



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Experimentación y adaptación de recursos
sinestésicos para el diseño de experiencias en VR.

Experimentation and adaptation of synesthetic
resources for designing VR experiences.

Autor

Gonzalo Magallón Isla

Director

Diego Gutiérrez Pérez

Titulación del autor

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2024

RESUMEN

Experimentación y adaptación de recursos sinestésicos para el diseño de experiencias en VR.

Este proyecto presenta una adaptación a un entorno de realidad virtual del estudio *"Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?"* [¿Se ve influenciado el sabor del café por el color de la taza?] (Van Doorn et. al, 2014), en el cual se exploró un efecto sinestésico entre el color de una taza de café y la percepción del sabor de este. Previo al estudio de usuario, se lleva a cabo una investigación sobre la realidad virtual, el diseño sinestésico y la cross-modalidad. También se realiza un estudio sobre las posibles relaciones entre sabor y color, que reafirma la existencia de un efecto cross-modal.

Para la adaptación del experimento, se analiza el estudio original y se diseña un entorno de realidad virtual que recrea a escala real el espacio físico donde se lleva a cabo el experimento. En este entorno, los participantes pueden disfrutar de café servido en tazas virtuales de diferentes colores. Aunque el análisis de los datos recabados no permite confirmar una correspondencia exacta con lo observado en el estudio original, sirve como base para una última fase de prospección. En esta fase, se explora el estado actual de la realidad virtual y el diseño sinestésico, se analiza la tendencia de estos ámbitos y se plantean futuros escenarios en los cuales los esfuerzos de investigación permitan que los recursos sinestésicos se conviertan en herramientas fundamentales para el diseño de experiencias en realidad virtual.

ABSTRACT

Experimentation and adaptation of synesthetic resources for designing VR experiences.

This project introduces an adaptation to a virtual reality environment of the study *"Does the color of the mug influence the taste of the coffee?"* (Van Doorn et al., 2014), in which a synesthetic effect between the color of a coffee mug and the perception of its taste was explored. Prior to this user study, an investigation is conducted on virtual reality, synesthetic design, and cross-modality. A study on potential relationships between taste and color is also carried out, reaffirming the existence of a cross-modal effect between those two modalities.

For the adaptation of the experiment, the original study is analyzed, and a virtual reality environment is designed to realistically recreate the physical space where the experiment takes place. In this environment, participants can enjoy coffee served in virtual mugs of different colors. Although the analysis of collected data does not allow confirmation of an exact correspondence with the original study's observations, it serves as a foundation for a final prospective phase. In this phase, the current state of virtual reality and synesthetic design is explored, trends in these areas are analyzed, and potential future scenarios are proposed in which research efforts enable synesthetic resources to become fundamental tools for designing experiences in virtual reality.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

[04](#)

Objetivos	05
Alcance	05
Contexto	05
Recursos	06

PLANIFICACIÓN

[07](#)

Fases del proyecto	08
--------------------	----

INVESTIGACIÓN

[09](#)

VR	
¿Qué es la realidad virtual?	10
Inmersión y presencia	11
Cross-modalidad	
Diseño sinestésico	13
Color y sabor	14

ESTUDIO DE USUARIO

[18](#)

El estudio original	19
Adaptación a VR	20
Diseño del entorno virtual	22
Ejecución	25
Resultados y análisis	27
Conclusiones	32

PROSPECTIVA

[34](#)

Dónde estamos	35
Adónde vamos	37
Adónde podemos ir	38

CONCLUSIONES

[41](#)

Análisis del proyecto	42
Reflexiones	43

BIBLIOGRAFÍA

[44](#)

INTRO DUC CIÓN

OB JE TI VOS

El objetivo principal del proyecto es investigar si la cross-modalidad —efecto sinestésico entre dos o más modos o estímulos que se influyen entre sí— analógica, estudiada en la “vida real”, tiene correspondencia en la realidad virtual. En concreto, analizar si el efecto cross-modal que existe entre el color y el sabor se corresponde con lo que observemos en un entorno VR (*virtual reality*, realidad virtual). Para ello, se diseñará una adaptación para VR del estudio realizado por [Van Doorn et al. \(2014\)](#): “*Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?*” [¿Se ve influenciado el sabor del café por el color de la taza?], en el cual los participantes evalúan subjetivamente cualidades de cafés con leche servidos en tazas de diferente color. Para luego inferir la influencia del color en la percepción del sabor. En el caso de este proyecto, los estudios de usuario se realizan dentro de un entorno de VR en el que el color de la taza cambia de forma virtual.

Este proyecto incluye una fase inicial de investigación acerca de la realidad extendida, centrándose en la VR en términos de interactividad y semiótica. Además, se explora la cross-modalidad desde la psicología de la percepción y el diseño, recreando un estudio acerca de la relación sabor-color que sirve como punto de partida para el resto del proyecto. Se analiza un estudio sobre la relación entre el color de una taza de café y el sabor de este, y se diseña la adaptación en VR. Se procede con la ejecución del experimento y el posterior análisis de los resultados, para elaborar conclusiones que guíen las siguientes fases del proyecto.

Se concluye con un análisis prospectivo de la realidad virtual y, en concreto, de la aplicación de recursos cross-modales para el diseño de experiencias inmersivas de realidad virtual. Esta parte de prospectiva analiza el estado actual y la tendencia, y propone un futuro hacia el que trabajar.

AL CAN CE

CON TEX TO

El proyecto se realiza como parte de unas prácticas en el Graphics and Imaging Lab, “un equipo de investigación sobre gráficos por ordenador e imagen computacional de la Universidad de Zaragoza” (GILab, 2022), dentro de la línea de investigación sobre la realidad virtual y la percepción. Centrarse parte del trabajo en la cross-modalidad entre el gusto (el sabor) y la vista (el color) viene motivado por el proyecto “La cocina del futuro” del Graphics and Imaging Lab con BSH.

RE CUR SOS

El proceso de investigación se ha llevado a cabo haciendo uso de los repositorios Web of Science y Google Académico, de video-entrevistas y ponencias en YouTube y el libro Synesthetic Design: Handbook for a Multi-Sensory Approach ([Haverkamp, 2012](#)). Las encuestas se han realizado a través de formularios de Google y el análisis de datos tanto de encuestas como experimentos se ha hecho por medio de Microsoft Excel y Minitab Statistical Software. El software utilizado para generar los entornos de realidad virtual de los experimentos es Blender. Para visualizar y navegar dentro del entorno se ha utilizado un headset Meta Quest 2 con su par de controladores, conectado a través del DisplayPort a un ordenador portátil, modelo Razer Blade 15 Advanced Model. La maquetación de los documentos del proyecto se ha realizado usando Microsoft Word y Adobe InDesign 2024.

PLANI FICA CIÓN

FASES DEL PROYECTO

PRIMER BLOQUE DE TRABAJO

De marzo a agosto de 2022

Fase de exploración

Una primera fase de exploración de posibles temas a tratar en este proyecto, dentro del marco de las prácticas en el *Graphics and Imaging Lab*.

Fase de definición

Una vez seleccionando el tema a tratar, se define el objetivo y alcance del proyecto, así como la propuesta de TFG.

Fase de investigación

Se investiga acerca de la realidad virtual, la cross-modalidad y el diseño sinestésico. Se realiza un primer estudio buscando comprobar una relación sinestésica entre color y sabor.

Fase de experimentación

Se prepara el estudio de usuario, analizando y traduciendo el experimento a recrear en VR.

Se ejecuta el experimento y se realiza una primera fase de investigación que lleva a proponer realizar una revisión del experimento, que no llega a materializarse por incompatibilidades horarias.

SEGUIMIENTO

Durante todo el trabajo

Especialmente durante las fases del primer bloque de trabajo, se lleva un seguimiento semanal del estado del proyecto. Se revisa y corrige el contenido de la memoria, sobre todo de la fase de análisis de datos.

SEGUNDO BLOQUE DE TRABAJO

De octubre de 2023 a enero de 2024

Fase de análisis

Se analizan en detalle los datos recabados en el experimento y se sacan conclusiones que llevan a replantear la siguiente fase del proyecto.

Fase de prospección

Se realiza un trabajo de prospección muy contenido donde se exploran los últimos avances en la investigación y aplicación de recursos cross-modales en entornos virtuales inmersivos, se infiere la tendencia que estos ámbitos parecen tener y se plantean futuribles deseados como base para próximas investigaciones.

Cierre

Se redactan las conclusiones y el resumen del proyecto y se revisa y corrige la memoria. Por último, se terminan de maquetar e indexar la memoria y los anexos, y se prepara la presentación y defensa del proyecto.

INVES TIGA CIÓN

VR ¿QUÉ ES LA REALIDAD VIRTUAL?

La realidad virtual, VR, es una de las tecnologías emergentes dentro de la XR (*extended reality*, realidad extendida) a través de las cuales se crea o modifica la realidad virtualmente. XR también incluye la AR (*augmented reality*, realidad aumentada) y MR (*mixed reality*, realidad mixta). VR se diferencia por cubrir todo el campo visual proyectando un entorno virtual a través de unas gafas o *headset* e interactuando con dicho entorno por medio del movimiento del propio cuerpo y/o unos controladores.

Estas tecnologías "se están analizando y utilizando cada vez más por investigadores dentro del ámbito de la HCI (*human-computer interaction*, interacción humano-ordenador) entre otros, debido a su potencial para experimentos creativos, sociales y psicológicos" (Ratcliffe et al., 2021). Y es que, ayudar a la gente a superar problemas de salud mental a través de simulaciones o experiencias virtuales de esas situaciones que puedan perturbarles, cuando se consigue un alto nivel de presencia —la sensación de estar en el lugar generado virtualmente—, parece ser posible.

Se identificaron 285 estudios acerca de la aplicabilidad de VR en la mejora de la salud mental ya en 2016. Hallaron una fuerte predominancia de estudios centrados en trastornos de ansiedad como fobias, ansiedad social o estrés postraumático. También encontraron estudios sobre la depresión, psicosis, consumo de sustancias o desórdenes alimenticios, entre otros. Hablan, a su vez, sobre

cómo el progreso había sido lento hasta entonces debido a las limitaciones de hardware y software, además del elevado coste de los sets de realidad virtual (Freeman et al., 2017).

Sin embargo, desde entonces la situación parece haber ido cambiando. Desde el Oculus Rift, primer *headset* de realidad virtual moderno —para este proyecto se ha decidido obviar los modelos más antiguos como el VR-1 Motion Simulator de Sega para máquinas arcade (GlobalData Technology, *History of Virtual Reality: Timeline*, 2020) o el Sega VR para consola, al parecerse más a meros HMDs (*Head-Mounted Displays*, pantallas montadas en la cabeza) sin respuesta alguna a los movimientos del usuario—, hasta uno de los más recientes, Meta Quest 3, centrado en un público más amplio, con mejores capacidades computacionales, sin la necesidad de conectarse a un ordenador potente que haga el procesamiento, y una mayor biblioteca de aplicaciones disponibles.

La reducción del precio en mercado y las fuertes campañas de marketing junto con los esfuerzos por capitalizar estos nuevos entornos virtuales, hacen de esta tecnología algo mucho más accesible e interesante tanto para el usuario como para la industria, la cual (incluyendo VR y AR) se estima que estará valorada en unos 300 billones de dólares para 2024 (The Evolution of Modern Virtual Reality Headsets - Linde, s.f.).

VR INMERSIÓN Y PRESENCIA

Inmersión y presencia son dos conceptos fundamentales para comprender la interacción del individuo con el entorno virtual.

La inmersión se centra en la extensión de la participación del usuario en un entorno virtual. Involucra aspectos técnicos y perceptuales, como la calidad de los gráficos, el seguimiento de movimiento, el sonido espacial, etc. La inmersión busca eliminar las distracciones del entorno físico del usuario y transportarlo a un mundo digital (Slater, 2018).

Slater & Wilbur (1997) proponían que para que una tecnología se convirtiese en inmersiva debía ser:

Inclusiva: debía de tener la capacidad de bloquear o amortiguar los estímulos entrantes del entorno físico del usuario.

Extensa: debía ser multisensorial, comunicándose con el usuario, incluso, de forma multimodal.

Envolvente: debía ocupar un espacio tridimensional de 360°.

