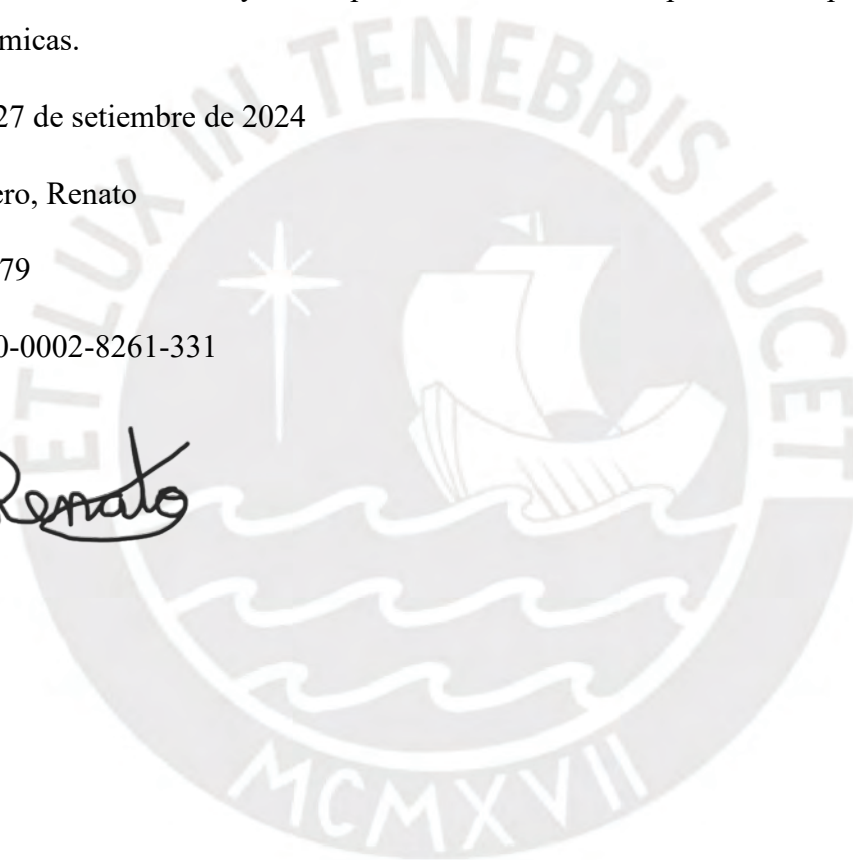
DNI: 72498779

ORCID: 0000-0002-8261-331

Firma:



Renato



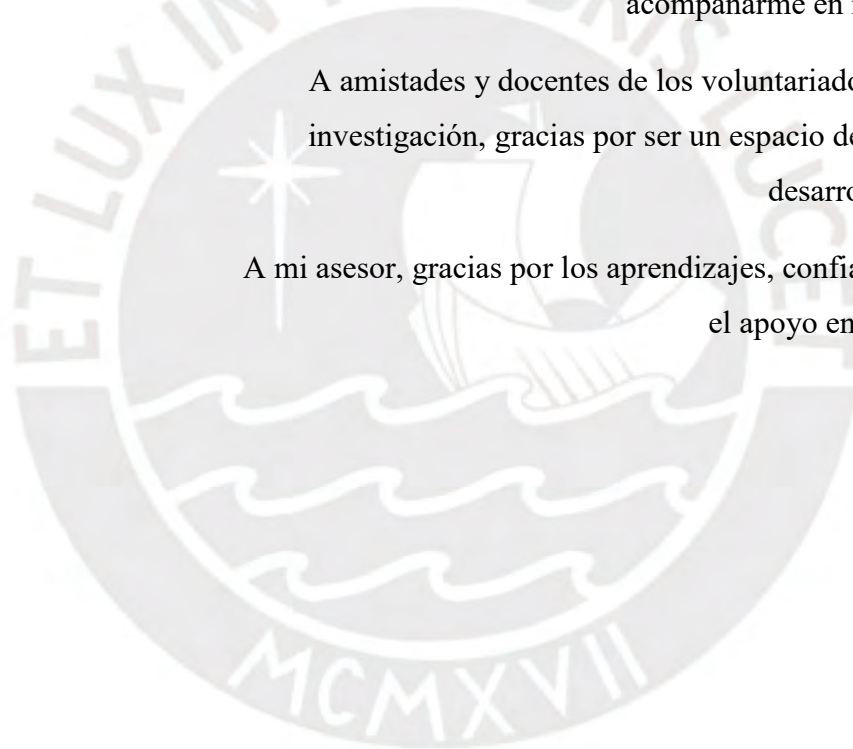
Agradecimientos

A Dios. A mi madre Mariella, mi padre Lizardo y mi hermano André, gracias por ser el ejemplo del esfuerzo, disciplina y amor. A mi maravillosa familia. Gracias por el apoyo incondicional, por siempre creer en mí y cuidarme con amor.

A mis amistades, gracias por el interés, preocupación y apoyo en el desarrollo de la investigación y ser mi soporte en este trayecto. Gracias por alentarme a dar lo mejor de mí y acompañarme en mi formación.

A amistades y docentes de los voluntariados y grupos de investigación, gracias por ser un espacio de acogida y de desarrollo científico.

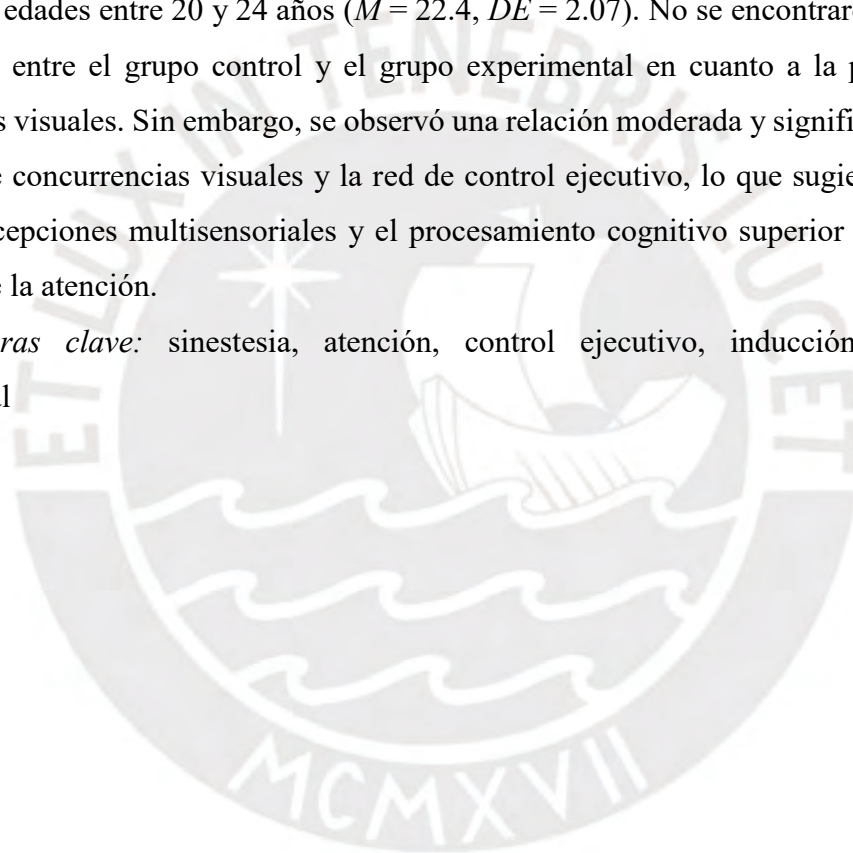
A mi asesor, gracias por los aprendizajes, confianza, la guía y el apoyo en este trayecto.



Resumen

La sinestesia es un fenómeno que implica el emparejamiento de un estímulo inductor que genera una percepción en una modalidad sensorial diferente. Aunque se ha considerado que es una condición de base genética, otra perspectiva sugiere que cualquier persona podría experimentar sinestesia bajo ciertas condiciones. Esta investigación exploró esa posibilidad, con el objetivo de inducir experiencias sinestésicas visuales en personas sin la condición natural de sinestesia utilizando un estímulo auditivo. Además, se estudió la relación entre estas experiencias con la atención, medida mediante la prueba de la Red Atencional, que evalúa las redes de alerta, orientación y control ejecutivo. Participaron 42 personas (18 hombres y 24 mujeres) con edades entre 20 y 24 años ($M = 22.4$, $DE = 2.07$). No se encontraron diferencias significativas entre el grupo control y el grupo experimental en cuanto a la percepción de concurrencias visuales. Sin embargo, se observó una relación moderada y significativa entre la frecuencia de concurrencias visuales y la red de control ejecutivo, lo que sugiere un vínculo entre las percepciones multisensoriales y el procesamiento cognitivo superior a través de la regulación de la atención.

Palabras clave: sinestesia, atención, control ejecutivo, inducción, integración multisensorial



Abstract

Synesthesia is a phenomenon that involves the pairing of an inducing stimulus with a perception in a different sensory modality. Although it has been considered a condition with a genetic basis, another perspective suggests that any person could experience synesthesia under certain conditions. This study explored this possibility, aiming to induce visual synesthetic experiences in individuals without the natural condition of synesthesia using auditory stimuli. Additionally, the relationship between these experiences and attention was examined, measured through the Attention Network Test, which evaluates the alerting, orienting, and executive control networks. Forty-two participants (18 men and 24 women), aged between 20 and 24 years ($M = 22.4$, $SD = 2.07$), took part in the study. No significant differences were found between the control and experimental groups in the perception of visual concurrents. However, a moderate and significant relationship was observed between the frequency of visual concurrents and the executive control network, suggesting a link between multisensory perceptions and higher cognitive processing through attention regulation.

Keywords: synesthesia, attention, executive control, induction, multisensory integration

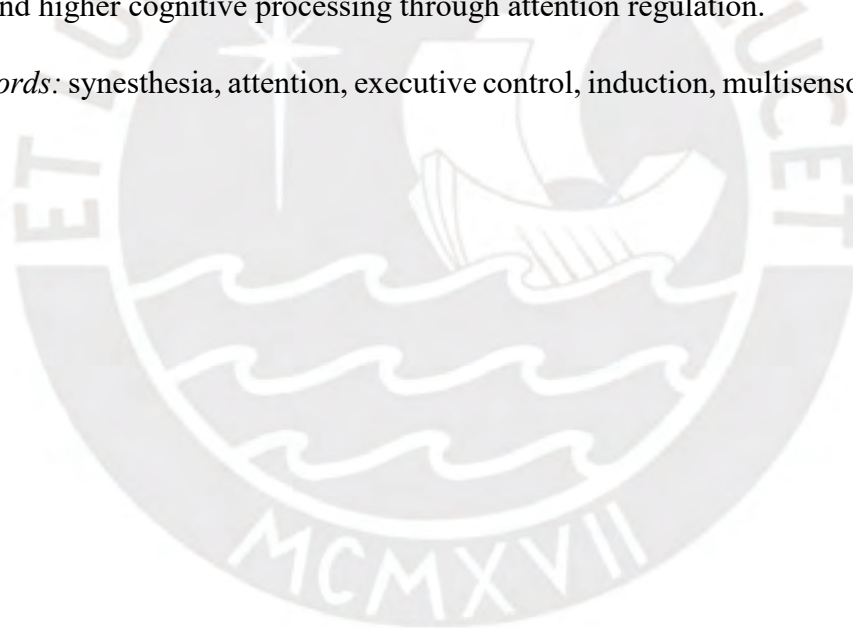


Tabla de contenidos

Introducción	1
Método	10
Participantes	10
Medición.....	10
Procedimiento.....	14
Análisis de datos.....	15
Resultados	17
Discusión.....	20
Referencias.....	26
Apéndices.....	36
Apéndice A: Consentimiento informado virtual	36
Apéndice B: Consentimiento informado presencial.....	38
Apéndice C: Ficha de datos sociodemográficos.....	40
Apéndice D: Prueba de Sinestesia natural.....	41
Apéndice E: Protocolo de coordinación presencial.....	43
Apéndice F: Cuestionario de interrogación de imágenes visuales	44
Apéndice G: Infografía de resultados.....	47

Introducción

El estudio de la experiencia consciente implica explicar el conjunto complejo de procesos bioquímicos que ocurren en el cerebro y dan origen a la percepción (Chalmers & Bayne, 2010; Gazzaniga et al., 2019; Seth & Bayne, 2022). El primer acceso a la experiencia consciente está constituida por procesos perceptuales unisensoriales, multisensoriales y/o experiencias particulares como la sinestesia (Mashour et al., 2020; Sergent, 2018; Seth & Bayne, 2022). La sinestesia se ha descrito como una experiencia fenomenológica extraordinaria, extraña y particular de la percepción consciente que está presente en un porcentaje pequeño de personas (Banissy et al., 2014; Brang & Ramachandran, 2020; Sagiv & Frith, 2013; Ward, 2021).

El consenso la define como el emparejamiento de dos componentes: un estímulo inductor que elicitaba una experiencia perceptual y la respuesta concurrente en una modalidad sensorial diferente a la que el estímulo se encuentra, inicialmente, asociado (Brang & Ramachandran, 2020; Meier, 2022; van Leeuwen et al., 2015; Ward, 2013, 2019, 2021). Por ejemplo, un sonido (inductor), el cual genera una percepción auditiva, podría elicitaba una respuesta (concurrente) en el campo visual (Freeman, 2020; Nair & Brang, 2019). La sinestesia se diferencia de otros procesos perceptivos como las ilusiones visuales o las alucinaciones. La primera ocurre cuando el estímulo inductor es percibido erróneamente; mientras que, la segunda, es la percepción de la respuesta concurrente en ausencia de un estímulo inductor (Brogaard et al., 2020; Ward, 2013).

Existen diferentes teorías que explican su origen y funcionamiento. La primera es la teoría de activación intermodal, la cual explica que la activación en una modalidad sensorial puede afectar a modalidades sensoriales próximas mediante un proceso de sobreexcitación de las señales neuronales, que facilita la percepción de concurrentes (Brang & Ramachandran, 2020; Meier, 2022). En este caso la relación entre el inductor y el concurrente es directa debido a la existencia de conexiones adicionales entre las áreas cerebrales involucradas del estímulo y la respuesta (Ramachandran & Hubbard, 2001; van Leeuwen et al., 2015).

Esta teoría se ha empleado para explicar la sinestesia natural. Esta es una condición que permite la percepción automática de concurrentes sin dejar de percibir al inductor (Ward, 2019; Ward & Filiz, 2020). Se explica que se origina en personas que contarían con conexiones neuronales remanentes del periodo de la poda sináptica, lo cual facilita la hiperconectividad en las áreas sensoriales (Ward, 2019). Esta condición se ha reportado en un 2 a un 4% de la población mundial y predominantemente en mujeres (Meier, 2022; Ward & Filiz, 2020).

Adicionalmente, se han reportado entre 60 y 73 tipos de emparejamientos; incluso, se describen reportes de personas que experimentan diversos tipos de sinestesia, lo cual es denominado como sinestesia múltiple (Dance et al., 2021; Meier, 2022).

Se han descrito tres marcadores de la experiencia sinestésica de base genética. En primer lugar, es una experiencia idiosincrática, ya que es particular a cada persona (Ward, 2019). En segundo lugar, es consistente porque el emparejamiento se mantiene en el tiempo y constituye una experiencia verídica (Meier, 2022; Ward & Filiz, 2020). Finalmente, es automática por el control limitado y hasta nulo de las personas sobre la experiencia del concurrente (Ward, 2021). Esta varía en el nivel de vividez con el que experimentan el concurrente. Así las personas proyectoras son las que presentan una experiencia más enriquecida en comparación a las asociadoras (Dixon et al., 2004; Ward, 2019).

Por otro lado, la teoría de la retroalimentación desinhibitoria establece que la sinestesia surge por el mecanismo del mismo nombre que ocurre en las áreas sensoriales asociativas de alto orden. El mecanismo permite la activación de regiones sensoriales primarias que no han sido estimuladas por el inductor favoreciendo la percepción de concurrentes (Meier, 2022; van Leeuwen et al., 2015). En este caso la relación entre el inductor y el concurrente ocurre en las áreas corticales superiores y el rol intermediario de la corteza parietal (Lalwani & Brang, 2019; van Leeuwen et al., 2015). De esta manera, las regiones unisensoriales pueden influir en el procesamiento multisensorial por medio de conexiones neuronales preexistentes (Ward, 2021).

Esta teoría permite abordar la segunda forma de sinestesia: la inducida, también denominada momentánea o artificial. Según esta perspectiva, la sinestesia es una condición potencial en todas las personas, debido a que la transmisión de la información perceptual no requiere de conexiones neuronales adicionales (Grossenbacher & Lovelace, 2001; Ward, 2021). Aunque la sinestesia inducida comparte algunos marcadores con la sinestesia natural, como la automaticidad y el acceso consciente (Kim et al., 2019; Terhune et al., 2017), se diferencian en su origen y características.

La sinestesia natural, asociada a la hiperconectividad neuronal, permite a los sinestetas experimentar concurrentes de forma automática y sin necesidad de un contexto experimental (Mattingley, 2009). En contraste, la sinestesia inducida no depende de una predisposición genética y se limita a generar asociaciones temporales y contextuales que no alcanzan la vividez y automaticidad evidenciadas en la sinestesia natural (Nair & Brang, 2019; Nanay, 2020). Ello resalta la diferencia entre los sinestetas naturales y los que experimentan sinestesia inducida.

Así, la sinestesia inducida se refiere a la elicitación temporal de concurrentes por distintos medios (Grossenbacher & Lovelace, 2001; Ward & Filiz, 2020). Uno de ellos es la exposición a sustancias (Dell'Erba et al., 2018) o la manipulación experimental (Freeman, 2020; Nair & Brang, 2019; Terhune et al., 2017). Esta forma abarca la sinestesia adquirida que se presenta en personas con pérdida sensorial de algún sentido y ocurre por la plasticidad compensatoria que permite la sustitución del sentido afectado (Dell'Erba et al., 2018; Ward, 2019).

Otra forma de inducir sinestesia es mediante el entrenamiento (Bor et al., 2015; Khare et al., 2019). Al respecto, se realizó un experimento con 33 personas con el objetivo de entrenarlas durante 9 semanas para que puedan experimentar colores sinestésicos. Para ello, se llevaron a cabo sesiones de entrenamiento (habitación, condicionamiento y extensión) y evaluaciones en las áreas de memoria de trabajo y memoria a largo plazo. Sumado a ello, se demostró la experiencia sinestésica genuina mediante la prueba de consistencia del color y la tarea de Stroop) (Bor et al., 2015).

Por un lado, se encontró que las personas presentaban características de sinestesia grafema-color luego de la etapa de entrenamiento. Se explicó que ello ocurre por el rol del componente semántico que facilita asociaciones conceptuales que permiten el entrenamiento en sinestesia. Por otro lado, se encontraron niveles altos de congruencia en las evaluaciones perceptuales debido a las asociaciones semánticas entre las letras y los colores; así como, mejores puntajes en tareas de percepción y memoria. Así, este experimento evidenció la consistencia post entrenamiento de personas sin sinestesia natural (Bor et al., 2015).

Otra forma de inducción implica el uso de drogas psicodélicas que alteran la percepción. Ello permite reproducir la percepción consciente de los concurrentes sinestésicos visuales y reconocer los circuitos neuronales asociados (Dell'Erba et al., 2018; Leptourgos et al., 2022; Luke et al., 2022; Terhune et al., 2017). Las sustancias que funcionan como inductores son el LSD, mescalina, cannabis, ayahuasca, entre otros (Leptourgos et al., 2022). El estudio encontró que la inducción de sinestesia por LSD brinda una experiencia enriquecida de los colores en comparación a la psilocibina. La experiencia del concurrente ocurre por la sobre estimulación de los receptores de serotonina de la interneuronas en las áreas sensoriales (Brogaard & Gatzia, 2016). Estos hallazgos son congruentes con un incremento de actividad neuronal en áreas mediales prefrontales y la corteza cingulada posterior, que están relacionadas con estados alterados de consciencia (Brogaard & Gatzia, 2016).

Adicionalmente, otro estudio comparó los efectos del consumo de drogas entre personas con sinestesia natural y aquellos que consumían con fines recreativos y sin sinestesia. Basado en el auto reporte de 1568 participantes, se encontró que el LSD funciona como la sustancia predictora de sinestesia inducida en ambos grupos, seguida del ayahuasca y la psilocibina (Luke et al., 2022). Las formas de sinestesia evidenciadas son las siguientes: sonido-color, sonido-espacio y sonido-forma; por lo cual, se puede reconocer el incremento de actividad neuronal en los canales sensoriales auditivos y visuales (Luke et al., 2022).

Es relevante diferenciar la sinestesia inducida de las alusiones. La sinestesia inducida se manifiesta como una respuesta perceptiva a un estímulo concreto y puede ser reproducida bajo condiciones similares (Leptourgos et al., 2022). Por el contrario, las alucinaciones son percepciones sin base necesaria a estímulos externos reales (Brogaard & Gatzia, 2016). Como se menciona, aunque algunas formas de sinestesia inducida pueden estar relacionadas con el uso de fármacos, no todas las experiencias inducidas se deben a drogas.

Ahora bien, otra forma de inducir sinestesia es mediante la manipulación ambiental que simula la pérdida de un sentido, conocida como privación sensorial. Este proceso implica la ausencia o restricción de la estimulación sensorial, lo que provoca una reorganización cortical facilitada por la plasticidad sináptica (Cerf-Beare, 1978; Simon et al., 2020). Ello permite que los circuitos neuronales sensoriales se adapten para formar nuevas asociaciones. Como consecuencia de la privación sensorial, ocurre una compensación intermodal, caracterizada por una activación cortical aumentada en los sentidos remanentes, lo que potencia la integración multisensorial (Simon et al., 2020; Wayne & Johnsrude, 2015). Este fenómeno puede comprenderse a través de la teoría del aprendizaje Hebbiano, que postula que las conexiones sinápticas se fortalecen cuando las neuronas se activan de manera simultánea y repetida, consolidando así redes neuronales en función del aprendizaje y la experiencia (Nakashima et al., 2021; Triche et al., 2022). La privación sensorial puede presentarse en formas total o parcial, temprana o tardía, y puede ser tanto real como experimental, siendo este último el contexto relevante para la presente forma de inducción (Simon et al., 2020).

Así, en un conjunto de tres experimentos, se encontró que la privación sensorial por un período de cinco minutos es suficiente para inducir sinestesia en personas sin esta condición. Este estudio evaluó características del estímulo auditivo para reconocer su incidencia en la elicitación de concurrentes visuales: *flashes* de luz o imágenes complejas. Adicionalmente,

empleó una tarea de imaginería visual, cuyos resultados no fueron analizados, ya que el objetivo era mantener el estado de alerta de los participantes (Nair & Brang, 2019).

En el primer experimento, se estableció el tiempo necesario de privación sensorial para que personas sin sinestesia natural puedan experimentar concurrentes visuales. Para ello, 21 personas desarrollaron la tarea de imaginería visual (Thompson et al., 2008); mientras se les presentaba pitidos de audio aleatorios, que duraban 10 ms, por medio de parlantes. El total de la prueba tuvo una duración aproximada de 30 minutos y las personas informaron si percibían percepciones visuales mediante la pulsación de un botón. Se encontró la percepción de concurrentes visuales en el grupo donde se aplicaron los pitidos de audio y; posteriormente, ello fue corroborado con el informe subjetivo después de la tarea experimental (Nair & Brang, 2019).

En el segundo experimento, se buscó determinar si una diferencia en la intensidad del volumen influye en la percepción de *flashes* visuales; así como, si existía una congruencia entre la orientación del pitido y la percepción visual. Para ello, el grupo experimental escuchó una presentación inicial de pitidos a 60dB en la mitad de los ensayos y a 70 dB en la segunda mitad. La presentación de los pitidos fue aleatoria; sin embargo, el 50% de los mismos estaba por el lado derecho y el otro 50% por el izquierdo. Las condiciones experimentales fueron similares al primer experimento (ambiente sin luces y desarrollo de la prueba de imaginería visual). Participaron 31 personas y se encontró un resultado similar y; adicionalmente, que, a mayor volumen, se presenta un mayor reporte de percepciones visuales. Asimismo, se reportó mayor frecuencia cuando la presentación del estímulo era congruente espacialmente (Nair & Brang, 2019).

Finalmente, el tercer experimento buscó reconocer si las imágenes visuales facilitaban la inducción de las percepciones visuales. En esta ocasión, los estímulos auditivos fueron presentados a 70dB. Participaron 25 personas en las mismas condiciones experimentales, a excepción el uso de audífonos para una mejor emisión del estímulo auditivo. En este caso destaca la presentación de los pitidos, en la cual la primera mitad se presentó aleatoriamente entre los 250 y 750 ms antes del inicio de la prueba de imaginería y; la otra mitad, después de la presentación de los pares de las letras de la prueba. También se mantuvo la distribución de la lateralidad. Se encontró un incremento en la frecuencia de las percepciones visuales durante el desarrollo de la tarea de imaginería y cuando era congruente con la ubicación del estímulo.

Se reportaron entre 1 y 28 percepciones sinestésicas por participante (concurrentes) (Nair & Brang, 2019).

Otro estudio, buscó validar una prueba virtual de genuinidad sobre las sensaciones auditivas evocadas visualmente. Para ello, empleó un modelo de inducción de sinestesia por medio del movimiento visual de figuras abstractas. Participaron 5170 mujeres y 3804 varones en las tareas experimentales. La primera de ellas consistía en evaluar si 20 videos a color con movimiento eran capaces de evocar sensaciones auditivas. Asimismo, evaluó el rol de la supresión del ambiente mediante una tarea perceptual. Esta consistía en que las personas puedan identificar si se mantenía el mismo contraste en 14 discos superpuestos en comparación a uno central (Freeman, 2020).