Vívida: debía poder percibirse con buena calidad (alta resolución de imagen, interpretación realista y completa del color, sonido con buena fidelidad, etc.)

Pareja: debía presentar sincronización entre el movimiento del usuario y el reflejado en el entorno virtual.

La presencia se refiere a la ilusión o suspensión a nivel perceptual de lo que es real y lo que es virtual, pero no a nivel cognitivo. Slater ejemplifica esto con un precipicio virtual. Mientras que el sistema perceptual reconoce la amenaza del precipicio y el sistema cuerpo-mente reacciona rápidamente, el sistema cognitivo termina por concluir que

el riesgo no es real y la respuesta se relaja. Dice: "Aunque sepas que es una ilusión, esto no cambia tu percepción ni tu respuesta ante ella". Algunos de los factores considerados esenciales en la presencia son (Grabarczyk & Pokropski, 2016):

Encarnación (*embodiment*): se refiere a la sensación de estar ocupando otro cuerpo.

Control y agencia corporales: se refiere a la sensación de poder controlar el cuerpo virtual libre y voluntariamente.

Affordances del entorno: se refiere a como el entorno comunica al usuario las posibilidades de interacción que ofrece.

Aunque es la presencia lo que más se busca a la hora de crear entornos virtuales, son aspectos muy interconectados entre sí y pueden retroalimentarse positivamente. Se supone que un entorno inmersivo genera una mayor sensación de presencia, y viceversa. De hecho, existen rasgos que podrían aplicarse a ambos conceptos, como sería el caso de la congruencia.

La congruencia sería como una evolución del requisito de sincronización de movimiento para la inmersión, aplicado a todos los estímulos. Con congruencia nos podemos referir a la coherencia entre las expectativas y el resultado. En muchos casos, estas expectativas se basarán en el conocimiento preexistente de cómo reacciona el entorno real, buscando respuestas similares en los entornos virtuales. Es decir, si soltamos una pelota de baloncesto en un entorno virtual, esperaremos que rebote contra el suelo y que recupere una altura acorde con el tipo de terreno simulado y la apariencia de la pelota.

Por otro lado, podemos hablar de la congruencia entre estímulos. En el caso anterior de la pelota, cabría esperar entonces una respuesta multimodal del entorno por la que no solo viésemos a la pelota comportarse físicamente de acuerdo con las leyes del mundo real, sino que también debería emitir un sonido de balón golpeando la superficie en el exacto momento que el usuario viese que ha impactado con el suelo. Encontraríamos un caso de incongruencia si hubiera un desajuste significativo entre el momento que percibimos el impacto balón-suelo visual y auditivamente. Si emitiese un sonido poco coherente con lo ocurrido o no emitiese ninguno, estaríamos en la misma situación.

Para que un entorno virtual sea inmersivo e imprima la sensación de presencia en el usuario, debe ser congruente. Para ello, se debe dar que la interactividad sea coherente con lo que espera la persona y los sistemas respondan adecuadamente.

Podría entenderse de esto, que un entorno virtual debe responder a todas las modalidades del mundo real para percibirse como inmersivo o que "uno está ahí". Nada más lejos de la realidad, lo que se busca recalcar es la importancia de la coherencia en aquellas modalidades sí presentes. Es cierto que interactuar sensorialmente con el usuario a

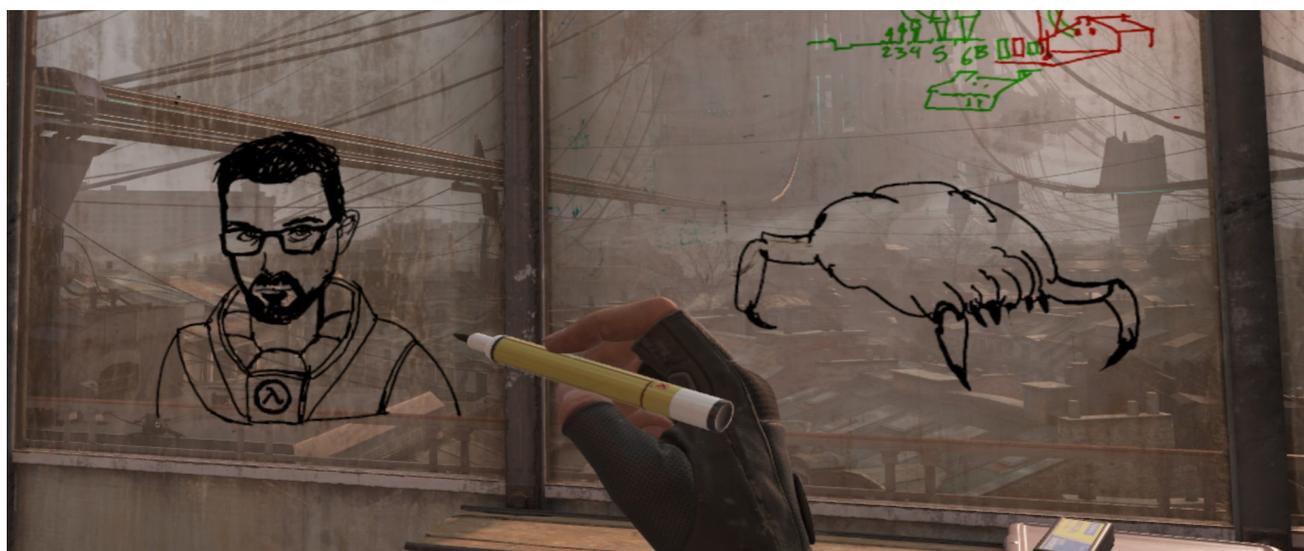
más niveles puede potenciar estos aspectos, pero, de nuevo, si estos estímulos no son congruentes, el efecto puede ser el contrario (Flavián et al., 2021).

Queremos aclarar también que esta congruencia no es exclusivamente con la "realidad". Tiene un componente narrativo similar al de una obra de ficción. De igual manera que si en una película se plantea que cierto superhéroe es capaz que aguantar golpes muy contundentes y en un momento de la historia sobrevive sin problemas al impacto de, digamos, un autobús, si posteriormente muere porque le han pegado un puñetazo, la congruencia se romperá. De igual manera, si se plantean "normas" propias del entorno virtual y se presentan de forma coherente, se podrá mantener la sensación de inmersión si no se rompen.

En la *Figura 1*, presentamos un buen ejemplo de todo lo mencionado en este apartado: el videojuego de realidad virtual *Half-Life Alyx* (Valve, 2020). A nivel técnico, es quizá el mejor producido hasta la fecha, pero es sobre todo a nivel de *affordances* y congruencia que destaca. Plantea un mundo de ciencia ficción con elementos "irreales", pero que son coherentes a lo largo de la narrativa y que presentan una gran interactividad.

Figura 1

Captura de pantalla del videojuego de realidad virtual Half-Life Alyx (Valve, 2020) donde el jugador coge un rotulador y pinta en un cristal, ejemplificando los principios de inmersión y presencia mencionados.



CROSS-MODALIDAD

DISEÑO SINESTÉSICO

La palabra sinestesia proviene del griego antiguo *sýn* ("con" o "junto") y *aísthēsis* ("percepción"). Sin embargo, no hace referencia a las situaciones o experiencias en las que se perciben estímulos a través de varios sentidos juntos o simultáneamente. Sino que, en su significado más extendido y al que [Michael Haverkamp \(2012\)](#) acuña como *sinestesia genuina* "una forma específica de percepción mediante la cual la estimulación de sensaciones en un canal sensorial determinado provoca sensaciones adicionales en uno o más canales sensoriales diferentes". Hace referencia a la capacidad de ciertas personas de que estímulos percibidos a través de un cierto canal sensorial se extiendan a otro u otros canales no relacionados intrínsecamente. Ejemplos de este fenómeno serían el poder oír los colores o poder saborear las palabras ([Brang & Ramachandran 2011](#)).

Dentro del campo de la semiótica, rama de la filosofía que estudia los símbolos y signos que componen los sistemas de comunicación, se conocen como modalidades a las formas en que se codifica la información. Es decir, los canales sensoriales o sentidos.

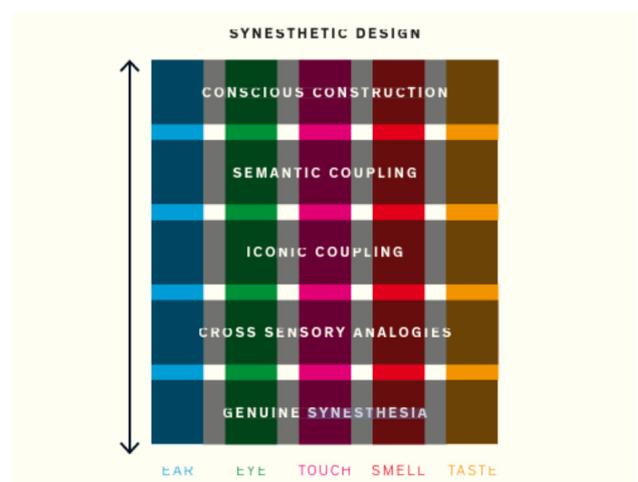
Cuando hablamos de cross-modalidad en estos términos, nos referimos al efecto sinestésico por el que símbolos o signos codificados para ser percibidos por una modalidad llegan a afectar a otra u otras modalidades. Esto no debe ser necesariamente *sinestesia genuina*, sino que puede existir una relación relativamente lógica (o, al menos, capaz de ser inferida) entre el estímulo percibido por una modalidad y el efecto que este ejerce sobre otra u otras.

En el diseño de producto, esta relación entre estí-

mulos puede ser más o menos fabricada, en función de cuánto dependa de modelos mentales ya adquiridos o, incluso, inherentes (o *genuinos*). En un nivel de mayor fabricación encontramos relaciones construidas conscientemente entre modalidades que no comparten un modelo mental que las relacione *a priori*. Un ejemplo sería el sistema de asistencia para aparcar de un coche en el que se emite un sonido intermitente con mayor o menor frecuencia dependiendo de la distancia a la que nos encontremos del obstáculo de atrás. Esta relación cross-modal se corresponde a un algoritmo que transforma las medidas de distancia en valores de frecuencia a la que emitir un sonido, y debe ser aprendida en cierta medida por el receptor. En el otro extremo, se encontrarían los casos de *sinestesia genuina* y, entre medio, todo un mundo de recursos sinestésicos que diseñar y aprovechar.

Figura 2

Representación de los diferentes niveles de sines para el diseño de productos y experiencias.



Nota: Tomado de *Synesthetic design: Handbook for a multi-sensory approach*. (p. 16), por M. Haverkamp, 2012, Walter de Gruyter GmbH.

CROSS-MODALIDAD

COLOR Y SABOR

Una de las asociaciones cross-modales más comúnmente conocidas y presentes en el día a día es la asociación color-sabor. En el ámbito del marketing alimenticio, por ejemplo, se utiliza con cierta frecuencia el recurso del color para incitar a la compra, facilitar el reconocimiento del producto o, incluso, modificar la percepción del sabor.

On tasty colours and colourful tastes? Assessing, explaining, and utilizing crossmodal correspondences between colours and basic tastes [Sobre colores deliciosos y sabores coloridos: Evaluando, explicando y utilizando correspondencias cross-modales entre colores y sabores básicos] (Spence et al., 2015) sirve como base para nuestro primer estudio. A modo de toma de contacto con la experimentación centrada en la cross-modalidad, se decide encuestar a personas aleatorias acerca de sus asociaciones entre los cuatro principales sabores: dulce, ácido, salado y amargo.

En el estudio mencionado, se recopilan investigaciones que sirven como evidencia "empírica" (se llega a cuestionar) de la existencia de cross-modalidades entre colores y el sabor. No solo esto, sino que profundizan en cómo esto varía dependiendo de los países y/o culturas, y plantean posibles orígenes de estas asociaciones.

Además, como indican Molly J. Higgins y John E. Hayes en el artículo *Learned color taste associations in a repeated brief exposure paradigm* [Asociaciones aprendidas entre color y sabor en un paradigma de exposición breve repetida] (Higgins & Hayes, 2019), cuando hablamos de pareados color-sabor, algunos resultaran más congruentes que otros, pero además señalan la idiosincrasia de estas asociaciones dependiendo de cada sujeto.

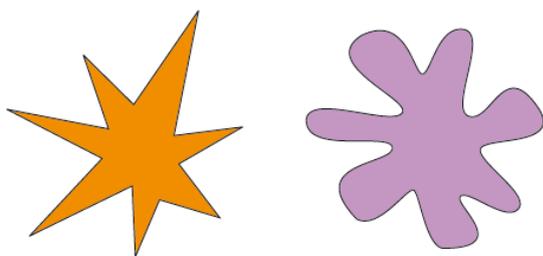
A continuación, traducimos e interpretamos las cinco (5) explicaciones a la cross-modalidad que proponen. No son excluyentes entre sí y, se podría decir, que encajan en el marco planteado por Faverkamp, en cuanto a que las asociaciones "sinestésicas" se encuentran en un espectro entre inherentes y adquiridas.

1. La explicación estructural: ciertas correspondencias pueden tener un origen estructural, lo que significa que reflejan las limitaciones estructurales, de conexión o de procesamiento inherentes al cerebro humano (es decir, no se aprenden). En este contexto, podrí asociarse la intensidad de actividad cerebral de percibir un estímulo visual (como un color) con la intensidad cerebral de percibir un sabor.
2. La explicación estadística: las correspondencias cross-modales pueden simplemente reflejar la internalización en el observador de las regularidades estadísticas del entorno. Serviría como ejemplo que, la cremosidad de los alimentos suele ir asociada a un mayor contenido graso. La grasa de por sí tiene una textura suave y untuosa y, en contacto con la saliva, puede formar emulsiones que potencien la sensación de cremosidad. Sería comprensible según esta explicación que una persona que ha inferido esta realidad estadística por la que los alimentos cremosos suelen ser más grasos, asociase la apariencia de cremosidad con una percepción grasa.
3. Correspondencias semánticas (o lingüísticas): se basa en la observación de que a menudo usamos los mismos descriptores/adjetivos para impresiones sensoriales cualitativamente diferentes. El uso común de los mismos términos podría

proporcionar la base para vincular sensaciones entre los sentidos. Esta propuesta podría explicar el efecto de "Kiki y Bouba" (Milán et al., 2013). Este es un juego, comunmente usado para sorprender a la gente con un ejemplo de sinestesia entre formas y sonidos. Indicaría por qué asociamos la palabra "kiki" —que al pronunciarla tiene un sonido más agudo que "bouba"— con la figura de terminaciones en punta. Es decir, con ángulos agudos en los vértices. La correspondencia semántica del descriptor "agudo" para estímulos diferentes podría influir en el efecto cross-modal.

Figura 3

Ejemplo de cross-modalidad entre visual y auditivo. A la izquierda la figura asociada con la palabra "kiki" y a la derecha la figura asociada con la palabra "bouba".



4. Uso de la heurística disponible: los participantes involucrados en estos "estudios empíricos" podrían estar simplemente relacionando para un sabor dado, aquellos colores alimenticios que pudieran evocar más fácil y rápidamente en su mente como ejemplos de dicho sabor. Por ejemplo, al preguntar qué color se asocia con un sabor ácido, aquellos que pensaron en un limón terminaron diciendo amarillo, mientras que aquellos que pensaron en una lima eligieron verde en su lugar. Esto podría explicar también algunas de las diferencias entre culturas: el limón sería más común en un país mediterráneo, por ejemplo, mientras que la lima primaria en un país asiático.
5. Correspondencias afectivas: las personas pueden querer simplemente emparejar pares de estímulos si resultan evocar la misma sensación o emoción o se sabe que están asociados con el

mismo estado afectivo. Aquí es relevante la larga literatura que muestra que los colores están asociados con emociones. De manera similar, las respuestas hedónicas también están asociadas con/desencadenadas por la presentación de sabores básicos.

Mencionan también la falta de evidencia para afirmar la prevalencia de un modelo explicativo frente a otros debido a la dificultad de analizarlos. Quizá, por lo complicado que resultaría aislar los factores para estudiarlos.

En nuestro caso, como forma de toma de contacto con la experimentación sobre cross-modalidad, nos limitamos a encuestar a ciento setenta (170) personas por medio de un Google Forms. En este test se pedía al participante que dados cada uno de los sabores primarios los asociaran con uno de los colores propuestos. Además, con cada respuesta se les pedía que indicaran el nivel de duda con el que han respondido, siendo uno (1) lo mínimo y cinco (5) lo máximo.

El objetivo era comprobar si de los datos emergía algún tipo de patrón o correspondencia sabor-color y contrastarlo con el estudio *Cross-cultural differences in crossmodal correspondences between basic tastes and visual features* [Diferencias transculturales en las correspondencias cruzadas entre los sabores básicos y las características visuales] (Wan et al., 2014). Además, en este estudio no aportan datos sobre una población española o europea, sino que analizan las similitudes/diferencias en la asociación sabor-color entre China, India, Malasia y EEUU.

En el estudio original se pedía que asociaran un color a: dulce, amargo, salado, ácido y umami. Este último sabor primario se decidió retirar dado el poco conocimiento de la gente sobre él.

A continuación, se presenta un resumen de los análisis de los datos recabados en el estudio. Los datos y análisis completos se pueden encontrar en el [Anexo 01 - Investigación de la cross-modalidad color y sabor](#).

Figura 4

Gráfico circular reflejando el porcentaje de respuestas asociando cada color al sabor "dulce". Se observa la predominancia absoluta del color rosa.

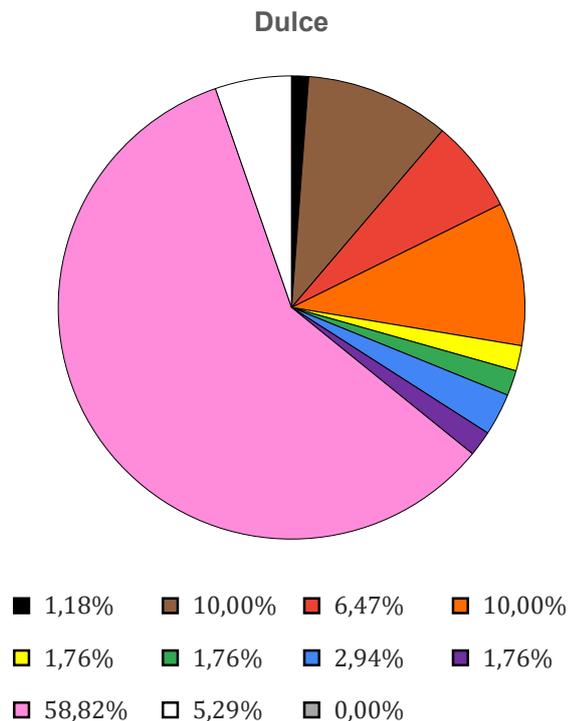


Figura 5

Gráfico circular reflejando el porcentaje de respuestas asociando cada color al sabor "salado". Se observa una predominancia del color azul, seguido del blanco.

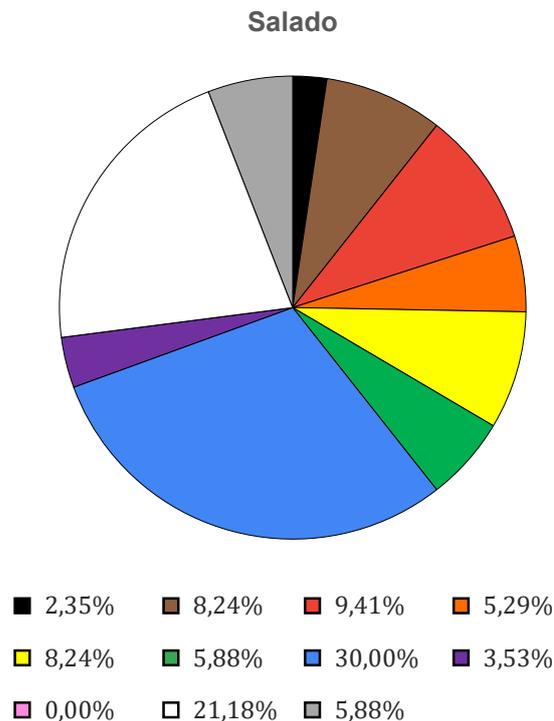


Figura 6

Gráfico circular reflejando el porcentaje de respuestas asociando cada color al sabor "ácido". Se observa la predominancia absoluta del color amarillo, siendo este el resultado más unívoco.

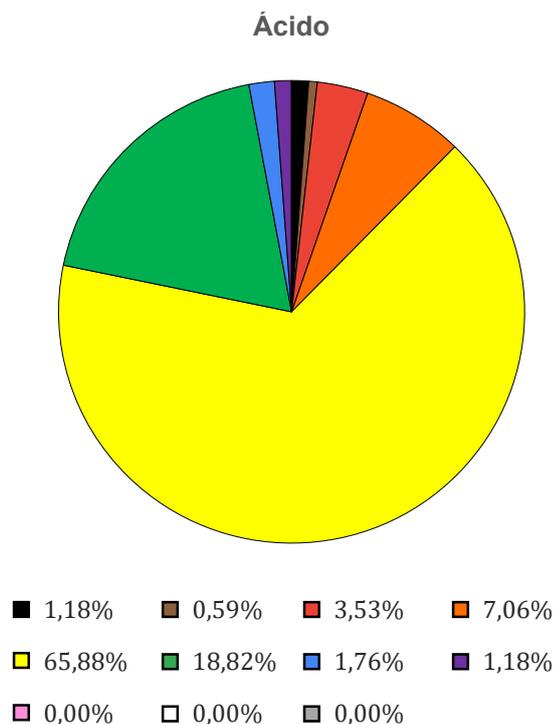
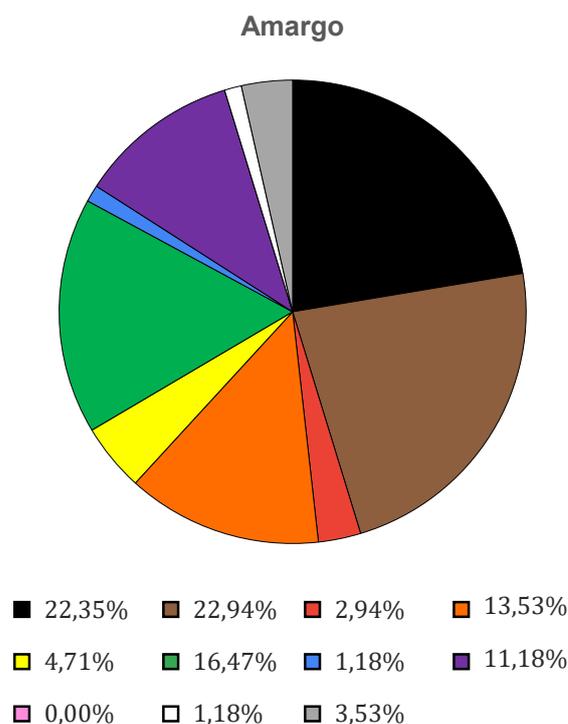


Figura 7

Gráfico circular reflejando el porcentaje de respuestas asociando cada color al sabor "amargo". Se observa una predominancia de los colores marrón, negro y verde, y es el resultado menos unívoco.



Graficando los resultados como en la página anterior, es fácil identificar que la mayoría de la gente encuestada asocia el dulce con el color rosa; el salado con el azul o el blanco; el ácido con el amarillo; el amargo con el negro y el marrón o el verde.

Aunque podamos intuir de dónde vienen esas asociaciones (ácido-amarillo debido al limón, la fruta ácida más común en España; salado-blanco y salado-azul debido al color de la sal o, más específicamente de las bolsas de sal; etc.) es importante recordar que no podemos afirmar cuál es el factor que origina estas cross-modalidades.

Figura 8

Primeros seis resultados de buscar en Google Imágenes "paquete de sal". Nótese que los principales colores son el blanco y azul, seguido del rojo en los textos, acorde con los resultados del estudio.