De esa manera, concluyeron que las sensaciones auditivas evocadas visualmente, se caracterizan por la reducción de la inhibición muta entre y, a través de, las modalidades auditivas y visuales. Esas pueden debilitar la supresión ambiental y, a su vez, reforzar la percepción de concurrentes. El autor explica que ello se debe a dos mecanismos independientes. Por un lado, la ampliación y/o transferencia de las señales de energía de movimiento entre las modalidades sensoriales. Por otro lado, la inhibición de señales entre las modalidades que reduce el umbral de percepción. Así, es posible experimentar concurrentes auditivos; así como, percibir fosfenos (puntos de luz) inducidos auditivamente (Freeman, 2020).

Ahora bien, existe interés sobre cómo la condición de sinestesia está relacionada con otros procesos cognitivos. Estudios en personas con sinestesia natural demuestran que ello impacta en un mejor rendimiento en tareas de memoria, percepción y atención (Carriere et al., 2008; Laeng et al., 2004; Rothen et al., 2018). Asimismo, al comparar personas con sinestesia natural con aquellas sin esta condición, el primer grupo evidencia un mejor rendimiento en tareas de creación musical, creatividad e imaginación mental, en comparación al segundo (Rich & Mattingley, 2013; Ward, 2019, 2021). En cuanto a la sinestesia inducida, los estudios mencionan la importancia del rol de procesos como la atención para la percepción de concurrentes sinestésicos (Freeman, 2020; Nair & Brang, 2019). Sin embargo, aún no se ha explorado la relación entre la atención, y el proceso de inducción experimental de sinestesia.

La atención se refiere al procesamiento selectivo de información que proviene de los sentidos y la memoria (Marois, 2005; Redick & Engle, 2006). Se relaciona con fenómenos

como la selectividad de la percepción, control voluntario y los límites de la capacidad de procesamiento de la información (Pashler, 1997; Rich & Mattingley, 2013). Un enfoque de la atención es su estudio por medio de la identificación de redes neuronales específicas para cada una de sus funciones; así como, su integración en las redes de trabajo cerebrales (Fan et al., 2009). Estas redes son las siguientes: alerta, orientación y control ejecutivo (Fan et al., 2002, 2009; Posner & Boies, 1971).

La red de alerta cumple la función de alcanzar y mantener un estado de vigilancia y sensibilidad cuando se va a percibir un estímulo. Asimismo, se describe como el estado fluctuante de activación que influye en la detección de un estímulo y la habilidad para adquirir información sensorial (Posner, 2008; Schneider, 2019). Esta red se ha correlacionado con la activación en el hemisferio derecho en las regiones frontales y parietales (Fan et al., 2002). En estudios posteriores se ha encontrado una mayor actividad en regiones del tálamo y el locus coeruleus, las cuales están involucradas en funciones cognitivas elevadas (Fan et al., 2009).

En segundo lugar, la red de orientación implica la habilidad de atender selectivamente a un estímulo mientras se ignoran aquellos que son irrelevantes (Fan et al., 2002; Rich & Mattingley, 2013). Esta red abarca tres operaciones específicas. La primera implica poder desligar la atención de su focalización actual. La segunda, supone dirigir la atención a un nuevo objetivo o modalidad. La última se centra en poder enfocar la atención al nuevo objetivo o modalidad (Fan et al., 2009).

Por un lado, se describe una orientación reflexiva exógena que se centra en la atención a la localización, la cual se relaciona con los movimientos oculares dirigidos al objetivo. Por otro lado, una orientación endógena voluntaria que se centra en la búsqueda de un objetivo. Esta se puede desarrollar sin la necesidad de un cambio en la postura o en la posición de los ojos; asimismo, correlaciona con la activación en el área lateral intraparietal, los campos visuales frontales, áreas subcorticales, sistemas colinérgicos y los lóbulos parietales y frontales (Fan et al., 2002, 2009).

Finalmente, la tercera red corresponde al control ejecutivo. Este proceso cumple la función de seleccionar el comportamiento adecuado según la información sensorial recibida (Kamigaki, 2019). Ello supone resolver el conflicto que ocurre cuando se procesan distintos tipos de información en el cerebro; por ello, involucra procesos como detección de errores, toma de decisiones, aprendizaje de respuestas o el juicio de condiciones difíciles o peligrosas

(Fan et al., 2002, 2009; Posner, 2008). Conductualmente, se evidencia en la habilidad de las personas de ignorar el estímulo distractor. Asimismo, se ha correlacionado con la activación en la corteza cingular anterior y la corteza prefrontal (Fan et al., 2009).

En cuanto a la relación de la atención con la sinestesia, los estudios se centran en la condición de sinestesia natural, cuya característica central es la percepción automática del concurrente (Evans, 2020; Rich & Mattingley, 2013; Ward, 2013). De forma similar, se menciona que el alterar la presentación del estímulo inductor, ya sea encubriéndolo (*masking*) o limitando los recursos atencionales, se educe o elimina la evidencia comportamental de la experiencia sinestésica (Rich & Mattingley, 2013). En consecuencia, para lograr la experiencia del concurrente, es importante la atención al estímulo inductor.

Otro estudio investigó el rol de la automaticidad en la sinestesia de clase-color encontrando que la atención selectiva cumple un rol en la automaticidad de la sinestesia natural (Itoh et al., 2019; Lebeau & Richer, 2022). Las personas con sinestesia natural han evidenciado un mejor rendimiento en tareas que miden funciones de la atención tales como la identificación y localización de objetivos frente a los distractores (Mattingley, 2009). En ese sentido, se puede reconocer la importancia de la atención en la percepción; por lo cual, es relevante su estudio en la forma inducida de la sinestesia (Deroy & Spence, 2013; Rich & Mattingley, 2013; Spence, 2011).

Si bien el estudio de la sinestesia ha cobrado relevancia en los últimos años, aún quedan vacíos por explicar, tales como el poder reconocer su influencia y relación en otros procesos cognitivos. Hasta la fecha, no se ha explorado sobre estas relaciones desde el paradigma de la inducción experimental de la sinestesia, siendo uno de los estudios principales el de Nair y Brang (2019). Por lo cual, se plantea relevante la ampliación de estudios que consideren la inducción experimental de sinestesia; así como, la relación con procesos cognitivos como la atención.

Asimismo, el desarrollo de teorías explicativas sobre el desarrollo y funcionamiento de la sinestesia aún carecen de consenso y requieren de mayor exploración empírica. Así existen posturas que tienden a reconocer a la sinestesia como un fenómeno de origen plenamente genético, como plantea la teoría de correspondencias intermodales o; por otro lado, aquellas que consideran la posibilidad de reconocer a la sinestesia como un continuo perceptual (Brang & Ramachandran, 2020; Ward, 2021). En ese sentido, el estudio de sinestesia en personas sin

la condición natural es importante para comprender los mecanismos cognitivos, comportamentales y neurofisiológicos que dan lugar a este fenómeno (Terhune et al., 2017).

De esa manera, un mayor claridad teórica y empírica podrá ser un mejor sustento para aplicaciones tecnológicas y clínicas que involucren la sinestesia y otras formas de integración multisensorial. Así, por ejemplo, el desarrollo de equipos que permiten la estimulación de otros sentidos afectados como la visión, es una muestra de cómo se pueden aplicar los principios de integración multisensorial y de sinestesia. Estos son dispositivos de sustitución sensorial auditivo-visuales que pueden ser empleados en la recuperación neuropsicológica, (Renier & De Volder, 2013).

En esa misma línea, el paradigma de la inducción experimental podría ofrecer un enfoque clínico nuevo para comprender la sinestesia. Conocer cómo se relaciona la sinestesia con diagnósticos como el TDAH (Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad), el trastorno del espectro autista (Meier, 2022; Ward & Filiz, 2020) o el trastorno de estrés postraumático (Hoffman et al., 2019). Comprender estos mecanismos en población sin esta condición natural, también podría facilitar el estudio de la sinestesia en la recuperación neuropsicológica para fortalecer funciones cognitivas como la memoria y atención (Ovalle-Fresa et al., 2021).

En ese sentido, el presente estudio busca inducir experimentalmente sinestesia, lo cual implica determinar la presencia de concurrentes sinestésicos visuales por la presentación del estímulo auditivo en un contexto de privación sensorial visual en personas sanas y sin experiencia sinestésica previa. Adicionalmente, se plantea determinar la relación entre la capacidad atencional y la sinestesia (proporción de concurrentes sinestésicos visuales percibidos). Ello implica estudiar la relación entre la sinestesia y cada una de las redes de la atención (alerta, orientación y control ejecutivo), las cuales permiten caracterizar la capacidad atencional de las personas.

Método

Participantes

En el estudio participaron 42 personas (18 hombres y 24 mujeres) entre 20 y 24 años ($M = 22.4$, $DE = 2.07$), quienes cumplían con los criterios de inclusión. Ellos fueron asignados aleatoriamente al grupo experimental o control de 21 integrantes respectivamente. El 80% de los participantes reportaron visión corregida y ninguno reportó problemas de audición. No contaban con algún diagnóstico neurológico (incluyendo la migraña y el Trastorno de Espectro Autista), psiquiátrico o de aprendizaje, ya que se ha encontrado relación entre estos diagnósticos y la experiencia de percepciones visuales sinestésicas (Meier, 2022; Rothen et al., 2018). De la misma manera, se aseguró que no hayan consumido productos con cafeína o sustancias psicoactivas en las últimas 24 horas, ya que estas se relacionan con la inducción de sinestesia y afectan el rendimiento en pruebas cognitivas (Barrera & Jácome, 2019; Nair & Brang, 2019; Yanakieva et al., 2019).

Además, solo participaron aquellas personas que no evidenciaban experiencia de sinestesia natural a partir de las respuestas del Test de la prueba traducida al español de la página web *synesthesia.org*, la cual es usada regularmente en investigación sobre sinestesia (Berger et al., 2020; Carmichael et al., 2015; Eagleman et al., 2007). Se cuidó la exposición de los participantes a estímulos en condiciones no naturales y se aseguró la participación explícitamente voluntaria tal y como lo señalan los principios de beneficencia y no maleficencia (Colegio de Psicólogos del Perú, 2017).

Los estímulos no excedieron los límites de lo permitido para una audición saludable (85 dB) y la experiencia de privación sensorial fue de tiempo limitado (Organización Mundial de la Salud, 2020). Asimismo, el proceso de la investigación fue supervisado en todo momento y la responsabilidad del proceso fue asumida por la investigadora. La información fue confidencial y únicamente para los fines del estudio, lo cual fue explicitado en el consentimiento informado y en el contacto con las personas (Comité de Ética de la Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2023).

Medición

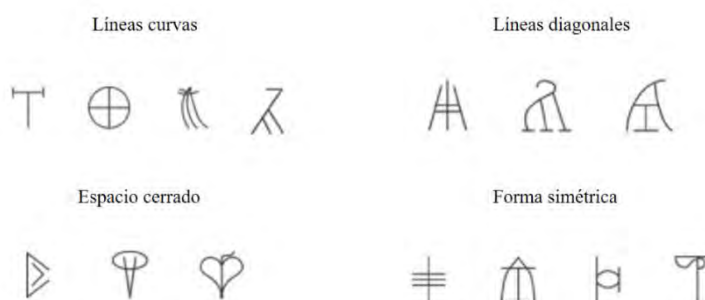
Tarea de Imaginería Visual

La tarea de imaginería mental visual es empleada para asegurar el mantenimiento del estado de alerta de los participantes durante la inducción de sinestesia. Se empleó la adaptación al español de la prueba desarrollada por Thompson y colaboradores (2008). Consta de una

etapa de ensayo que dura 10 minutos aproximadamente, en la cual se presentan 14 caracteres abstractos con una propiedad característica (curva, diagonal, cerrado y simétrica). Los primeros 14 ensayos se presentan en una hoja impresa donde los participantes señalan la propiedad y reciben retroalimentación; posteriormente, los últimos 14 ensayos consisten en la presentación aleatoria por computadora con retroalimentación (*Figura 1*).

Figura 1

Estímulos abstractos de la prueba de imaginación mental



Posteriormente, la tarea empleada en el experimento consiste en la reproducción de audios que presentan una de las 27 letras del abecedario, acompañada de la inicial de una de las cuatro propiedades. Por ejemplo: “DiagF”, “CerrA”, “TrianG”, “SimJ”. Previamente, se le muestra una imagen del abecedario en mayúscula y Arial (*Figura 2*), en la cual se incluyó la letra Ñ en esta adaptación.

En total, se emplearon 108 audios de 200 ms de duración aproximadamente. Los audios fueron grabados en la sala VEO- PUCP con un micrófono condensador Tascam TM 180 y fueron editados en *Camtasia* (versión 2021.0) para ser empleados en el software *Psychopy* (versión 2022. 2.3).