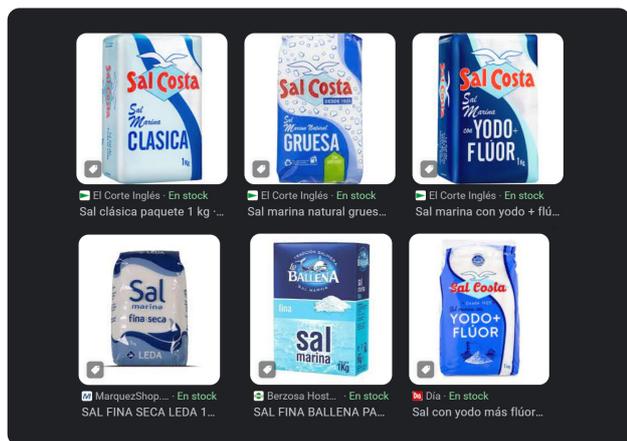
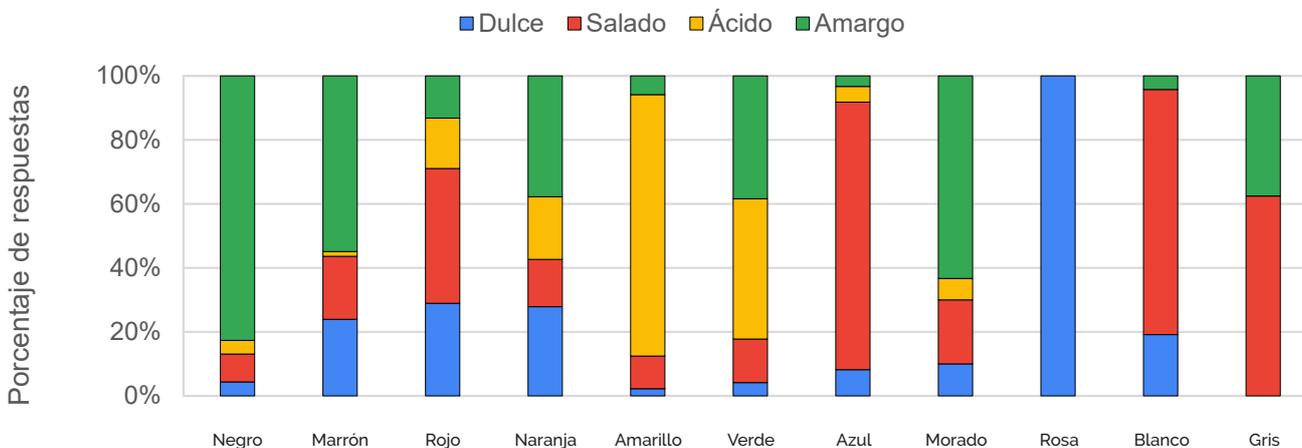


Figura 10

Gráfico porcentual acumulado de los sabores asociados a cada color en el formulario. Destacan los colores negro, amarillo, azul, rosa y blanco al estar asociados cada uno a un sabor de forma casi unívoca.



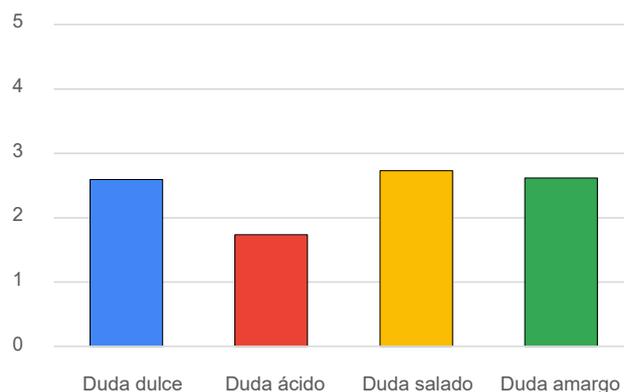
Además, graficando el número de veces que un color ha sido asociado a cada uno de los cuatro sabores, podemos observar que hay ciertos colores con un sabor asociado casi unívocamente como el negro, amarillo, azul, rosa o blanco.

Una posible forma de evaluar la intensidad de la asociación cross-modal podría ser el nivel de duda o con la que responde el participante.

El sabor que menor duda generó es el ácido, coincidiendo con la menor dispersión en las respuestas. En este caso, el color más elegido (amarillo) representa el 65,88% del total y junto con el segundo (verde) representan casi el 85% de las respuestas.

Figura 9

Gráfico del nivel de duda medio para la asociación de cada sabor con un color. Destaca el sabor ácido como el que menor duda generó, siendo a la vez el que recibió una respuesta más unívoca.



ESTUDIO de **USUARIO**

Se conoce por estudio de usuario al "conjunto de datos que analizan cuantitativamente y cualitativamente el comportamiento y las necesidades reales de los usuarios de unidades de información a través de métodos estadísticos.

EL ESTUDIO ORIGINAL

Adaptación a VR

Diseño del entorno virtual

Ejecución del experimento

Resultados y análisis

Conclusiones

El proceso de diseño del experimento parte por comprender el estudio: *Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?* [¿Se ve influenciado el sabor del café por el color de la taza?], (Van Doorn et al., 2014). En este estudio se buscaba corroborar la hipótesis siguiente: "si el color de la taza afecta a la manera en que la gente percibe el color del café, y el color del café afecta a la percepción del sabor, entonces se esperaría que el color de la taza (y cualquier efecto de contraste que pueda suscitar) influenciase las propiedades percibidas del café (i.e. amargor)". Se basó el diseño de los experimentos en la hipótesis de que existe una asociación cross-modal entre el color marrón y el amargor, por lo que este y otros atributos podrían verse potenciados por un mayor contraste de color entre la taza y el café.

Para ello, se realizó un **primer experimento** en el que una muestra de dieciocho voluntarios bebía café con leche en proporciones constantes, seis de los cuales bebían el café en una taza **blanca** de porcelana, seis en una taza **transparente** de cristal y otros seis en una taza **azul** de porcelana. En pos de reducir el número de variables que pudieran influir en los resultados, se mantuvieron relativamente constantes: el peso de las tazas, la temperatura del café con leche, la temperatura de la sala, y la luz de la sala. Un mismo experimentador hizo todas las pruebas y se buscó no revelar información

acerca del verdadero propósito del experimento a los participantes, quienes habían dado su consentimiento firmado y se les había contado que el propósito del experimento era evaluar ciertas características del café.

Tras obtener unos resultados que parecían confirmar cierta cross-modalidad —el café en la taza blanca era evaluado como más intenso que el de la transparente—, se realizó un **segundo experimento** buscando corregir inconsistencias del primero. En esta segunda versión, se evitaron las ligeras diferencias de peso y textura entre las tazas y se aumentó la muestra a treinta y seis voluntarios, doce para cada color de taza, obteniéndose ahora unos resultados que indicaban una influencia cross-modal del color con la percepción del dulzor.

Figura 11

Tazas utilizadas en el segundo experimento del estudio en el que se basa la fase de análisis de usuario de este proyecto.



Nota: Tomado del estudio *Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?*, por Van Doorn et al. 2014.

ADAPTACIÓN A VR

Diseño del entorno virtual

Ejecución del experimento

Resultados y análisis

Conclusiones

Diseñar el experimento adaptado a la realidad virtual ha pasado por extrapolar de forma directa algunos elementos del experimento original, pero, en mayor medida, ha requerido replantear muchos aspectos de forma que se suplieran las limitaciones que plantea la VR, como la dificultad de los controles, los requisitos a nivel de hardware y software o la complejidad de la inmersión, y se aprovecharan sus ventajas, como la reducción de material o la mayor libertad para diseñar el entorno.

Los aspectos que no requirieron adaptación y se mantuvieron igual que en el estudio original son: las proporciones de café y leche en cada toma, que se mantuvieron en aproximadamente un tercio y dos tercios respectivamente; los colores de las tazas se mantuvieron en blanco, azul y transparente; se evaluaron el dulzor, amargor, calidad y aceptación (cuanto les había gustado).

ADAPTACIONES

1. Cada uno de los participantes hacía toma café de cada una de las tres tazas diferentes, en vez de solo una taza. Esto se hizo buscando una mayor cantidad de dato. Para ello, se implementó una matriz de pseudoaleatoriedad (*Figura 12*) que garantizase la aleatoriedad en la secuencia de toma de café entre los participantes. Dado

que el experimento contaría con una muestra relativamente pequeña (44 participantes), esta estrategia resulta fundamental para mantener la uniformidad en la distribución de las muestras y asegurar que cada participante experimentara el café de cada tipo de taza en un orden equitativo. Este enfoque contribuye a minimizar cualquier posible sesgo de orden y respalda la fiabilidad de los análisis estadísticos subsiguientes al cumplir con el requisito de aleatoriedad de las muestras.

Figura 12

Matriz pseudoaleatoria para la presentación de las tazas de tres posibles colores, buscando minimizar la influencia del orden de toma de café y cumpliendo la condición de aleatoriedad para el posterior análisis de los datos.

T = Transparente
B = Blanco
A = Azul

TBA
TAB
BTA
BAT
ATB
ABT

2. El entorno es una recreación virtual a escala 1:1 de la propia sala del experimento. Se hizo buscando potenciar la sensación de presencia al haber un menor choque entre la realidad y la realidad virtual, y gracias a la coherencia entre los objetos físicos y virtuales con los que podían interactuar los participantes. Cada sesión

comenzaba con el calibrado del entorno virtual con el físico, de manera que la posición de unos elementos y otros coincidieran. No se cedían los controles al participante por lo que este no podía desplazarse dentro del entorno virtual.

- 3. Las tazas virtuales eran todas del mismo material.** modificando tan solo el tono de color y la transparencia. Al hacerlas aparecer sobre la mesa, se les pedía a los participantes que aseguraran al experimentador que había aparecido una taza e indicaran el color de "la taza que les había tocado" (se pretendía hacer creer que el color era aleatorio).
- 4. Se usó una única taza en la realidad.** Se simulaba un cambio de taza real al mismo tiempo que se cambiaba la taza virtualmente, haciendo ruido con la misma sobre la mesa (retirar la última taza) y sobre el suelo (coger la siguiente taza). Los participantes en ningún momento vieron la taza o el café reales.
- 5. Los participantes beben de la taza a través de una pajita.** Ante la imposibilidad de animar el movimiento de la taza en VR simulando en tiempo real el gesto de acercarse la taza a la boca para beber, se decidió mantener la taza estática y que los voluntarios bebieran de una pajita que a su vez se renderizaría dentro de la taza virtual.
- 6. Los participantes respondían verbalmente a las preguntas evaluando en una escala entera del cero al diez cada aspecto del café,** siendo cero "nada" y diez "muy/mucho" —a diferencia del experimento original, en el que evaluaban en una escala analógica de cero a cien. Las preguntas se mostraban dentro del entorno virtual frente al participante a la vez que el experimentador las decía en voz alta. Se hizo así para evitar que el voluntario se quitara y pusiera el *headset* constantemente o necesitara recordar sus respuestas

hasta haber probado todos los cafés.

- 7. Se retiró la pregunta acerca del aroma** del café, dada la dificultad para oler con el *headset* puesto.
- 8. Se añadieron preguntas** sobre la cremosidad, buscando una posible cross-modalidad entre el color y la textura del café con leche, y sobre la calidad del café. Si el participante mostraba dificultades en responder esta última pregunta, se le pedía definir "calidad" en un café al final de la prueba.
- 9. Se pedía a los participantes que opinaran sobre el experimento.** "Fuera del experimento", hablaban sobre la experiencia y sobre cualquier cosa a destacar sobre los cafés o el propio experimento.

En el [Anexo 02 - Documento de conformidad](#) se puede encontrar el documento de conformidad que los participantes rellenaron y firmaron. En este se muestra toda la información proporcionada a los voluntarios. Y, entre la cual, se explican las fases del experimento.

En el [Anexo 03 - Cuestionario](#) se puede encontrar la hoja de caracterización del participante y la hoja a rellenar por el experimentador con las respuestas de cada participante.

El estudio original

Adaptación a VR

DISEÑO DEL ENTORNO VIRTUAL

Ejecución del experimento

Resultados y análisis

Conclusiones

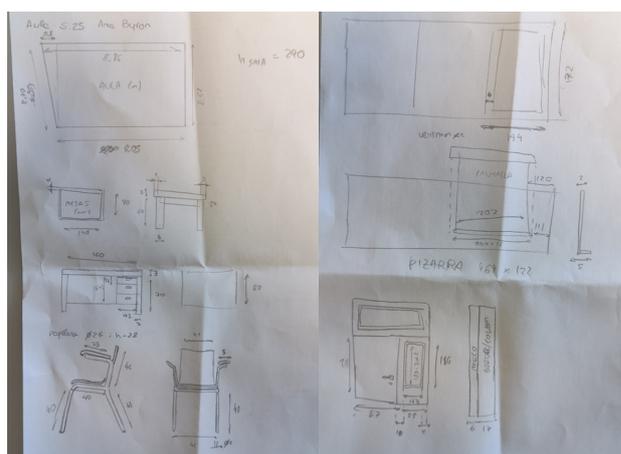
El software utilizado para la creación del entorno virtual del experimento es Blender, en su versión 3.0. El motivo principal para su elección fue la sencilla integración con VR que ofrece el programa y la experiencia previa con esta herramienta. El principal inconveniente que presentó Blender fue la imposibilidad de interacción con los elementos de la escena, por lo que se barajó utilizar un motor gráfico (en concreto, Unity) pero tuvo que descartarse dada su mayor complejidad y la necesidad de conocimientos de programación en C#, con los que no se contaba.

Se decidió recrear el aula de seminario S. A.23 del edificio Ada Byron de la EINA (Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza). Esta serviría como sala para realizar el experimento y los participantes verían en VR una recreación a escala 1:1 de la propia sala en la que se encuentran físicamente.

Buscando generar una mayor sensación de presencia e inmersión, se buscó que el cambio entre el entorno real y el virtual fuese mínimo. Para ello, se tomaron las dimensiones generales de la sala y se fotografiaron y midieron los elementos principales (sillas, mesas, ventanas, puerta, pizarra y pantalla del proyector). Además, se prestó especial atención a la posición del participante con respecto a los elementos a su alcance, de forma que, una vez estuviera en VR, la posición de los elementos

Figura 12

Bocetos y planos de baja fidelidad del aula y sus elementos principales para la recreación a escala 1:1 del entorno dentro del software de modelado 3D, Blender.



reales y los virtuales coincidieran, correspondiéndose lo que viese con lo que tocase.

Los modelos virtuales fueron todos generados desde cero siguiendo las medidas tomadas. Las texturas fueron en su mayoría generadas proceduralmente, con alguna excepción en la que se renderizaban imágenes como planos (carteles y cuadro eléctrico) o se aplicaban y adaptaban texturas procedentes del *add-on* BlenderKit (pizarra con tiza, madera, algunos metales y terciopelo).

Paralelamente, se creó un espacio sencillo —con tan solo una mesa y un entorno HDRi de una cafetería— para testear los materiales de las tazas y,

Figura 13

Render dentro del entorno sencillo diseñado para explorar y diseñar la apariencia que tendrá el café virtual del experimento.



en especial, del café con leche. Se buscó obtener un acabado cerámico para las tazas azul y blanca, y cristalino para la taza transparente, sin tener que modificar nada más que el color y la transparencia. También, sirvió como primera prueba del rendimiento en realidad virtual y de la sensación de escala. Para el café con leche, se generaron cuatro versiones de la textura y se evaluaron con los compañeros del Graphics and Imaging Lab.

Una vez creado el entorno por completo y seleccionada la mejor versión del material "café con leche", se hizo una prueba de rendimiento en VR. Usando el motor de renderizado Cycles, de mayor calidad gráfica, el entorno no se llegaba a cargar siquiera, por lo que se pasó al motor Eevee, pensado para renderizar gráficos en tiempo real. Aunque se corrigieron algunos materiales, los resultados

fueron bastante decepcionantes por los siguientes motivos: la tasa de imágenes por segundo (FPS) era insuficiente para VR, provocando cierto malestar o mareo tras unos segundos; las texturas no se cargaban y/o parpadeaban; las superficies metálicas brillaban de forma errática; excesiva latencia entre los movimientos del *headset* y la respuesta del entorno (conocido como *input lag*). Todo, seguramente, debido a una mala optimización y falta de recursos

Para corregir estos errores, se llevó a cabo un proceso iterativo —al principio, de prueba y error— hasta dar con el equilibrio adecuado entre rendimiento y fidelidad/realismo. Durante este proceso (y durante el experimento), se observó que parece existir una mayor tolerancia por parte del usuario a los "defectos visuales" dentro de entornos VR que en las imágenes generadas por ordenador convencionales.

La solución final pasó por sustituir los materiales metálicos procedurales de BlenderKit por materiales sencillos (*principled BSDF*) de acabado metálico y reducir el número de elementos de la escena (eliminar todas las mesas excepto las del participante y del experimentador). También, se averiguó que usar la opción "Mirror screen" del *plug-in* para VR interfería en el rendimiento, pero era necesario mantenerla activada para poder observar en la pantalla lo que veía el participante en su *headset* durante las sesiones.

Figura 14

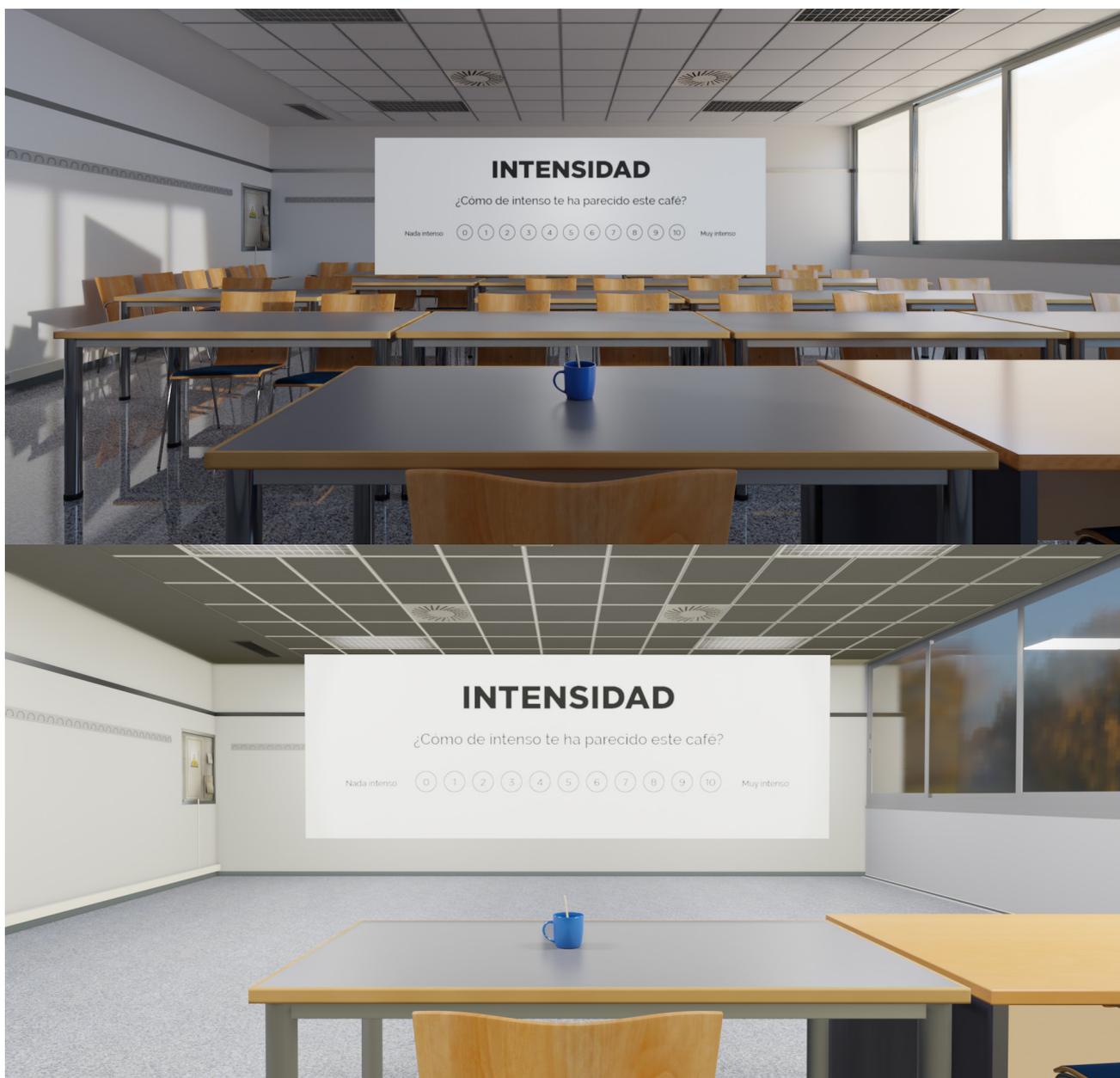
A la izquierda, una de las imágenes tomadas con un teléfono móvil como referencia para la recreación del aula; a la derecha, unos de los renders del entorno virtual diseñado en Blender buscando recrear el aula real.



Para ayudar a responder a las preguntas sobre los cafés, se proyectaron las preguntas en un plano frente la mesa de los participantes, y se iluminaron para dirigir mejor la atención. Se irían cambiando la pregunta proyectada conforme los participantes respondieran.

Figura 15

Comparativa entre el nivel de realismo y detalle del entorno diseñado originalmente (imagen de arriba), modelado en Blender y renderizado con el motor gráfico "Cycles", y el entorno simplificado para el experimento (imagen de abajo). Este segundo entorno se procesaba en tiempo real a través del motor gráfico "Eevee", contenía muchos menos elementos en la escena, un sistema de iluminación más sencillo y texturas de baja fidelidad. Se aplicaron estos cambios para poder mantener una tasa de imágenes por segundo que permitiera a los participantes interactuar en tiempo real y sin marearse. Se puede observar el plano donde se proyectaban las preguntas.



El estudio original

Adaptación a VR

Diseño del entorno virtual

EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

Resultados y análisis

Conclusiones

El primer experimento se llevó a cabo a lo largo de siete días, entre el 28 de abril y 6 de mayo, en horario de mañanas en el aula de seminario A.22 del edificio Ada Byron. El día anterior a iniciar los experimentos, 27 de abril, se hicieron varias pruebas para confirmar el correcto funcionamiento de este. Los participantes colaboraron de forma voluntaria al ofrecérseles formar parte de una "experiencia multimodal probando café con leche en realidad virtual". Para ello, cada voluntario leyó y firmó un documento que recogía una breve explicación del propósito del experimento, los posibles riesgos y consideraciones a tener en cuenta, y una enumeración de las instrucciones a seguir durante el experimento, confirmando su conformidad y el deseo de participar del estudio. Este documento se encuentra en el [Anexo 02 - Documento de conformidad](#).

Cada sesión duraba alrededor de quince minutos. Los participantes entraban de uno en uno en la sala donde el experimentador les recibía. Tras recoger el documento de conformidad firmado, cada participante respondía a las preguntas de caracterización de la primera cara de la hoja de respuestas. Al mismo tiempo, el experimentador realizaba una primera calibración del *headset* de VR de forma que las posiciones real y virtual se correspondieran, ayudándose de una marca con tiza en la mesa y de los controladores.

CALIBRADO

Pudiendo ver una imagen virtual de los controladores dentro del entorno de VR, el método para regular la altura consistía en desplazarse verticalmente moviendo el mando hasta que, al apoyarlo sobre la mesa real, este quedase apoyado sobre la mesa virtual. Para calibrar las distancias se tomaban como referencia las esquinas de la mesa y se seguía un procedimiento similar al anterior. Hecho esto, se asistía al voluntario para sentarse y ponerse el casco de realidad virtual

Tras dar unos segundos al participante para que explorase el entorno, se le explicaba el siguiente proceso de calibrado necesario. Para establecer la

posición correcta de la taza real con respecto a la taza virtual y que el participante se acostumbrase a las distancias dentro del entorno virtual —en el cual uno no puede ver su propio cuerpo—, se presentaba la primera taza virtual con su pajita virtual dentro, a la vez que se colocaba la taza real con su pajita real sobre la mesa frente a él. A continuación, se pedía al voluntario que pusiese la punta del dedo índice de su mano donde consideraba que debería estar la punta de la pajita real de acuerdo con lo que veía en la realidad virtual, y el experimentador movía la taza y pajita para que se diese tal correspondencia.