Figura 2

Abecedario empleado para la prueba de imaginación mental

A	B	C	D	E
F	G	H	I	J
K	L	M	N	Ñ
O	P	Q	R	S
T	U	V	W	X
Y		Z		

Inducción de sinestesia

Para la inducción de sinestesia, se emplearon los estímulos descritos en el experimento de Nair y colaboradores (2018) presentados en el *software Psychopy* (versión 2022. 2.3). Estos consisten en 28 audios de onda sinusoidal de 10 kHz de una duración de 10 ms presentados de forma aleatoria a una intensidad de 70 dB (*Figura 3*) después de la presentación del par propiedad-letra. La instrucción fue que si percibían alguna experiencia visual, la cual puede tomar forma de flashes de luz, presionen la barra espaciadora en un teclado conectado a la laptop con el experimento (Bertalmío et al., 2020; Nair & Brang, 2019).

Los audios fueron presentados en un ambiente oscuro (adaptado con cartulinas en las lunas del laboratorio) y; adicionalmente, los participantes usaron un antifaz durante la tarea para bloquear el acceso a la luz. Estos audios fueron generados en el *software* REAPER x64 y presentados por medio de audífonos inalámbricos con cancelación de ruido Sony WH-1000XM5. La parte visual de la tarea de imaginería se presentó en la pantalla IPS de 16 pulgadas a una resolución de (2560 x 1600 px) de una *laptop* modelo LG Gram. Asimismo, para recoger las respuestas conductuales se empleó un teclado Logitech K120 conectado vía *USB* a la *laptop*.

Figura 3

Características de los estímulos de la tarea de imaginería

Propiedades	Contenido del audio	Estímulo
Diagonal	“diag”	27 letras
Curva	“curv”	A-Z
Cerrado	“cerr”	
Simétrico	“sim”	

Cuestionario de interrogación de imágenes visuales

Para la corroboración de la presencia de percepciones visuales, Nair y colaboradores (2018) desarrollaron un cuestionario de interrogación sobre las características de estas percepciones (*Apéndice F*). Consta de 12 preguntas de respuesta abierta aplicadas después de la tarea experimental. Este cuestionario fue traducido al español y empleado al final del experimento a todos los participantes. Sin embargo, no son considerados en los resultados.

Red atencional

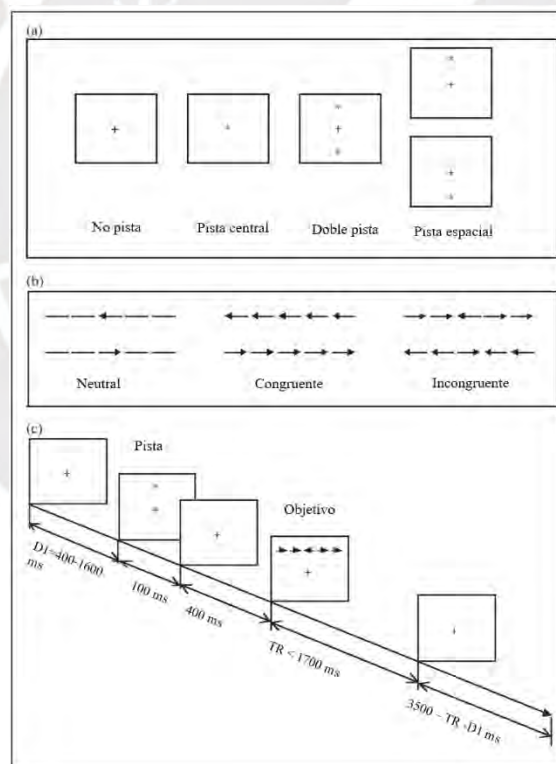
La tarea de la red atencional (*Attentional Network Test*) desarrollada por Fan y colaboradores (2002; 2009) evalúa las redes de alerta, orientación y control (involucradas en

la atención). Para ello, los participantes deben identificar la dirección de la flecha central presionando la tecla de flecha que corresponda, ya sea derecha o izquierda. La prueba dura entre 15 a 20 minutos en función al desempeño del participante y cuenta con un periodo de entrenamiento con retroalimentación. Fue adaptada en el *software Psychopy* versión 2022.1.2 (Peirce et al., 2019) y presentada por medio del servidor Pavlovia (2022).

Evalúa la influencia de los estímulos en los tiempos de respuesta de los participantes. Por un lado, se presentan señales de alerta (pista central y doble pista) y señales espaciales (pista espacial) (*Figura 4a*). Por otro lado, se presentan estímulos que acompañan el estímulo central (*flankers*), los cuales se presentan en las condiciones neutral, congruente e incongruente (*Figura 4b*). De estos, solo la condición congruente e incongruente se usan para el análisis (Fan et al., 2002, 2005, 2009).

Figura 4

Esquema general de la Red Atencional



Nota. Adaptado de “Testing the efficiency and Independence of Attentional Networks” (p.341), por J. Fan; McCandliss, B.; Sommer, T.; Raz, A. & Posner, M., 2002, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3).

El puntaje de cada red se obtiene con el promedio de tiempo de respuesta según cada condición. El puntaje de la red de alerta se obtiene con la sustracción de la condición de doble

señal de la de no señal. En segundo lugar, para la red de orientación, el resultado se obtiene de sustraer el puntaje de las señales espaciales de la señal central. Finalmente, para la red de control ejecutivo se sustrae el puntaje de *flanker* congruente del incongruente. El puntaje total de la Red Atencional se obtiene con la suma de los puntajes de cada red (Fan et al., 2002; Redick & Engle, 2006).

Procedimiento

Esta investigación se rige bajo el enfoque cuantitativo y un diseño experimental con grupo de control para corroborar la inducción de sinestesia (Hernández & Fernández, 2014). Los participantes fueron asignados aleatoriamente a los grupos control y experimental. La elección del diseño experimental se basa en la coherencia con el marco teórico expuesto; así como, un diseño que permita conocer la relación de las variables. La manipulación del estímulo y las mediciones estuvieron bajo los principios éticos de la investigación en seres humanos, tales como el respeto a las personas, beneficencia no maleficiencia, integridad científica y responsabilidad (Colegio de Psicólogos del Perú, 2017).

Los participantes fueron contactados mediante un formulario de Google compartido en redes sociales. Este formulario incluía el consentimiento informado, la información del objetivo del estudio (*Apéndice A*), la ficha sociodemográfica (*Apéndice C*), la prueba de sinestesia natural (*Apéndice D*), el link de acceso para la prueba de atención y la sección para coordinar la fecha y hora del experimento (*Apéndice E*). Aquellos participantes que cumplieran con los requisitos completaron la prueba de atención en línea a través de *Pavlovia* que incluyó la medición de las redes de alerta, orientación y control ejecutivo.

Posteriormente, fueron contactados por correo para asistir presencialmente al laboratorio de Neurociencia Cognitiva Computacional del Departamento de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Para los participantes externos a la universidad, se gestionaron los permisos necesarios para acceder al laboratorio. En el laboratorio, se cubrieron las ventanas para bloquear las fuentes de luz. La intensidad del brillo de la pantalla se ajustó a 70 nt y el volumen de los audios a 70 dB. Los participantes recibieron el Consentimiento Informado presencial y se resolvieron las dudas sobre el estudio (*Apéndice B*). Se reiteró que no habrá un proceso de devolución de resultados individual (Comité de Ética de la Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2023).

Durante la sesión experimental, todos los participantes visualizaron 14 caracteres abstractos impresos para identificar sus propiedades. Luego, en la computadora, respondieron con una tecla la propiedad de cada figura, recibiendo retroalimentación de la investigadora. Los participantes del grupo experimental recibieron 28 audios de onda sinusoidal a 70dB, presentados aleatoriamente durante aproximadamente 20 minutos, para medir la proporción de concurrentes visuales experimentados. Se les pidió imaginar las letras del abecedario (Fuente Arial, mayúsculas) y presionar la tecla *enter* si el audio coincidía con lo que imaginaban. Tuvieron 4 ensayos de prueba para resolver dudas y luego 5 minutos de privación sensorial con un antifaz, presionando la barra espaciadora si percibían algún estímulo visual.

Al finalizar la tarea, se les brindó un periodo de adaptación a la luz de aproximadamente 5 minutos. Luego, completaron el Cuestionario de interrogación de imágenes visuales (*Apéndice F*) enviado por correo, que duró aproximadamente 15 minutos. Cada participante recibió una hoja y lápices de colores para graficar sus experiencias visuales percibidas durante el experimento. Finalmente, se les agradeció por su participación y se les informó sobre la página de *Google Sites* (<https://sites.google.com/pucp.edu.pe/cognicion-y-percepcion/inicio>) donde se encuentra una infografía con los principales resultados de la investigación (*Apéndice G*).

Análisis de datos

La información fue analizada en el *software* R (versión 4.2.1) empleando librerías para análisis estadísticos tales como *dplyr*, *tidyverse*, *moments*, *stats*, *tapply*, *beeswarm*, *psych* y *ggplot2*. A continuación, se describen los pasos del análisis.

En primer lugar, se convirtieron los puntajes obtenidos en las pruebas de atención e inducción de sinestesia respectivamente. Para los puntajes de la Red Atencional, se consideraron solo las respuestas correctas y se halló el puntaje de cada red con los tiempos de respuesta. Para el puntaje total, se sumaron los resultados de cada red. Por otro lado, para los puntajes de inducción de sinestesia, se consideró la frecuencia de concurrentes visuales percibidos por cada participante. Esto se obtuvo contando la cantidad de veces que fue presionada la barra espaciadora.

Se realizó la prueba de normalidad de *Shapiro Wilk* para el total de la muestra, en la cual no se encontró una distribución normal ($W = .6330, p < .01$). De la misma manera, se encontró una distribución no normal para el grupo control ($W = .4972, p < .05$). En cuanto al grupo experimental, se encontró una distribución normal ($W = .69733, p < .05$). Por ello, se

realizó la prueba *U de Mann-Whitney* para muestras independientes para determinar la diferencia entre grupos sobre la inducción de sinestesia.

Luego, se convirtieron los puntajes de la prueba de la Red Atencional (alerta, orientación, control ejecutivo y el puntaje total) para identificar la relación entre la atención y la frecuencia de concurrentes sinestésicos percibidos. Se realizaron los análisis descriptivos y se analizaron las correlaciones empleando el estadístico *Rho de Spearman* con estos puntajes.



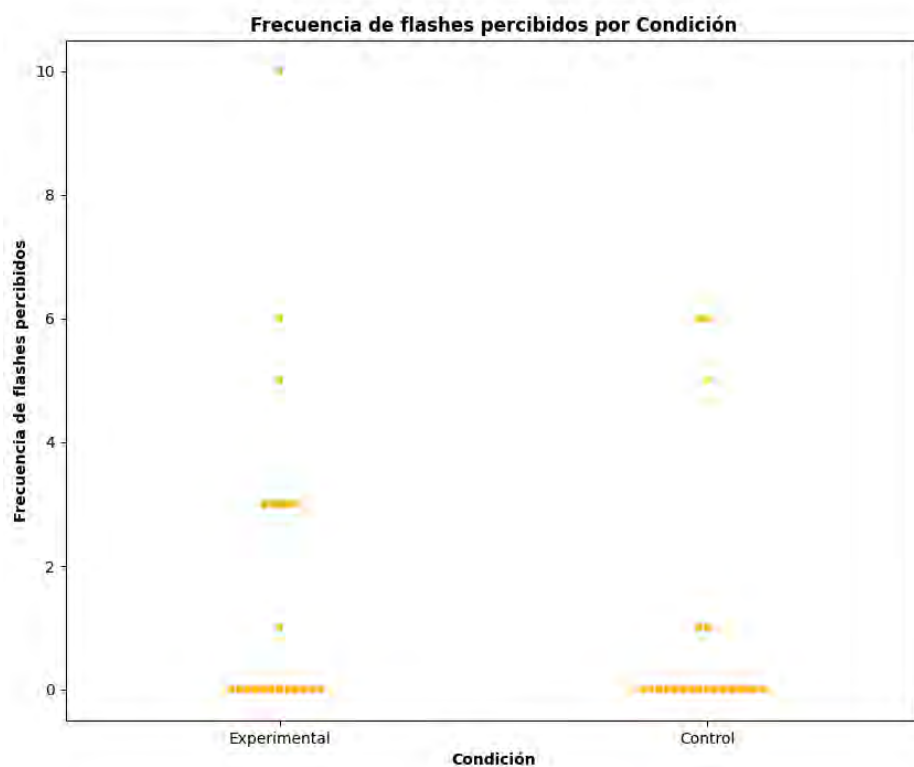
Resultados

El objetivo central del estudio fue determinar la posibilidad de inducir sinestesia empleando un estímulo auditivo (onda sinusoidal a 70 dB) en un contexto de privación sensorial temporal. Para ello, se empleó la prueba *U de Mann-Whitney* para contrastar la diferencia de la frecuencia de percepciones visuales (concurrentes sinestésicos) cuando se presentaba el estímulo auditivo o no en el grupo experimental y control respectivamente.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y experimental ($w = 262.5, p = .21, r = .426$). Sin embargo, se puede reconocer un efecto mediano de la comparación. Así, se encontró, a nivel descriptivo, que los participantes del grupo experimental experimentaron una mayor frecuencia de concurrentes visuales ($Mdn = 0, IQR = 3$), en comparación al grupo control ($Mdn = 0, IQR = 0$) (Figura 1).