EJECUCIÓN

Una vez confirmado el calibrado y que el participante se encontraba bien en el entorno virtual, se comenzaba sirviendo el café con leche. Esto se hizo debido a que se detectó cierta desconfianza en los experimentos de prueba —comprensible dado que el participante no puede ver lo que se sirve dentro de la taza. Entonces, se le indicaba al voluntario que se acercara a beber a través de la pajita, sin tocar la taza. Una vez hubiera bebido, se dejaba de renderizar la taza virtual y se retiraba la primera taza. Después, se proyectaban una a una las preguntas frente al participante y este respondía verbalmente valorando cada aspecto del café con leche probado en una escala de cero a diez, siendo cero "nada" y diez "muy/mucho". Al mismo tiempo, el experimentador iba anotando las respuestas en el anverso de la hoja de respuestas.

Figura 16

Renderizado simultáneo de la taza virtual en sus tres variables de color. Esta imagen se generó en el mismo motor de renderizado, "Eevee", con el que se ejecutó el experimento en realidad virtual.



Se repetía este proceso con cada una de las tazas de diferentes colores, excepto que, como solo se usaba una taza en la realidad, se simulaba un intercambio de tazas. Para ello, se golpeaba el suelo con la taza para que pareciera que las tazas con cada café estaban escondidas bajo la mesa del experimentador.

Tras evaluar el café con leche en las tres tazas de diferente color, se proyectaba una última pregunta y se invitaba al participante a dar su opinión sobre los cafés que había probado. Tras retirar la pantalla con la última pregunta, se le indicaba que el experimento había terminado pero que, por mera curiosidad, nos gustaría saber su opinión acerca del experimento, del entorno virtual y de cualquier cosa que quisiera destacar.

Figura 17

Fotografía tomada durante la ejecución del experimento. Uno de los participantes bebe café de la taza a través de una pajita. Aunque en el momento la taza se renderiza de color azul en el entorno virtual, se observa cómo siempre era la misma taza blanca realmente (la cual nunca habrían llegado a ver los participantes).



El estudio original

Adaptación a VR

Diseño del entorno virtual

Ejecución del experimento

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Conclusiones

Un total de cuarenta y cuatro (44) personas participaron en el experimento, teniendo que descartar de ellos tres (3) participantes debido a problemas en la ejecución —fallos en el calibrado del *headset* y un café derramado. De esos cuarenta y uno (41), tres (3) expresaron haber intuido el posible verdadero propósito del experimento, indicando al final de este que sospechaban desde un inicio que todos los cafés eran el mismo. Estos participantes, a su vez, dieron puntuaciones iguales a los tres cafés. Descartando estos, contamos con un total final de **treinta y ocho (38) participantes válidos**. Los participantes fueron principalmente estudiantes de la EINA (Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza), de edades entre dieciocho (18) y veintiséis años (26).

Se puede encontrar todos los datos y análisis estadísticos en el [Anexo 04 - Datos y análisis del estudio de usuario](#).

En primera instancia, se han analizado los datos en dos bloques separados. Por un lado, se han considerado las evaluaciones de la primera toma de café de los participantes y, por otro lado, se han analizado los datos de todas las tomas en conjunto. Presentamos los estadísticos básicos de ambos bloques de datos en la [Tabla 1](#) y la [Tabla 2](#).

Se han analizado los datos del primer bloque por medio de **ANOVAs unidireccionales**, análisis de una varianza para tres (3) o más grupos (en nuestro

caso: blanco, azul y transparente).

Este tipo de análisis se aplica para cada uno de los rasgos evaluados del sabor de forma separada, con el color de la taza como única variable. Aplicar este tipo de análisis requiere asegurar la aleatoriedad de las muestras, la homocedasticidad (igualdad de varianzas) y la normalidad de las distribuciones.

En cuanto a la **aleatoriedad de las muestras**, las tazas se presentaron a cada participante siguiendo un orden pseudoaleatorio contribuyendo a minimizar cualquier efecto potencial de secuenciación que pudiera afectar a la validez de los resultados. El orden de las tazas estaba predefinido antes de iniciar las pruebas o, si quiera, de invitar a los participantes —seleccionados también de forma aleatoria— esperando poder suponer la ausencia de sesgos de cualquier tipo.

Realizamos pruebas de LEVENE para comprobar la **homocedasticidad**. Con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, podemos tomar como válida la hipótesis nula del contraste y afirmar la igualdad de varianzas para los grupos de respuestas de cada uno de los rasgos del sabor.

Estudiamos la **normalidad de las distribuciones** para cada rasgo por medio de pruebas de normalidad de Kolgomorov-Smirnov y confirmamos la normalidad de los datos solo para los rasgos: intensidad, dulzor y cremosidad.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Tabla 1

Tabla de estadísticos descriptivos del primer bloque de datos, conteniendo las evaluaciones de la primera toma de café.

Variable	Color taza	N	Media	EE	DE	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Intensidad	Azul	12	5,250	0,538	1,865	2,000	3,250	6,000	6,750
	Blanco	14	4,857	0,479	1,791	3,000	3,000	5,000	7,000
	Transparente	12	4,083	0,621	2,151	1,000	2,250	4,000	6,000
Dulzor	Azul	12	4,000	0,615	2,132	0,000	3,000	3,500	6,000
	Blanco	14	3,071	0,450	1,685	0,000	2,000	3,000	4,250
	Transparente	12	3,500	0,399	1,382	1,000	2,250	4,000	4,000
Gusto	Azul	12	6,250	0,372	1,288	4,000	5,000	6,500	7,000
	Blanco	14	5,929	0,508	1,900	3,000	4,750	6,000	7,000
	Transparente	12	6,250	0,524	1,815	2,000	5,250	7,000	7,750
Creemosidad	Azul	12	4,167	0,649	2,250	0,000	2,250	4,000	6,000
	Blanco	14	3,000	0,406	1,519	0,000	2,000	3,000	4,000
	Transparente	12	3,250	0,664	2,301	0,000	1,000	3,000	4,750
Amargor	Azul	12	4,917	0,645	2,234	0,000	4,000	6,000	6,000
	Blanco	14	5,071	0,650	2,433	0,000	3,750	5,500	7,000
	Transparente	12	4,750	0,509	1,765	2,000	3,250	5,000	6,000
Calidad	Azul	12	5,750	0,351	1,215	4,000	5,000	6,000	6,750
	Blanco	14	5,571	0,327	1,222	3,000	5,000	6,000	6,000
	Transparente	12	5,667	0,432	1,497	3,000	4,250	6,000	7,000

Tabla 2

Tabla de estadísticos descriptivos del segundo bloque de datos, conteniendo las evaluaciones de todas las tomas de café.

Variable	Color taza	N	Media	EE	DE	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Intensidad	Azul	38	4,605	0,341	2,099	1,000	3,000	5,000	6,000
	Blanco	38	4,526	0,335	2,063	1,000	3,000	5,000	6,000
	Transparente	38	4,605	0,345	2,125	1,000	2,750	5,000	7,000
Dulzor	Azul	38	3,789	0,307	1,891	0,000	3,000	3,000	5,000
	Blanco	38	3,842	0,289	1,779	0,000	3,000	4,000	5,000
	Transparente	38	3,763	0,276	1,700	0,000	2,000	4,000	5,000
Gusto	Azul	38	5,842	0,268	1,653	1,000	5,000	6,000	7,000
	Blanco	38	5,553	0,326	2,009	0,000	4,000	6,000	7,000
	Transparente	38	5,711	0,311	1,916	0,000	4,000	6,000	7,000
Creemosidad	Azul	38	4,105	0,341	2,103	0,000	2,750	4,000	6,000
	Blanco	38	3,842	0,303	1,868	0,000	2,000	4,000	5,000
	Transparente	38	4,079	0,323	1,992	0,000	3,000	4,000	5,250
Amargor	Azul	38	4,579	0,353	2,176	0,000	3,000	5,000	6,000
	Blanco	38	4,184	0,367	2,264	0,000	2,750	4,000	6,000
	Transparente	38	4,421	0,361	2,226	0,000	3,000	5,000	6,000
Calidad	Azul	38	5,632	0,262	1,618	2,000	5,000	6,000	7,000
	Blanco	38	5,500	0,255	1,573	1,000	5,000	6,000	6,250
	Transparente	38	5,500	0,232	1,428	2,000	4,750	5,500	7,000

Procedemos con las **pruebas ANOVA** para los rasgos que han cumplido la condición de normalidad. La hipótesis nula de estas pruebas significa que “el color de la taza NO influye en la percepción de x rasgo de sabor del café”. Con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, podremos rechazarla e inferir una posible correlación entre el color de la taza y la percepción del sabor si el valor de F calculado es mayor al F tabulado para dicho α . Análogamente, si comparamos el p-valor del contraste con el valor alfa, solo rechazaremos la hipótesis nula cuando el primer valor sea inferior a 0,05 (alfa). Se pueden encontrar los ANOVA en [Anexo 04 - Datos y análisis del estudio de usuario](#).

Habiendo hecho las pruebas, no podemos afirmar que el color de la taza influya en la percepción de la intensidad del café, el dulzor o la cremosidad. Se se asume entonces que las diferencias observadas podrían ser el resultado de la variabilidad aleatoria.

Para los otros tres (3) rasgos (gusto, amargor y calidad), se realizarán análisis de varianza no paramétricos. En concreto, pruebas no paramétricas de **Kruskal-Wallis** donde, a diferencia del ANOVA, no se precisa de normalidad en los datos.

También para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, debemos aceptar la hipótesis nula para cada una de las pruebas de Kruskal-Wallis, indicando que las medianas son iguales y que el color de la taza tampoco ejerce efecto alguno en la percepción del sabor del café.

En este punto, consideramos realizar un **MANOVA** (Análisis de Varianza Multivariante) para evaluar si existe una diferencia conjunta entre los grupos de tazas de colores en términos de los múltiples rasgos del sabor. El MANOVA puede proporcionar una comprensión más integral al considerar las relaciones conjuntas entre múltiples variables de respuesta al mismo tiempo (los rasgos del sabor en este caso). Esto nos ayudaría a determinar si el color de la taza de café tiene un efecto global en las percepciones de sabor, pero no pudiendo inferir cuál es dicho efecto.

Se realizan pruebas MANOVA para el color de la taza siguiendo cuatro (4) criterios distintos: De Wilks; Lawley-Hotelling; De Pillai; De Roy. De nuevo y para cada uno de estos métodos, los análisis indican que no parece existir una relación directa entre el color de la taza y la percepción del sabor del café —en este caso considerada como un todo.

Tabla 3

Pruebas MANOVA para “Color de la taza”, del bloque de datos de la primera toma de café según los criterios De Wilks, Lawley-Hotelling, De Pillai y De Roy, donde se observa que devuelven p-valores muy alejados del nivel de significancia (0,05), llevando a la aceptación de la hipótesis de aleatoriedad en los datos.

Criterio	Estadística		GL		P
	de prueba	F	Núm	Denom	
De Wilks	0,79509	0,607	12	60	0,827
Lawley-Hotelling	0,24692	0,597	12	58	0,836
De Pillai	0,21349	0,617	12	62	0,819
De Roy	0,19013				

$$s = 2 \quad m = 1,5 \quad n = 14$$

Tras analizar los datos de la primera toma de café de cada participante y no obtener resultados congruentes con lo observado en el estudio original, procedemos a estudiar los datos de todas las tomas en conjunto.

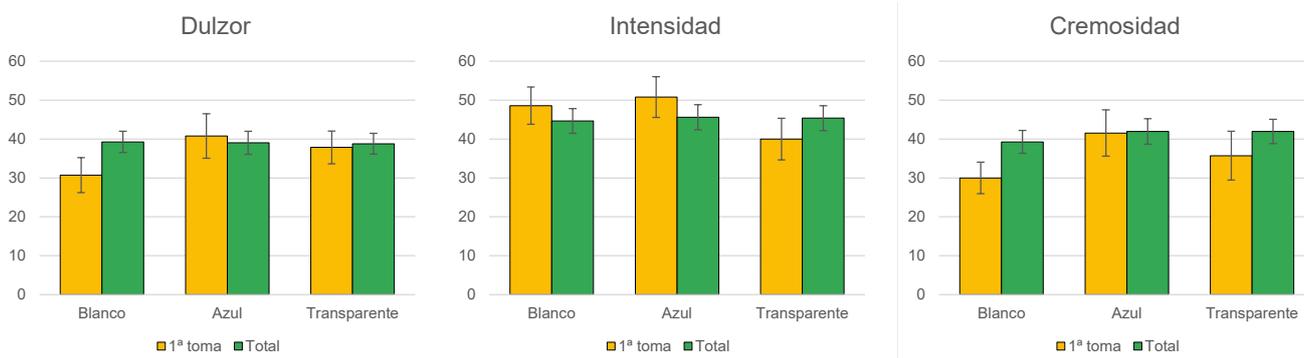
Graficando ambos bloques de resultados para los rasgos evaluados con mayor varianza (dulzor, intensidad y cremosidad), podemos observar una homogeneización de las respuestas cuando consideramos todas las tomas frente a cuando consideramos solo la primera toma. Se podría intuir una menor probabilidad de hallar los resultados esperados y se procede con el mismo método de análisis que con el primer bloque de datos.

Volvemos a asumir la aleatoriedad de las muestras por los mismos motivos. Las pruebas de LEVENE confirman la homocedasticidad en cada rasgo y, esta vez sí, las pruebas de Kolgomorov-Smirnov indican que existe normalidad en todas y cada una de las distribuciones.

Procedemos con los análisis de varianza del conjunto total de respuestas para cada rasgo. Para

Figura 18

Gráficas comparativas de los valores medios y desviaciones estándar de dulzor, intensidad y cremosidad en función del color de la taza, comparando la homogeneidad entre el bloque de datos de la 1ª toma y el bloque de datos total. Se puede observar la tendencia de los resultados del bloque total a igualarse, sugiriendo una posible influencia entre las tomas.



cada una de las pruebas ANOVA encontramos p valores muy superiores al nivel de significancia 0,05, indicando que no podemos asumir que el modelo explique la variación en la respuesta. Es decir, de nuevo debemos aceptar la hipótesis de que los cambios en las respuestas se deben a una aleatoriedad.

De igual manera, realizamos un análisis multivariado, MANOVA, buscando evidencia de una cross-modalidad entre el color de la taza y el sabor (sea esta la que sea).

Se obtienen p-valores elevados, muy lejanos del $\alpha = 0,05$, por lo que debemos aceptar la hipótesis nula: la varianza de los datos no responde a las diferencias de color entre las tazas.

Tabla 4

Pruebas MANOVA para "Color de la taza", del bloque de datos de todas las tomas de café según los criterios De Wilks, Lawley-Hotelling, De Pillai y De Roy, donde se observa que devuelven p-valores iguales a 0,999, llevando a la aceptación de la hipótesis de aleatoriedad en los datos.

Criterio	Estadística de prueba		GL		P
	F	Núm Denom	F	Núm Denom	
De Wilks	0,98211	0,160	12	212	0,999
Lawley-Hotelling	0,01818	0,159	12	210	0,999
De Pillai	0,01793	0,161	12	214	0,999
De Roy	0,01559				

$$s = 2 \quad m = 1,5 \quad n = 52$$

Durante el análisis MANOVA, se identificaron valores atípicos que se destacan debido a sus residuos estandarizados significativamente altos. Estos valores inusuales indican que respuestas de los participantes difieren notablemente de la tendencia general de evaluaciones de los distintos rasgos del café. Encontramos un total de 28 valores inusuales, de los 114 en total. Es decir, un 24,57% de las valoraciones presentan un residuo estándar por encima de 2 o por debajo de -2, cuando lo esperable es un 5% de observaciones inusuales. Estas observaciones inusuales podrían reflejar la subjetividad inherente a la evaluación de sabores, lo que posiblemente afecte a las respuestas individuales y conduzca a una variabilidad perceptual en la interpretación de los atributos del café.

No habiendo obtenido resultados que nos permitan afirmar que se produce un fenómeno cross-modal entre el color de una taza y el sabor percibido del café dentro de un entorno de realidad virtual, buscamos posibles motivos por los que nuestras conclusiones no coinciden con las del estudio original.

La principal diferencia, además de realizarse en un entorno virtual en vez de uno real, podría ser el hecho de que los participantes probaran café de cada una de las tres tazas en vez de solo una. Aun así, quizá cabría esperar que analizando solo el bloque de respuestas al primer café obtuviésemos resultados similares, algo que no ocurre.

Otra sospecha a la hora de evaluar el segundo bloque con todos los datos es que el orden puede influir en los resultados. Aunque se presentaron las tazas siguiendo un orden pseudoaleatorio, la percepción del café podría variar de un primer trago a los siguientes (que cada vez se sienten menos amargo, por ejemplo).

Graficando el nivel de amargor y de dulzor percibidos —ya que son dos rasgos supuestamente inversamente relacionados— a lo largo de las tomas, se intuye una posible (aunque ligera) influencia del orden de toma del café. El amargor percibido disminuye mientras que el dulzor percibido aumenta.

Sin embargo, realizando una prueba de efectos entre sujetos donde se incluye el orden de las tomas como un factor, nada surge como significativo.

Figura 19

Valores medios de la percepción del dulzor y el amargor a lo largo de las tomas de café. Sugieren una posible influencia del orden de toma del café.

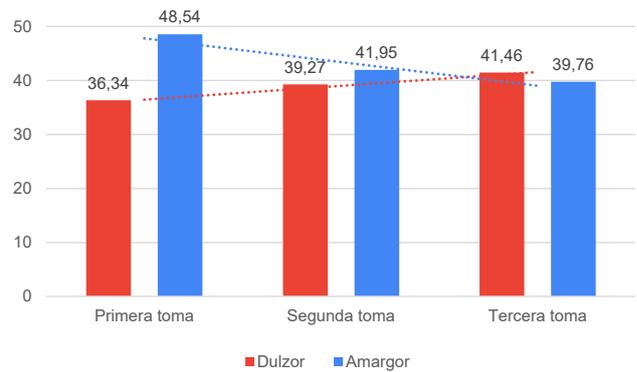


Tabla 5

Análisis de efectos entre sujetos incluyendo el orden como factor. No devuelve ningún factor significativo por lo que no podemos confirmar una influencia del orden de toma.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Intensidad					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	25,413 ^a	8	3,177	,756	,642
Intercept	2511,394	1	2511,394	597,345	,000
Color	,317	2	,159	,038	,963
Orden	4,139	2	2,069	,492	,613
Color * Orden	21,238	4	5,310	1,263	,289
Error	479,286	114	4,204		
Total	3018,000	123			
Corrected Total	504,699	122			

a. R Squared = ,050 (Adjusted R Squared = -,016)

El estudio original

Adaptación a VR

Diseño del entorno virtual

Ejecución del experimento

Resultados y análisis

CONCLUSIONES

Ausencia de un efecto cross-modal entre el color de la taza y el sabor del café:

Los análisis estadísticos, que incluyeron análisis de varianza de uno y varios factores, y pruebas no paramétricas, no revelaron diferencias significativas en la percepción de múltiples rasgos del sabor del café en relación con el color de la taza dentro de un entorno de VR. Este hallazgo sugiere que, en el contexto específico de este experimento, el color de la taza no ejerció una influencia discernible en la experiencia del sabor del café.

Esta conclusión no es extensible a cualquier experimento parecido ni niega que pueda existir una cross-modalidad dentro de un entorno de realidad virtual similar a la observada en el experimento original.

Al observarse una homogeneización de respuestas cuando se consideran todas las tomas en conjunto —especialmente visible en los rasgos de dulzor, intensidad y cremosidad— se infiere que ser consciente de que uno va a probar café de tres tazas diferentes podría influir en la experiencia global de probar café de cada una de las tazas. Este cambio respecto del modo de ejecución del experimento original, por ejemplo, podría haber influido en la diferencia de resultados entre ambas versiones.

Este supuesto caso, se podría deber a algún tipo de efecto de "reserva" o "cautela" en la primera (e incluso segunda) evaluación, ya que los participantes podrían estar considerando la posibilidad de que si diesen evaluaciones extremas en una

muestra esto limitaría su capacidad para evaluar las muestras subsiguientes.

Posibles factores de variabilidad y subjetividad:

La presencia de valores atípicos puede apuntar a una variabilidad perceptual significativa en la interpretación de los atributos del café. Este fenómeno podría estar relacionado con la naturaleza subjetiva de la evaluación de sabores y destaca la importancia de considerar esa subjetividad en futuras investigaciones.

Una posible forma de paliar el efecto de esta subjetividad inherente a los estudios sobre percepción sensorial sería el uso de "anclas". Lo que se haría en este caso es dar un café de referencia, a modo de "ancla", y definirlo como el valor medio para todos los rasgos, de forma que las evaluaciones consiguientes se hicieran en comparación con el ancla. Para el rasgo del amargor, por ejemplo, pasaríamos de evaluar si el café es considerado entre 0 = "muy poco amargo" y 10 = "muy amargo", a "mucho menos amargo que el ancla" y "mucho más amargo que el ancla", respectivamente.

Validez de la metodología virtual:

A pesar de la variación en el entorno experimental al utilizar la realidad virtual en lugar de un entorno "real", no podemos confirmar ni negar si esta diferencia tiene un impacto significativo en la percepción del sabor del café.

Aunque nuestro método de transformación del

estudio original a la realidad virtual no nos haya llevado a una correspondencia en los resultados, consideramos que sigue siendo interesante y relevante investigar formas de traducir investigaciones a la realidad virtual dado lo fácilmente moldeables que son estos entornos y el aparente avance hacia un futuro cada vez más virtual.

Influencia potencial del orden de toma del café:

Aunque se presentaron las tazas en un orden pseudoaleatorio, se intuyó una posible influencia del orden en la percepción del amargor y dulzor a lo largo de las tomas. Sin embargo, las pruebas formales no respaldan esta observación como significativa, lo que sugiere que el impacto del orden puede ser infundado o, sutil o mitigado por otros factores.

Comparación con el estudio original:

Se plantea la hipótesis de que las diferencias en los resultados con el estudio original podrían deberse a la variación en el diseño experimental, específicamente la decisión de permitir a los participantes probar café de cada taza en lugar de solo una. Sin embargo, incluso al analizar solo el bloque de respuestas al primer café, los resultados no coinciden con las expectativas.

Aunque se realizó este cambio en la ejecución del experimento buscando obtener un mayor número de datos por participante, esta decisión puede haber ido en detrimento del estudio. Por motivos anteriormente explicados, no podemos afirmar que los datos del primer bloque sean totalmente equivalentes a los del estudio original, haciendo más difícil compararlos

Reflexiones finales:

Este primer esfuerzo en la fase de experimentación de este proyecto no proporcionó evidencia que respalde la existencia de una cross-modalidad entre el color de la taza y el sabor del café en el entorno de realidad virtual seleccionado. Estos hallazgos, aunque no alineados con el estudio original, contribuyen al conocimiento en el campo y señalan áreas para futuras investigaciones, especialmente en relación con la subjetividad en la evaluación sensorial y la influencia del entorno virtual en las percepciones de sabor, y esperamos hayan dejado semillas para posteriores esfuerzos.

Conforme avancen el tiempo y la tecnología, podríamos esperar una mayor fidelidad de las realidades virtuales y mixtas. Por ello, seguimos contemplando el potencial de la adaptación de experimentos de similar índole al entorno virtual por la enorme versatilidad de este. Imaginando incluso un futuro en el que se puedan asumir ciertas correspondencias entre entornos o, incluso, se investigue primeramente en entornos virtuales para luego extrapolar los hallazgos a la "realidad".

A nivel personal, este estudio ha significado un primer paso hacia el apasionante mundo de la experimentación y ha avivado aún más el interés por el fenómeno de la cross-modalidad y la realidad virtual, y también ha despertado un enorme interés por la investigación. Desde una perspectiva de diseño de producto, el potencial de aplicación de estas ramas no solo se presenta mucho más vasto que a un inicio, sino que también mucho más emocionante.

PROS

PEC

TIVA

DÓNDE ESTAMOS

Adónde vamos

Adónde podemos ir

Quizá el primer paso para poder hipotetizar sobre el futuro es comprender el presente. Esta fase de prospectiva busca analizar el estado de nuestro proyecto y descubrir, a grandes rasgos, los últimos avances en la investigación y aplicación al diseño de productos y servicios de recursos cross-modales en entornos de realidad virtual, aumentada o mixta. Nos centramos especialmente en aquello que se estudia o plantea buscando modificar la percepción del sabor por medio de la alteración de estímulos indirectamente relacionados en entornos virtuales inmersivos.