Figura 5

Gráfico de dispersión beeswarm comparativo de la percepción de concurrentes visuales



A partir de los resultados, podemos interpretar que si bien, los participantes del grupo experimental reportaron percibir concurrentes visuales, esta diferencia no fue significativa comparado al grupo control. Por lo cual, estímulo auditivo empleado no fue relevante para la inducción de sinestesia.

El segundo objetivo era determinar la relación entre la atención y la frecuencia de concurrentes visuales percibidos. No se encontró una relación estadísticamente significativa entre el puntaje total de atención y la frecuencia de concurrentes; así como, en las redes de alerta y orientación respectivamente (*Tabla 1*). Sin embargo, sí se encontró una relación significativa y mediana con la red de control ejecutivo (*Figura 6*).

Tabla 1

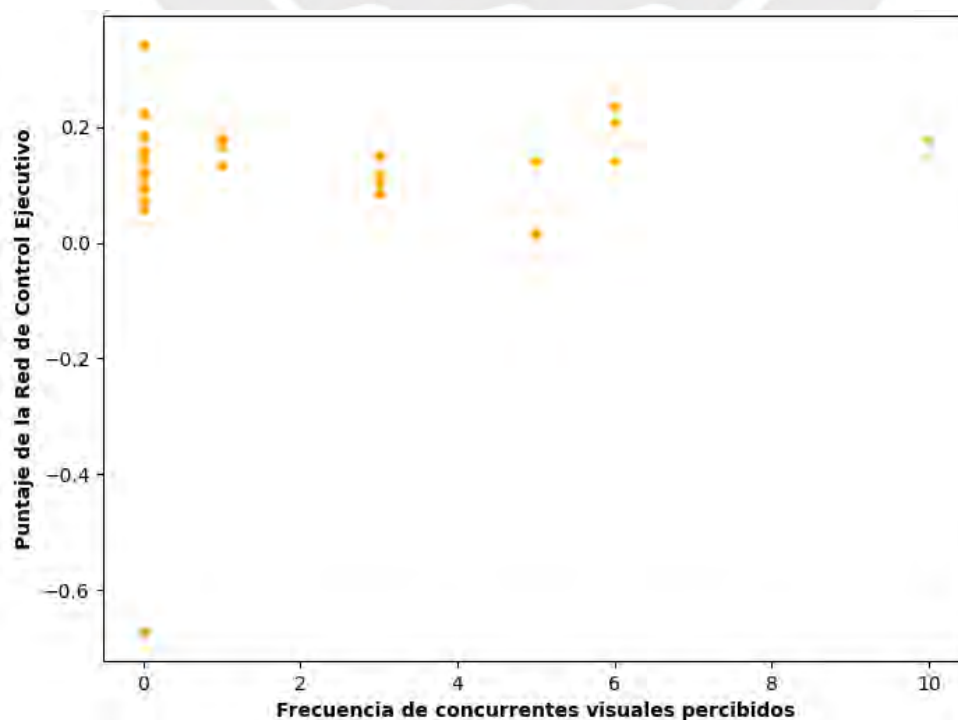
Estadísticos descriptivos y correlaciones de las variables de estudio

Variable	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>DE</i>	1	2	3	4	5
1. Frecuencia de concurrentes sinestésicos	42	1.3	2.3	-				
2. Red Atencional	42	.15	.14	.23	-			
3. Red de Alerta	42	.02	.01	.08	*.31	-		
4. Red de Orientación	42	.03	.03	-.06	*.38	-.06	-	
5. Red de Control Ejecutivo	42	.11	.11	*.31	*.65	-.25	-.20	-

* $p < .05$

Figura 6

Gráfico de dispersión de la relación entre frecuencia de percepción de concurrentes visuales y la Red de control ejecutivo



En el análisis de los datos correspondientes a este segundo objetivo, se identificó un valor atípico en la variable de frecuencia de percepciones sinestésicas, correspondiente a una frecuencia de 10 percepciones. Este valor se desvía de la tendencia general de la distribución. Al realizar el análisis, excluyendo el *outlier*, la relación no resultó estadísticamente significativa ($r_s = 0.27, p = 0.088$).

Sin embargo, se decidió mantener este valor atípico en el análisis por las siguientes razones. En primer lugar, se utilizó un método no paramétrico, el cual es menos sensible a la influencia de valores atípicos, lo que refuerza la robustez del análisis. En segundo lugar, estudios previos han reportado frecuencias de percepciones sinestésicas que oscilan entre 1 y 28 (Nair & Brang, 2019), lo que sugiere que una frecuencia de 10 no se desvía significativamente de los rangos observados en investigaciones similares. Además, no se encontraron valores inusuales en los datos demográficos registrados ni se suscitaron anomalías durante la recolección de los datos experimentales de este participante.

Por tanto, aunque el análisis con y sin el valor atípico muestra resultados diferentes, la decisión de mantener este dato se justifica tanto por la naturaleza del método utilizado como por la coherencia con estudios previos. Así, los resultados sugieren que, si bien la atención general no parece influir directamente en la percepción de concurrencias visuales percibidas, sí podría estar relacionada con la red de control ejecutivo.

Discusión

El estudio buscó inducir experimentalmente sinestesia en personas sin la condición de sinestesia natural. Para ello, se presentaron audios a 70Db (estímulos inductores) para elicitare percepciones visuales (concurrentes visuales). Adicionalmente, se buscó conocer la relación de este fenómeno con la atención; la cual fue medida a través de la prueba de Red Atencional. Esta permite evaluar la capacidad atencional en tres redes: alerta, orientación y control ejecutivo (Fan et al., 2009).

Respecto a la inducción de sinestesia, no se encontraron diferencias significativas, pero sí un efecto mediano. Por lo cual, se puede sugerir que la inducción experimental de sinestesia podría influir en la percepción de las personas mediante el tono. Además, resalta que los participantes de ambos grupos reportaron experimentar concurrentes visuales y se encontró una mayor frecuencia en el grupo experimental. En ese sentido, es relevante reconocer que la manipulación experimental también se ve afectada por otras variables (Bezeau & Graves, 2001). En este caso, una variable pudo ser la privación sensorial que facilita las percepciones visuales evocadas auditivamente.

La privación sensorial supone la pérdida de funciones sensoriales, ya sea de forma temporal o permanente (Bell et al., 2019). Cuando ello ocurre, los mecanismos de plasticidad intermodal permiten la mejora del sentido afectado desde los sentidos no afectados asociados, lo cual también se denomina compensación sensorial (Caravaca-Rodríguez et al., 2022). Es así que, por ejemplo, las personas con ceguera cortical pueden presentar sensaciones visuales a partir de la estimulación auditiva por la compensación (Khare et al., 2019).

Ahora bien, el proceso de plasticidad intermodal que facilita la sustitución sensorial se suele desarrollar en un periodo largo (Caravaca-Rodríguez et al., 2022; Khare et al., 2019). Sin embargo, en esta investigación, el periodo de privación sensorial fue de aproximadamente 5 minutos antes de la recepción del estímulo tal y como lo sugiere el estudio de Nair y Brang (2019). En dicho estudio, se encontró que este periodo de privación sensorial es suficiente para la percepción de concurrentes visuales, y reportaron un tamaño del efecto de magnitud media y un valor z significativo. Además, encontraron que un mayor volumen (70 dB, comparado a 60 dB) incrementa la frecuencia de percepciones visuales evocadas auditivamente. En nuestro estudio, también utilizamos un volumen de 70 dB en el grupo experimental.

A nivel descriptivo, los resultados de este estudio son visualmente similares a los del estudio original (en cuanto a la diferencia de percepciones visuales con la presencia del audio); sin embargo, no se encontraron resultados significativos. Esto podría hipotetizarse como una indicación de que un periodo de privación sensorial más prolongado podría ser necesario para facilitar la comunicación intermodal y, por ende, la percepción de concurrentes visuales.

Es importante destacar las diferencias en el diseño. Nair y Brang (2019) emplearon un diseño intrasujeto, mientras que este diseño es entre sujetos. Esta diferencia metodológica podría haber influido en los resultados, ya que las variables individuales pueden tener un impacto significativo en la percepción sensorial y no ser tan evidentes en un diseño entre sujetos. Nair y Brang (2019) también encontraron que no hubo diferencias significativas entre la primera y la segunda mitad de la presentación de los ensayos, donde el audio se presentó únicamente al inicio.

Al respecto, se ha encontrado evidencia de la experiencia de concurrentes visuales que siguen la forma de flashes o patrones caleidoscópicos en respuesta a sonidos en un contexto de privación sensorial (Schwartzman et al., 2019). Esta respuesta se presenta en pacientes con lesiones en el nervio óptico después de 1 a 3 días después de la pérdida visual (Schwartzman et al., 2019). Con ello, se puede reconocer la influencia del estímulo auditivo que, en personas sin lesiones, podría variar en función a una exposición prolongada de privación sensorial que permita la mediación de las correspondencias intermodales (Spence, 2011).

Las correspondencias intermodales son asociaciones no arbitrarias entre los atributos de estímulos en diferentes modalidades sensoriales (Spence, 2011). Este tipo de procesamiento se describe como un continuo, donde la sinestesia se encuentra en el extremo y podrían ser modeladas a largo plazo en con un entrenamiento (Brang & Ramachandran, 2020; Spence, 2011). Así, es posible que en un contexto de privación sensorial prolongado sumado a una mayor intensidad o duración del estímulo auditivo facilite la experiencia sinestésica.

Por otro lado, estos resultados permiten abordar el fenómeno de la imaginación mental. Esta se define como un proceso de simulación de experiencias perceptuales y varía de persona en persona (Dance et al., 2021; O'Dowd et al., 2019). Abarca la imaginación vívida hasta la afantasia o ausencia de imaginación visual mental (Dance et al., 2021). Asimismo, se ha señalado que este proceso media las interacciones intermodales e influye en la percepción multisensorial (O'Dowd et al., 2019). Ahora, en el caso de la sinestesia, la imaginación se relaciona con las interacciones intermodales que sustentan las experiencias sinestésicas (Gu & Zaidel, 2024).

Asimismo, es posible que la experiencia de inducción de sinestesia varíe por, además de la susceptibilidad, las diferencias en imaginación visual de los participantes. Al respecto, se ha encontrado que las personas con bajos niveles de imaginación visual, también presentan una baja sensibilidad sensorial (Dance et al., 2021). Así, el hecho de que ciertos participantes del grupo control hayan experimentado concurrentes visuales o que el estímulo auditivo pudiera potenciar esta experiencia, sea debido a las diferencias individuales en la capacidad de imaginación visual.

En esa misma línea, se menciona que la sinestesia sería una forma de imaginación visual considerando aquellas experiencias voluntarias e involuntarias (Nanay, 2018, 2020). Debido a que, otras posturas señalan que la imaginación mental es un proceso únicamente involuntario y la imaginación voluntario. Si bien esta postura es controversial, hace referencia a que el estudio de Nair y Brang (2019), el cual sirve de base para este proyecto, es muestra de que la sinestesia es una forma de imaginación mental multimodal y que, por ello, es posible inducir sinestesia. En ese sentido, sería relevante la exploración de medidas neurofisiológicas para reconocer a las áreas involucradas en la percepción sinestésica, correspondencias intermodales e imaginación visual.

Por otro lado, el segundo objetivo de la investigación fue determinar la relación de la percepción de concurrentes sinestésicos con la atención y se encontró una relación significativa con la red de control ejecutivo. Estos hallazgos destacan la importancia del control ejecutivo en la percepción sinestésica, ya que este control permite modular la fiabilidad y la integración de la información sensorial.

Estos hallazgos destacan la importancia del control ejecutivo en la percepción sinestésica, ya que este control permite modular la fiabilidad y la integración de la información sensorial. Si bien no se encontró una relación con el puntaje total de la Red Atencional, sí se encontró una relación significativa y mediana con la Red de Control Ejecutivo. Esta función se relaciona con la capacidad de resolver conflictos entre diferentes tipos de información e ignorar estímulos distractores (Fan et al., 2002, 2009).

Además, se relaciona con procesamientos de alto nivel como las detecciones de errores, toma de decisiones e, incluso, la memoria de trabajo (Kamigaki, 2019). La relación de la atención con la inducción de sinestesia no ha sido explorada aún. Sin embargo, sí se reconoce la importancia de poder atender al estímulo inductor para experimentar concurrentes visuales en la sinestesia natural (Itoh et al., 2019).

Rouw (2013) desarrolló uno de los pocos estudios que exploran la relación entre la sinestesia natural y el control ejecutivo. Usando paradigmas clásicos como la tarea *de Stroop*, *Flanker Task* y *Task Switching*, Rouw encontró que los sinestetas podrían tener un control adicional en sus respuestas, lo que les permite resolver eficazmente la interferencia perceptual. Ello permite reconocer que la capacidad de control inhibitorio y la flexibilidad para responder a tareas conflictivas son relevantes para la percepción sinestésica (Rouw et al., 2013).

Adicionalmente, estudios sobre la ilusión de fusión audiovisual (SIFI) han mostrado que la percepción visual puede ser modificada por el sonido. Este hallazgo es relevante debido a que permite comprender el rol de la atención en la percepción multisensorial, ya que desafía la noción inicial de que la visión es el sentido predominante en la percepción, desafiando la noción tradicional de que la vista domina otros sentidos (Hirst et al., 2020). Esta ilusión ejemplifica cómo un sonido puede alterar la percepción de un estímulo visual; así, si se presentan dos sonidos, los participantes ven dos destellos a pesar de solo presentarse uno. En ese fenómeno se refleja la influencia de la atención en la percepción multisensorial, ya que la atención dirigida a estímulos visuales reduce los efectos de la SIFI (Hirst et al., 2020).

Estos hallazgos destacan la importancia del control ejecutivo en la percepción sinestésica, ya que este control permite modular la fiabilidad y la integración de la información sensorial. Ello se relaciona con lo encontrado por Rouw (2013) donde menciona que es posible que los sinestetas presenten un control adicional en sus respuestas, lo que les permite una resolución efectiva de la interferencia perceptual. De esa manera, se podría considerar que la capacidad de control inhibitoria y la flexibilidad para responder a tareas en conflicto es relevante para la percepción sinestésica; dado que, requieren resolver el conflicto con otros estímulos y otras tareas no relacionadas con la sinestesia (Gu & Zaidel, 2024; Rouw et al., 2013).

Estos hallazgos iniciales requieren mayor exploración, especialmente porque los participantes de este estudio no presentaban sinestesia natural. Los sinestetas naturales tienen una arquitectura cerebral compleja con mayor interconexión neuronal que facilita las percepciones multisensoriales (Brang & Ramachandran, 2020; Gu & Zaidel, 2024). En ese sentido, sería relevante complementar con estudios de medición neurofisiológica que permitan comprender la relación con las redes involucradas en la percepción multisensorial y la red de control ejecutivo.

Sinestetas naturales han evidenciado un procesamiento cognitivo más veloz en los procesamientos ejecutivos motores e inhibitorios para percibir colores (Aoki et al., 2023). A su vez, se ha encontrado relación con la activación de la corteza parietal posterior y el giro fusiforme que también está relacionada con procesos de integración multisensorial, velocidad de procesamiento cognitivo y atención sostenida (Aoki et al., 2023; Hirst et al., 2020).

Ahora bien, respecto a las limitaciones del estudio, se plantea el manejo de variables extrañas. Por un lado, la localización del laboratorio se encontraba en un espacio cercano a oficinas y ruido externo de conversaciones que pudo distraer a los participantes. Aunque se emplearon audífonos con cancelación de ruido para mitigar este problema, es posible que estos también hayan interferido en la ejecución del experimento. Por otro lado, las características de variabilidad del sujeto también representan una limitación. Los participantes reportaron haber cumplido con los requisitos de horas de descanso adecuadas y la limitación del consumo de caféina; sin embargo, estos aspectos no fueron controlados con una medición distinta al reporte verbal.

Adicionalmente, es necesario considerar la falta de control sobre las posibles diferencias individuales en la percepción y en la capacidad de imaginación mental visual. La percepción visual es altamente influenciada por el sonido, por lo cual, es importante controlar las variables del sujeto (Aoki et al., 2023; Hirst et al., 2020). En esa línea, sería necesario una mejor medición de las respuestas de los participantes, ya que muchas personas pudieron haber confundido la percepción con la imaginación debido a la falta de confiabilidad en la percepción. Los modelos de confiabilidad en la información establecen que la información sensorial se percibe de acuerdo con su confiabilidad relativa y precisión en una tarea determinada (Hirst et al., 2020). Esto se complica cuando las señales sensoriales están juntas y generan un mayor conflicto en la discriminación de señales, especialmente considerando que la tarea de inducción experimental abarca lo auditivo y lo visual simultáneamente.

Asimismo, es relevante considerar variables que pueden influir en la percepción de una tarea. En primer lugar, la experiencia previa de los participantes en ambientes con luces o sonidos (Hirst et al., 2020). En segundo lugar, las instrucciones del experimento que pueden favorecer la percepción conjunta de sonidos con flashes de luz, sesgando así la percepción de los flashes de luz (Hirst et al., 2020). Sería importante replicar el experimento con instrucciones más objetivas, es decir, sin mencionar la posibilidad de vinculación entre el audio y la percepción visual, para verificar que la percepción se debe a la inducción de sinestesia.

Finalmente, esto también podría ser mejor identificado mediante la medición neurofisiológica de las áreas asociadas con la integración multisensorial, utilizando técnicas de magnetoencefalografía (MEG), fMRI o MRI, como se ha realizado en el estudio de otros fenómenos perceptuales similares como la SIFI (ilusión de destello inducido por sonido).

Así, el estudio buscó inducir experimentalmente sinestesia en personas sin sinestesia natural y comprender su relación con la atención. Si bien los resultados no fueron significativos, las pruebas indican una posible diferencia significativa y relación moderada entre las variables y destaca la relación significativa con la red de control ejecutivo. Para investigaciones futuras, se sugiere explorar la interacción de la inducción de sinestesia con la imaginación visual y de forma específica la influencia del control ejecutivo con estudios complementarios de medición comportamental y neurofisiológica.



Referencias

- Aoki, Y., Shibasaki, M., & Nakata, H. (2023). Synesthesia has specific cognitive processing during Go/No-go paradigms. *Scientific Reports*, *13*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32389-8>
- Banissy, M. J., Jonas, C., & Cohen Kadosh, R. (2014). Synesthesia: An introduction. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1–3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01414>
- Bell, L., Wagels, L., Neuschaefer-Rube, C., Fels, J., Gur, R. E., & Konrad, K. (2019). The cross-modal effects of sensory deprivation on spatial and temporal processes in vision and audition: A systematic review on behavioral and neuroimaging research since 2000. *Neural Plasticity*, *2019*, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2019/9603469>
- Berger, J., Harris, I. M., Whittingham, K. M., Terpening, Z., & Watson, J. D. G. (2020). Substantiating synesthesia: A novel aid in a case of grapheme-colour synesthesia and concomitant dyscalculia. *Neurocase*, *26*(1), 29–35. <https://doi.org/10.1080/13554794.2019.1695846>
- Bertalmío, M., Calatroni, L., Franceschi, V., Franceschiello, B., Gomez Villa, A., & Prandi, D. (2020). Visual illusions via neural dynamics: Wilson–Cowan-type models and the efficient representation principle. *Journal of Neurophysiology*, *123*(5), 1606–1618. <https://doi.org/10.1152/jn.00488.2019>
- Bezeau, S., & Graves, R. (2001). Statistical power and effect sizes of clinical neuropsychology research. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *23*(3), 399–406. <https://doi.org/10.1076/jcen.23.3.399.1181>
- Bor, D., Rothen, N., Schwartzman, D. J., Clayton, S., & Seth, A. K. (2015). Adults can be trained to acquire synesthetic experiences. *Scientific Reports*, *4*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep07089>

- Brang, D., & Ramachandran, V. S. (2020). How do crossmodal correspondences and multisensory processes relate to synesthesia? In *Multisensory Perception* (pp. 259–281). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812492-5.00012-7>
- Brogaard, B., & Gatzia, D. E. (2016). Psilocybin, Lysergic Acid Diethylamide, Mescaline, and Drug-Induced Synesthesia. In *Neuropathology of Drug Addictions and Substance Misuse* (pp. 890–905). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800212-4.00083-2>
- Brogaard, B., Gatzia, D. E., & Matey, J. (2020). Color Synesthesia. In R. Shamey (Ed.), *Encyclopedia of Color Science and Technology* (pp. 1–8). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27851-8_112-8
- Caravaca-Rodriguez, D., Gaytan, S. P., Suaning, G. J., & Barriga-Rivera, A. (2022). Implications of neural plasticity in retinal prosthesis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 63(11), 11. <https://doi.org/10.1167/iovs.63.11.11>
- Carmichael, D. A., Down, M. P., Shillcock, R. C., Eagleman, D. M., & Simner, J. (2015). Validating a standardised test battery for synesthesia: Does the Synesthesia Battery reliably detect synesthesia? *Consciousness and Cognition*, 33, 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.02.001>
- Carriere, J. S. A., Eaton, D., Reynolds, M. G., Dixon, M. J., & Smilek, D. (2008). Grapheme-color synesthesia influences overt visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(2), 246–258. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21048>
- Cerf-Beare, A. (1978). Perception. In G. Balis, L. Wurmser, & E. McDaniel (Eds.), *The Behavioral and Social Sciences and the Practice of Medicine* (pp. 109–156). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-409-95140-0.50010-8>
- Chalmers, D. J., & Bayne, T. (2010). What Is the Unity of Consciousness? In *The character of consciousness, philosophy of mind series* (pp. 497–540). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195311105.001.0001>

- Colegio de Psicólogos del Perú. (2017). *Código de Ética y Deontología*. Concejo directivo nacional.
- Comité de Ética de la Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú. (2023). *Reglamento del Comité de Ética de la Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://cdn02.pucp.education/investigacion/2016/10/14160435/Reglamento-2.pdf>
- Dance, C. J., Ward, J., & Simner, J. (2021). What is the link between mental imagery and sensory sensitivity? Insights from aphantasia. *Perception, 50*(9), 757–782. <https://doi.org/10.1177/03010066211042186>
- Dell'Erba, S., Brown, D. J., & Proulx, M. J. (2018). Synesthetic hallucinations induced by psychedelic drugs in a congenitally blind man. *Consciousness and Cognition, 60*, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.02.008>
- Deroy, O., & Spence, C. (2013). Why we are not all synesthetes (not even weakly so). *Psychonomic Bulletin & Review, 20*(4), 643–664. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0387-2>
- Dixon, M. J., Smilek, D., & Merikle, P. M. (2004). Not all synaesthetes are created equal: Projector versus associator synaesthetes. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 4*(3), 335–343. <https://doi.org/10.3758/CABN.4.3.335>
- Eagleman, D. M., Kagan, A. D., Nelson, S. S., Sagaram, D., & Sarma, A. K. (2007). A standardized test battery for the study of synesthesia. *Journal of Neuroscience Methods, 159*(1), 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.07.012>
- Evans, K. K. (2020). The Role of Selective Attention in Cross-modal Interactions between Auditory and Visual Features. *Cognition, 196*, 104119. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104119>

- Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and Cognition*, *70*(2), 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.02.002>
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340–347. <https://doi.org/10.1162/089892902317361886>
- Fan, J., Mccandliss, B., Fossella, J., Flombaum, J., & Posner, M. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage*, *26*(2), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004>
- Freeman, E. D. (2020). Hearing what you see: Distinct excitatory and disinhibitory mechanisms contribute to visually-evoked auditory sensations. *Cortex*, *131*, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.06.014>
- Gazzaniga, M., Ivry, B., & Mangun, G. (2019). The consciousness problem. In *Cognitive Neuroscience: The biology of the mind* (5^o Ed., pp. 618–771). W. W. Norton & Company.
- Grossenbacher, P. G., & Lovelace, C. T. (2001). Mechanisms of synesthesia: Cognitive and physiological constraints. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*(1), 36–41. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01571-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01571-0)
- Gu, Y., & Zaidel, A. (Eds.). (2024). *Advances of Multisensory Integration in the Brain* (Vol. 1437). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-7611-9>
- Hernández, R., & Fernández, C. (2014). *Metodología de la investigación* (P. Baptista, Ed.; Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Hirst, R. J., McGovern, D. P., Setti, A., Shams, L., & Newell, F. N. (2020). What you see is what you hear: Twenty years of research using the Sound-Induced Flash Illusion.

Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 118, 759–774.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.09.006>

- Hoffman, S. N., Urosevich, T. G., Kirchner, H. L., Boscarino, J. J., Dugan, R. J., Withey, C. A., Adams, R. E., Figley, C. R., & Boscarino, J. A. (2019). Grapheme-Color Synesthesia is Associated with PTSD Among Deployed Veterans: Confirmation of Previous Findings and Need for Additional Research. *J Emerg Ment Health*, 21(1), 1–11.
- Itoh, K., Sakata, H., Igarashi, H., & Nakada, T. (2019). Automaticity of pitch class-color synesthesia as revealed by a Stroop-like effect. *Consciousness and Cognition*, 71, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.04.001>
- Kamigaki, T. (2019). Prefrontal circuit organization for executive control. *Neuroscience Research*, 140, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2018.08.017>
- Khare, V., Fraguada, L. E., & Bigger, E. E. (2019). Syn(es)thetic reality: Simulating synesthesia for the non synesthetic. *Proceedings of the 23rd International Symposium on Wearable Computers*, 290–295. <https://doi.org/10.1145/3341163.3346940>
- Kim, J. S., Cho, S. H., Kim, K. L., Kim, G., Lee, S. W., Kim, E. H., Jeong, B., Hwang, I., Han, H., Shim, W., Lee, T.-W., & Park, C. (2019). Flexible artificial synesthesia electronics with sound-synchronized electroluminescence. *Nano Energy*, 59, 773–783. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.03.006>
- Laeng, B., Svartdal, F., & Oelmann, H. (2004). Does color synesthesia pose a paradox for early-selection theories of attention? *Psychological Science*, 15(4), 277–281. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00666.x>
- Lalwani, P., & Brang, D. (2019). Stochastic resonance model of synaesthesia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1787), 20190029. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0029>

- Lebeau, C., & Richer, F. (2022). Emotions and consciousness alterations in music-color Synesthesia. *Auditory Perception & Cognition*, 5(1–2), 76–85. <https://doi.org/10.1080/25742442.2022.2041971>
- Leptourgos, P., Bouttier, V., Denève, S., & Jardri, R. (2022). From hallucinations to synaesthesia: A circular inference account of unimodal and multimodal erroneous percepts in clinical and drug-induced psychosis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 135, 104593. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104593>
- Luke, D. P., Lungu, L., Friday, R., & Terhune, D. B. (2022). The chemical induction of synaesthesia. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*, 37(4). <https://doi.org/10.1002/hup.2832>
- Marois, R. (2005). The neural basis of Attentional Blink. In Laurent Itti, Rees, Geraint, & Tsotos, Jhon, *Neurobiology of attention* (pp. 383–388). Academic Press.
- Mashour, G. A., Roelfsema, P., Changeux, J.-P., & Dehaene, S. (2020). Conscious Processing and the Global Neuronal Workspace Hypothesis. *Neuron*, 105(5), 776–798. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.026>
- Mattingley, J. B. (2009). Attention, Automaticity, and Awareness in Synesthesia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 141–167. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04422.x>
- Meier, B. (2022). Synesthesia. In *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience, 2nd edition* (pp. 561–569). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819641-0.00134-1>
- Nair, A., & Brang, D. (2019). Inducing synesthesia in non-synesthetes: Short-term visual deprivation facilitates auditory-evoked visual percepts. *Consciousness and Cognition*, 70, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.02.006>

- Nakashima, A., Ihara, N., Ikegaya, Y., & Takeuchi, H. (2021). Cell type-specific patterned neural activity instructs neural map formation in the mouse olfactory system. *Neuroscience Research*, *170*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2020.06.007>
- Nanay, B. (2018). Multimodal mental imagery. *Cortex*, *105*, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.07.006>
- Nanay, B. (2020). Synesthesia as (Multimodal) Mental Imagery. *Multisensory Research*, *34*(3), 281–296. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10027>
- O’Dowd, A., Cooney, S. M., McGovern, D. P., & Newell, F. N. (2019). Do synaesthesia and mental imagery tap into similar cross-modal processes? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *374*(1787), 20180359. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0359>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Conjunto de herramientas para dispositivos y sistemas de escucha segura*. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/331001>
- Ovalle-Fresa, R., Ankner, S., & Rothen, N. (2021). Enhanced perception and memory: Insights from synesthesia and expertise. *Cortex*, *140*, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.01.024>
- Pashler, H. E. (1997). *The Psychology Of Attention (Bradford Books) The MIT Press (1997)*. Bradford Books. <http://archive.org/details/harold-e.-pashler-the-psychology-of-attention-bradford-books-the-mit-press-1997>
- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, *51*(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Posner, M. I. (2008). Measuring alertness. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1129*(1), 193–199. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.011>

- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391–408. <https://doi.org/10.1037/h0031333>
- Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia- a window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8(12), 3–34.
- Redick, T. S., & Engle, R. W. (2006). Working memory capacity and attention network test performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20(5), 713–721. <https://doi.org/10.1002/acp.1224>
- Renier, L., & De Volder, A. G. (2013). *Sensory Substitution Devices*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199603329.013.0042>
- Rich, A. N., & Mattingley, J. B. (2013). *The Role of Attention in Synesthesia*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199603329.013.0014>
- Rothen, N., Seth, A. K., & Ward, J. (2018). Synesthesia improves sensory memory, when perceptual awareness is high. *Vision Research*, 153, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2018.09.002>
- Rouw, R., Van Driel, J., Knip, K., & Richard Ridderinkhof, K. (2013). Executive functions in synesthesia. *Consciousness and Cognition*, 22(1), 184–202. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.11.008>
- Rubio, J., Chicaiza, L., Villota, I., & Jaramillo, R. (2019). *The consumption of psychostimulant substances among university students*. 3(6), 67–83.
- Sagiv, N., & Frith, C. D. (2013). Synesthesia and consciousness. In J. Simner & E. M. Hubbard (Eds.), *The Oxford handbook of synesthesia* (pp. 924–940). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199603329.001.0001>
- Schneider, D. W. (2019). Alertness and cognitive control: Is there a spatial attention constraint? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(1), 119–136. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1613-9>

- Schwartzman, D. J., Bor, D., Rothen, N., & Seth, A. K. (2019). Neurophenomenology of induced and natural synaesthesia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1787), 20190030. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0030>
- Sergent, C. (2018). The offline stream of conscious representations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1755), 1–13. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0349>
- Seth, A. K., & Bayne, T. (2022). *Theories of consciousness*. 23, 439–452. <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00587-4>
- Simon, M., Campbell, E., & Lepore, F. (2020). Chapter 25 - Cross-modal plasticity and central deficiencies: The case of deafness and the use of cochlear implants. In A. Gallagher, C. Bulteau, D. Cohen, & J. L. Michaud (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 174, pp. 343–355). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64148-9.00025-9>
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 971–995. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
- Terhune, D. B., Luke, D. P., & Kadosh, R. C. (2017). *The Induction of Synaesthesia in Non-Synaesthetes* (Vol. 1). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199688289.003.0012>
- Thompson, W. L., Kosslyn, S. M., Hoffman, M. S., & van der Kooij, K. (2008). Inspecting visual mental images: Can people “see” implicit properties as easily in imagery and perception? *Memory & Cognition*, 36(5), 1024–1032. <https://doi.org/10.3758/MC.36.5.1024>
- Triche, A., Maida, A. S., & Kumar, A. (2022). Exploration in neo-Hebbian reinforcement learning: Computational approaches to the exploration–exploitation balance with bio-inspired neural networks. *Neural Networks*, 151, 16–33. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2022.03.021>

- van Leeuwen, T. M., Singer, W., & Nikolić, D. (2015). The merit of synesthesia for consciousness research. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01850>
- Vroomen, J., & de Gelder, B. (n.d.). *Sound Enhances Visual Perception: Cross-Modal Effects of Auditory Organization on Vision*. 8.
- Ward, J. (2013). Synesthesia. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 49–75. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143840>
- Ward, J. (2019). Synaesthesia: A distinct entity that is an emergent feature of adaptive neurocognitive differences. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1787), 20180351. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0351>
- Ward, J. (2021). Synaesthesia as a model system for understanding variation in the human mind and brain. *Cognitive Neuropsychology*, 38(4), 259–278. <https://doi.org/10.1080/02643294.2021.1950133>
- Ward, J., & Filiz, G. (2020). Synaesthesia is linked to a distinctive and heritable cognitive profile. *Cortex*, 126, 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.01.002>
- Wayne, R. V., & Johnsrude, I. S. (2015). A review of causal mechanisms underlying the link between age-related hearing loss and cognitive decline. *Ageing Research Reviews*, 23, 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.06.002>
- Yanakieva, S., Luke, D. P., Jansari, A., & Terhune, D. B. (2019). Acquired synaesthesia following 2C-B use. *Psychopharmacology*, 236(7), 2287–2289. <https://doi.org/10.1007/s00213-019-05242-y>

Apéndices

Apéndice A

Consentimiento informado virtual

El presente protocolo tiene como objetivo informarle sobre la naturaleza de la investigación y solicitar su consentimiento para participar. Esta investigación se desarrolla en el marco de tesis de Licenciatura y está dirigido por la estudiante Adriana Chachi Salcedo, estudiante de la Facultad de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú; asimismo, esta supervisada por el Mg. Renato Paredes Venero (CPsP 38700).

El propósito de la investigación es el estudio de la influencia de procesos cognitivos como la atención y la imaginación mental en la experiencia sensorial de estudiantes universitarios. El presente consentimiento informado es para solicitar su información en caso desee participar del estudio y que cumpla los requisitos. Para ello, usted encontrará en el formulario una serie de preguntas sobre su experiencia perceptual y una prueba sobre su experiencia pasada sensorial, la cual tendrá una duración aproximada de 15 minutos.

De cumplir con los requisitos y pasar las preguntas señaladas en este formulario, se le comunicará en el mismo formulario y; además, encontrará una sección de contacto con la investigadora. Este formulario permitirá recolectar su información sociodemográfica, así como, datos de contacto para pasar al experimento presencial. El experimento será desarrollado presencialmente en las instalaciones de la Facultad de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú ubicada en Av. Universitaria 1801 en el distrito de San Miguel y tendrá una duración aproximada de 1 hora y 30 minutos aproximadamente.

De lo contrario, también se le informará en el formulario y se le agradecerá su interés y participación. En caso, no cumpla con los requisitos, su información será eliminada y se agradecerá su participación.

Cabe mencionar que, su participación es completamente voluntaria y usted puede decidir interrumpirla en cualquier momento, sin que ello le genere algún perjuicio. Si presentara alguna consulta o duda sobre la investigación, puede formularla cuando lo estime conveniente al correo adriana.chachi@pucep.edu.pe (correo de la investigadora).

Asimismo, su identidad será tratada de forma confidencial; es decir, solo la investigadora con conocerá sus datos para poder contactarse para el experimento presencial si es que cumple los requisitos; de lo contrario, la información brindada será eliminada de la

computadora personal de la investigadora. Asimismo, para consultas sobre aspectos éticos, podrá comunicarse con el Comité de Ética de la Investigación de la universidad al correo ética.investigacion@pucp.edu.pe.

Después de haber leído los puntos anteriores, seleccione su respuesta a la siguiente pregunta ¿desea participar de la presente investigación?

- Sí, he leído el consentimiento informado y acepto participar de la presente investigación
- He leído el consentimiento informado y no deseo participar de la presente investigación.



Apéndice B

Consentimiento informado presencial

El presente protocolo tiene como objetivo informarle sobre la naturaleza de la investigación y solicitar su consentimiento para participar. Esta investigación se desarrolla en el marco de tesis de Licenciatura y está dirigido por la estudiante Adriana Chachi Salcedo, estudiante de la Facultad de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú; asimismo, esta supervisada por el Mg. Renato Paredes Venero (CPsP 38700).

El propósito de la investigación es el estudio de la influencia de procesos cognitivos como la atención y la imaginación mental en la experiencia sensorial en estudiantes universitarios. La investigación es desarrollada en las instalaciones de la Facultad de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú ubicada en Av. Universitaria 1801 en el distrito de San Miguel y tendrá una duración aproximada de 1 hora y 30 minutos aproximadamente.

Esta consiste en el desarrollo de tareas cognitivas para medir la capacidad atencional, nivel de imaginación mental y experiencia sensorial. Cada una de ellas tiene una duración entre 20 a 30 minutos respectivamente y; adicionalmente, contará con un periodo de descanso de 5 minutos entre tareas. Al finalizar las tareas, completará un cuestionario final sobre sus experiencias perceptuales, el cual tendrá una duración aproximada de 15 minutos. El desarrollo de las tareas cognitivas no supone algún riesgo para su salud y/o bienestar. Las tareas de atención e imaginación serán desarrolladas por computadora. Asimismo, para la tarea de experiencia sensorial, usted escuchará unos audios que no superaran los 85dB; por lo cual, no afectará su audición. De la misma manera, las instalaciones cuentan con los protocolos de bioseguridad y seguridad para asegurar su bienestar.

Cabe mencionar que, su participación es completamente voluntaria y usted puede decidir interrumpirla en cualquier momento, sin que ello le genere algún perjuicio. Si presentara alguna consulta o duda sobre la investigación, puede formularla en cualquier momento durante el transcurso del experimento a la investigadora.

Asimismo, su identidad será tratada de forma confidencial; es decir, la investigadora conocerá sus datos para poder contactarse para el experimento presencial; luego del desarrollo del experimento, esos datos serán eliminados. Su información será analizada de manera conjunta con la respuesta de los demás participantes de la investigación; para ello, se le asignará un código de participante para el análisis de los resultados de las tareas cognitivas. Esta información servirá únicamente para fines académicos, la elaboración de artículos y

presentaciones académicas. Además, la información recopilada será conservada por cinco años, contados desde la publicación de los resultados en la computadora personal de la investigadora responsable, a la cual también tendrá acceso el asesor de tesis. Luego de ello, su información será eliminada.

No habrá un proceso de devolución individual sobre sus resultados. Sin embargo, al finalizar el proceso de la investigación, usted podrá acceder al link de Google sites (<https://sites.google.com/pucp.edu.pe/cognicion-y-percepcion/inicio>) donde se desarrollará la sistematización general de los resultados obtenidos por medio de una infografía. Adicionalmente, podrá encontrar más información sobre el experimento y resultados del estudio. En caso presente alguna duda adicional concerniente a su participación, podrá contactarse con la investigadora en el siguiente correo adriana.chachi@pucp.edu.pe. Asimismo, para consultas sobre aspectos éticos, podrá comunicarse con el Comité de Ética de la Investigación de la universidad al correo etica.investigacion@pucp.edu.pe.

Después de haber leído los puntos anteriores, marque con un aspa (x) su respuesta ¿desea participar de la presente investigación?

- Sí, he leído el consentimiento informado y acepto participar de la presente investigación
- He leído el consentimiento informado y no deseo participar de la presente investigación.

Apéndice C

Ficha de datos sociodemográficos

Sexo:

- Femenino
- Masculino
- Otro
- Prefiero no mencionar

Edad:

Ocupación:

- Solo estudio
- Estudio y trabajo
- Solo trabajo

¿Ha sido diagnosticado/a de algún trastorno del Espectro Autista?

- Sí
- No

¿Ha sido diagnosticado/a con migraña o considera que puede presentar migraña?

- Sí
- No

¿Consumo sustancias psicoactivas habitualmente (1 vez por semana): alcohol, cigarros con nicotina u afines?

- Sí
- No

¿Se encuentra vacunado/a con la tercera dosis?

- Sí
- No

¿Cuenta con algún seguro de Salud, ya sea privado o del Estado?

- Sí
- No

Apéndice D

Prueba de Sinestesia natural

A continuación, se presentará una serie de enunciados sobre tu experiencia perceptual. Por favor, indica tus respuestas si te identificas con lo propuesto.

1. ¿Los números o letras te causan una experiencia de color? Por ejemplo, ¿La letra "J" significa amarillo para ti? O ¿el "5" te hace percibir morado?
 - Sí, he tenido experiencias similares
 - No, no he tenido esas experiencias
2. ¿Los días de la semana y los meses tienen colores específicos? Por ejemplo: ¿El mes de Julio siempre significa azul marino para ti?, ¿Es el miércoles siempre anaranjado?
 - Sí, tengo asociaciones similares
 - No, no tengo esa clase de asociaciones
3. ¿Te imaginas o visualizas los días de la semana, meses y/o años como si tuvieran una localización particular en el espacio alrededor tuyo? Por ejemplo, ¿Esta Setiembre siempre localizado a medio metro a tu izquierda?
 - Sí, yo siempre he sentido esas localizaciones espaciales específicas
 - No, nunca he tenido ese tipo de asociación
4. ¿Cuándo escuchas un sonido, percibes un color? ¿Por ejemplo, el ruido fuerte de la bocina de un coche te genera ver colores verdes? ¿El do agudo te hace ver rosado?
 - Sí, yo tengo esa clase de experiencias
 - No, no he tenido esa clase de experiencias
5. ¿Algunas palabras activan ciertos sabores en tu boca? ¿Por ejemplo, el nombre "Derek" te sabe a cerumen de oídos?
 - Si, esa experiencia es familiar para mí
 - No, nunca he sentido algo así
6. ¿Tienes percepciones en el sentido del tacto cuando hueles cosas? ¿Por ejemplo, El olor del café te hace sentir como si estuvieras tocando la superficie de un vaso frío?
 - Sí, he tenido esas experiencias
 - No, eso no me sucede
7. Se han descrito algunos tipos de percepciones; sin embargo, pueden presentarse otras formas. ¿Sospechas que presentas una percepción distinta que, quizás, otras personas no presentan (adicionalmente a las que se han descrito anteriormente)? Estas podrían

incluir escuchar un sonido cuando ves un movimiento, o sentir la forma actividad por un sabor, o experimentar un color cuando experimentas dolor.

- Sí, yo creo que podría tener otra forma de experiencia sensorial inusual
- No que yo sepa



Apéndice E

Protocolo de coordinación presencial

Gracias por completar las preguntas previas. A continuación, se te pedirán algunos datos para coordinar tu disponibilidad para participar del experimento presencial. Recuerda que solo podrás asistir si no cuentas con los síntomas de Covid 19.

- Nombre completo:
- Correo de contacto:
- ¿En qué fecha podrías asistir a la universidad?: (*despegable del calendario Google*)
- Selecciona una opción de horario en la fecha de disponibilidad: (*horarios por definir*)

Sobre sintomatología:

En los últimos 14 días calendario, ha presentado alguno de los síntomas siguiente:

1. Sensación de alza térmica o fiebre: sí/no
2. Tos, estornudos o dificultad para respirar: sí/no
3. Expectoración o flema amarilla o verdosa: sí/no
4. Pérdida del gusto y/o el olfato: sí/no
5. Contacto con persona(s) con un caso confirmado de COVID 19: sí/no
6. Está tomando alguna medicación (detallar cual o cuales)

Apéndice F

Cuestionario de interrogación de imágenes visuales

1. ¿Qué tanto te sorprendieron los tonos agudos?
 - Nada sobresaltado
 - Ligeramente sobresaltado
 - Algo sobresaltado
 - Muy sobresaltado

2. ¿Cambió su experiencia (o falta de experiencia) de sobresaltarse a lo largo del experimento?
 - Más sobresaltado al principio
 - No hay diferencia
 - Más sobresaltado al final

3. ¿Experimentó alguna sensación visual durante el transcurso del experimento (colores, formas, texturas, patrones visuales, etc.)? Descríbalo brevemente

4. En caso afirmativo, ¿con qué frecuencia durante el experimento experimentó estas sensaciones visuales?
 - Muchas veces (12 – a más)
 - A veces (6- 11)
 - Pocas veces (1-5 aproximadamente)
 - Nada (0)

5. ¿Qué tan seguro está de que experimentó o no alguna sensación visual?
 - Completamente seguro
 - Seguro
 - Ni seguro ni inseguro
 - No experimenté ninguna sensación

6. ¿Fueron estas experiencias más comunes al principio o al final del experimento, o igualmente comunes?
 - Inicio
 - Final
 - Igualmente comunes

7. Respecto a las sensaciones visuales, seleccione la opción que represente mejor su experiencia:

7.1 ¿La aparición de la(s) sensación(es) visual(es) estuvo relacionada con la presentación de alguno de los sonidos? Es decir, ¿siguieron inmediatamente las palabras (p. ej., Curva A)

- Sí, la sensación visual siguió inmediatamente a las palabras
- No es posible determinarlo
- otro

7.2 ¿Los sonidos agudos parecían ocurrir al azar?

- Sí
- No

7.3 Describa y dibuje la(s) sensación(es) visual(es) que experimentó lo mejor que pueda.

(Continúa al dorso)

8. ¿Experimenta colores en respuesta a los sonidos en su vida cotidiana (p. ej., voces, música, tonos)?

- No sé
- Nunca
- Rara vez
- Frecuentemente
- Todos los días

9. ¿Qué tipos de sonidos provocan estos colores?

10. ¿Experimenta colores en respuesta a letras o números en su vida cotidiana (p. ej., piensa o ve un color como el azul cuando mira el número 2 escrito con tinta negra)?

- No sé
- Nunca
- Rara vez
- Frecuentemente
- Todos los días

11. ¿Qué colores ves para los números 2, 7, 9 y las letras A, C, M, N?

2:
7:
9:
A:
C:
M:
N:

12. Cuando trata de conciliar el sueño por la noche, ¿los sonidos fuertes o sorprendentes le hacen ver destellos de luz, aunque tenga los ojos cerrados?

- No sé
- Nunca
- Rara vez
- Frecuentemente
- Todos los días



Apéndice G

Infografía de resultados

Inducción experimental de sinestesia y su relación con la atención

Adriana Mariel Chachi Salcedo, Pontificia Universidad Católica del Perú

Introducción

La Teoría del Feedback Disinhibitory postula que la condición de sinestesia está potencialmente presente en todos los individuos debido a la influencia de áreas asociativas en la región sensorial primaria (Grassenbacher & Lovelace, 2001; Ward, 2021).

Las personas pueden experimentar sinestesia bajo ciertas condiciones: a través del entrenamiento (Bor et al., 2015; Khore et al., 2019), el consumo de psicodélicos (Dall'Erba et al., 2018; Leptourgos et al., 2022), o la privación sensorial momentánea (Nair & Brang, 2019). Además, la atención selectiva es relevante para experimentar la concurrencia en la sinestesia natural (Evans, 2020; Itoh et al., 2019).

Por lo tanto...
 ¿Es posible inducir sinestesia en individuos que no tienen la condición natural de sinestesia?
 ¿Cómo se relaciona la sinestesia inducida con las redes de atención: alerta, orientación y control ejecutivo?

Método

Participantes: 41 individuos (18 hombres y 23 mujeres) con edades comprendidas entre los 20 y 24 años (M = 22.4, DE = 2.07).

Mediciones:

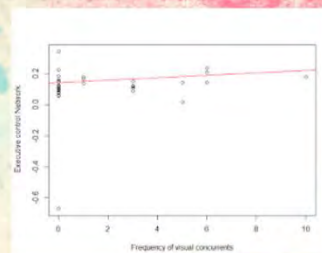
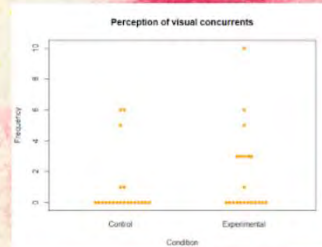
Prueba de Red de Atención (ANT) en Pavlovia.
 Tarea de Imaginería Visual: 108 estímulos de audio de aproximadamente 200 ms (Thompson et al., 2008).

Inducción de sinestesia: 28 estímulos de audio de onda sinusoidal. Duración: aproximadamente 10 ms.

*La inducción de sinestesia sigue los parámetros del estudio realizado por Nair & Brang [2019].

Resultados

No se encontraron diferencias significativas ($w = 262.5$, $p = .21$, $r = .426$), aunque se reconoce un efecto medio. Del mismo modo, los participantes en el grupo experimental experimentaron una mayor frecuencia de concurrencias visuales.



No se encontró relación con la puntuación total (ANT). Sin embargo, hubo una relación significativa entre experimentar concurrencias visuales y la red de control ejecutivo ($r = .31$, $p < .05$).

Discusión

Aunque los resultados no fueron significativos, se sugiere que la privación sensorial podría afectar la respuesta de los participantes en ambos grupos. ¿Sería necesaria una **privación sensorial más prolongada**? Nair & Brang (2019) llevaron a cabo una privación de 5 minutos.

Asimismo, la **imaginación mental** podría explicar por qué los individuos pueden ser más o menos susceptibles a la inducción sinestésica (Nanay, 2020).

Es posible que la atención general no influya directamente en la inducción de la sinestesia, sino más bien la **capacidad para controlar y regular los procesos cognitivos** (Ejecutivo).

Referencias

Nair, D., Sakari, N., Schweinbein, D. J., Clayton, S., & Salk, A. K. (2019). Adults Can Be Trained to Acquire Synesthetic Experiences. *Scientific Reports*, 9(1), 7089.

Dall'Erba, S., Brown, D. J., & Proulx, M. J. (2018). Synesthetic hallucinations induced by psilocybin: A case of a congenitally blind man. *Consciousness and Cognition*, 60, 127-132.

Evans, K. R. (2020). The Role of Selective Attention in Crossmodal Interactions between Auditory and Visual Features. *Cognition*, 196, 104119. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.102419>

Nak, K., Sakari, N., Igarashi, H., & Nishida, T. (2019). Automaticity of pitch-color synesthesia is modulated by a Stroop-like effect. *Consciousness and Cognition*, 71, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.conscious.2019.102400>

Khore, V., Ispahani, L. E., & Rajan, S. C. (2019). Synesthetic word-color associations: Specificity for the non-specific. *Proceedings of the 23rd International Symposium on Visual Arts, Computers, and Graphics*, 290-293. <https://doi.org/10.1145/3341163.3346940>

Leptourgos, P., Bouker, V., Davelos, S., & Jardi, R. (2022). From hallucinations to synesthesia: A circular inference account of unimodal and multimodal sensory inputs in clinical and developmental psychosis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 135, 104593. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104593>

Nair, A., & Brang, D. (2019). Inducing synesthesia in nonperceptually blind with visual deprivation facilitates auditory-evoked visual percepts. *Consciousness and Cognition*, 70, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.conscious.2019.02.006>