Respecto a este estudio:

En lo que respecta al estado de nuestra investigación, no hemos sido capaces de probar un efecto cross-modal entre el color de una taza de café y el sabor de este en la realidad virtual que se correspondiera con lo probado en un entorno real. Recalcar, que esto no prueba que tal efecto no exista o no sea probable.

Por un lado, se podrían analizar los datos recabados de forma más específica buscando que emerja algún tipo de relación entre otros factores como la experiencia con VR y la percepción del café. Aunque no forma parte del objetivo de este estudio, podría diseñarse otro estudio que investigara este tipo de relaciones. También, podría realizarse este mismo estudio a mayor escala obteniendo una mayor cantidad de respuestas, y/o aprovechando a implementar algunas de las correcciones o sugerencias propuestas en las conclusiones del estudio de usuario.

Otros estudios sobre la cross-modalidad color-sabor:

De forma algo más específica, somos capaces de encontrar menos estudios que analicen efectos cross-modales con el sabor. De lo hallados y más recientes destacamos los siguientes: en un entorno de realidad mixta controlado, modulando el color y apariencia de una bebida se puede modificar la percepción del sabor de esta, mientras que, de forma inversa, el sabor no parece ejercer influencia sobre la percepción del color (Stäger et al., 2021); basándose en el conocimiento de que el sabor de la comida puede verse alterado por factores del entorno como el emplatado o, incluso, la iluminación del lugar, se ha estudiado este fenómeno en VR probando que la tonalidad de la luz puede llegar a reducir la percepción de dulzor en los alimentos (Cornelio et al., 2022); en un estudio que analizaba el efecto que el tipo de escena virtual podía ejercer en la percepción del sabor de ciertos condimentos concluyeron que "la escena evocadora de calor provocó un aumento en la intensidad del calor y la humedad, y una disminución en la amargura; la escena evocadora de frío aumentó la percepción de dulzura. Los entornos virtuales aumentaron la percepción de dulzura, humedad y amargura en hombres en comparación con mujeres." (Ramos-de-la-Peña et al., 2022).

Encontramos una predominancia de estudios en VR que buscan la relación sabor-color frente a otros como podrían ser sabor-sonido o sabor-textura, por ejemplo. Se deberá, quizá, a la predominancia de estudios similares en la "realidad". Seguidos por estudios de sabor-olor, algo aparentemente más difícil de recrear en realidad virtual donde los HMDs pueden ser un impedimento.

Consideramos destacable que la mayoría de los estudios buscan una correspondencia en realidad virtual con estudios ya realizados y probados en la realidad, tal y como es el caso de este proyecto.

En cuanto a aplicaciones de fenómenos cross-modales en VR, no encontramos nada a nivel comercial. Sin embargo, como se menciona al inicio del proyecto, existen ciertas aplicaciones para el tratamiento de trastornos.

Otros estudios sobre otras cross-modalidades:

Las posibilidades de modificar la percepción de la realidad por medio de cambios en el entorno virtual están presentes en el núcleo de numerosos estudios. Desde generar la ilusión de estar cargando menos peso en el gimnasio al hacer sentadillas mediante la modificación de estímulos visuales y auditivos (Yoshida et al., 2023) o cambiar la sensación de confort ante un viento virtual por medio de estímulos audiovisuales (Ito et al., 2023), hasta estudiar la cross-modalidad como una parte integral más de la multimodalidad en VR (Martín et al., 2022) o, de forma más nuclear, estudiar el efecto del sonido en el visual, comparando una correspondencia entre efectos conocidos en pantallas tradicionales bidimensionales frente a un entorno virtual 3D.

Estado y percepción actual de la realidad virtual:

Y, de una forma más general, hablamos del estado de la realidad virtual. En los últimos años, se ha hecho cada vez más accesible a la par que ha evolucionado tecnológicamente a dispositivos mejor diseñados y con mejores capacidades. Una de estas mejoras a destacar sería la portabilidad. Actualmente uno de los principales problemas que presentan estos dispositivos de realidad virtual, aumentada o mixta, sería la falta de estandarización en la forma de interactuar con ellos. Tanto a nivel de software como de hardware, cada fabricante tiene sus propios controladores y sistemas operativos, haciendo difícil aprender a usarlos y desarrollar aplicaciones para todos ellos.

La percepción social de la realidad virtual ha evolucionado y evoluciona conforme se hace más presente en el día a día. Ya en 2005, Koltko-Rivera advertía la necesidad de tener una actitud proactiva ante los posibles retos psico-sociales que plantearía la introducción de la realidad virtual en la cultura.

Ya, de forma similar a lo ocurrido con los videojuegos (Calleja, 2010) o, en su tiempo, con los libros (Heilman 1975), se considera el riesgo de usar la realidad virtual como una forma de escapismo (Hartl & Berger, 2017). Sería esperable que grupos sociales anticipen una especie de distopía en la que las personas se aíslan en sus dispositivos de realidad virtual y sustituyen las interacciones presenciales por otras telepresenciales, tal y como se plantea en obras de ficción desde hace años (Nordstrom, 2016).

ADÓNDE VAMOS

Adónde podemos ir

Busca entender la realidad virtual a partir de la realidad física:

Si nos referimos a los ejemplos de estudios propuestos en el apartado anterior, se adivina una tendencia a estudiar los efectos cross-modales como recursos, más que como efectos sencillamente sorprendentes. Es a partir de la comprensión de cómo estos efectos suceden en las realidades virtuales, como se pueden llevar luego a aplicaciones útiles como nuevos recursos de diseño. Dada la tendencia a que la realidad virtual se haga cada vez más accesible al público, no hay motivos para creer que se deje de investigar de esta forma. De hecho, parece la forma más lógica de comenzar a comprender esta tecnología, a partir de lo conocido sobre nuestra realidad.

Mayor multimodalidad:

También, en pos de alcanzar una mayor inmersión, podríamos esperar una mayor multimodalidad. La implementación de háptica avanzada, mejores sistemas de calibrado, mejoras en el sonido, etc. Esto aumentaría las posibilidades de investigación de cross-modalidades, incluso con el sabor.

Estandarización del hardware y el software:

En cuanto al estado de la realidad virtual, cabría esperar un avance hacia la estandarización, similar a lo ocurrido con los teléfonos móviles (Proske et al., 2020) conforme se hace más corriente que cada persona tenga su propio set de VR (Raj, et al., 2021). Conforme se hace más accesible la tecnología, mayor es la competencia entre empresas por dominar el mercado. Actualmente existen muchos actores en la competición por ser referentes del

sector VR y cabría esperar la aparición de nuevos con los años.

Riesgos, regulación y fricción:

Parte de la evolución de estas tecnologías irá centrada en potenciar la presencia del usuario en el entorno virtual. Aspecto que parece nuclear en la explicación de por qué estos entornos inmersivos obtienen una mayor respuesta emocional en los usuarios que los recursos multimedia tradicionales, como la televisión (Nikolaou et al., 2022).

Sería esperable una fricción entre entidades reguladoras y empresas desarrolladoras de tecnologías de VR. Existen riesgos físicos, de seguridad, privacidad y comportamiento asociados al uso de dispositivos tan inmersivos (Korolov, 2014) y la creación de leyes que regulen el uso de la realidad virtual es algo casi tan inevitable como complicado (Dremluiga, 2020).

Investigación centrada en los riesgos:

En lo que respecta a las bases para esta potencial legislación, deberán basarse en estudios sobre esta tecnología. Puede ser complicado anticiparse a estos riesgos, ya que hasta que no se comience a normalizar el uso de VR en la sociedad no se contará con suficientes sujetos para el estudio de ciertos riesgos. Un potencial pánico social, ya efervescente en la sociedad y plasmado hace año en la ficción, podría impulsar aún más la necesidad de este tipo de investigaciones.

Dónde estamos

Adónde vamos

ADÓNDE PODEMOS IR

Investigación de posibles cross-modalidades exclusivas de la realidad virtual:

En cuanto a la investigación de efectos cross-modales en la realidad virtual, existen variables o recursos únicos de la realidad virtual que podrían estudiarse para averiguar si una modulación de estos puede ejercer un efecto cross-modal sobre el sabor (o infinitos otros rasgos). A continuación, algunos de los rasgos exclusivos de VR (o que resultarían mucho más fáciles de modular virtualmente) que hemos podido encontrar:

1. Tasa de refresco de la pantalla.
2. Campo de visión (FOV).
3. Nivel de interactividad con el entorno.
4. Escala del entorno respecto del usuario.
5. Implementación de háptica avanzada.
6. Estilo visual del entorno y los elementos.
7. Viabilidad de la experiencia.
8. Congruencia e incongruencia entre estímulos.
9. Nivel de realismo.
10. Tiempo de exposición al entorno virtual.
11. Cambios en el entorno.
12. Sensación de riesgo.
13. Nivel de inmersión.
14. Precisión en el calibrado.

Es muy probable que existan más variables además de las listadas, pero esperamos que sirva esto de ejemplo para ilustrar lo vasto que puede ser este campo de investigación. Conforme pase el tiempo y la tecnología avance cabría esperar la aparición de nuevos recursos y, quizá, la estandarización de otros.

Un lenguaje propio y semiótica en VR:

Asumiendo que se alcanzará cierta estandarización, apostaríamos por realizar esfuerzos hacia definir un lenguaje, más o menos, único y universal para los entornos virtuales inmersivos. Esta semiótica de los elementos que conformen las futuras realidades virtuales, aumentadas y/o mixtas se moldearía a partir tanto de la intención de los diseñadores de experiencias y productos como de todo un contexto sociocultural, más difícil de controlar (Chandler, 2022). Al igual que es universalmente reconocido el funcionamiento de un ratón de ordenador y que un signo en forma de "x" en las esquinas superiores derecha o izquierda de la pantalla significa la posibilidad de, pulsando el botón izquierdo del ratón, poder cerrar dicha pantalla, esperamos que se realice un trabajo hacia la unificación de signos con los que interactuar en las experiencias virtuales inmersivas.

Si continuasen las investigaciones sobre las posibles cross-modalidades, no solo de los recursos traducibles del entorno físico al virtual, sino también en la línea de lo propuesto en el párrafo anterior, los recursos sinestésicos podrían conformar parte de este lenguaje y servir como herramientas para el diseño de experiencias inmersivas donde la comunicación diseñador-usuario sea mucho más sutil o subliminal.

Herramientas o sistemas de retículas para el diseño de experiencias y productos virtuales e inmersivos:

Continuando con lo propuesto en el bloque anterior, apostaríamos por llegar un paso más allá y diseñar una especie de diccionario para este lenguaje de realidad virtual, que sirviera como “caja de herramientas” para el diseño de experiencias virtuales inmersivas. Este diccionario podría tomar la forma de sistema de retículas (Manchado-Pérez & Berges-Muro, 2013), una forma de desglosar todas las variables a disposición del diseñador para conformar el producto o experiencia final, comprendiendo el significado en términos semióticos de cada uno de ellos y las interacciones entre ellos. Este desglose se puede hacer tan al detalle como se desee y debe servir como guía para un diseño consciente.

Figura 20

Listado de retículas del sistema genérico propuesto por Manchado-Pérez & Berges-Muro (2013) para el diseño de producto. Como indican, puede ser ampliado, modificado o reducido para adecuarlo a cada producto.

- Morfológicas
- De interfaz
- Funcionales
- De entorno
- Sonoras
- Olfativas y gustativas
- Antropométricas
- Biomecánicas
- Tecnológicas
- De prestaciones
- De lenguaje
- De servicios
- Medioambientales
- De estrategia productiva

Tomando como ejemplo el efecto sinestésico estudiado en este proyecto, si se probase una correlación entre el color de una taza y la percepción del sabor del café, una variable de este sistema de retículas sería el color de la taza y se modularía este

color para alinearlo con el propósito del diseño. Por ejemplo, si el objetivo fuese que el usuario experimentara el café como más amargo, se definiría la variable “color de taza” como blanco (suponiendo que este es el efecto que se demuestra que tiene). En un sistema mucho más completo donde se contempla el efecto de modular todas las variables del diseño de experiencias en VR, por ejemplo, se alinearían estos recursos para potenciar el amargor del café.

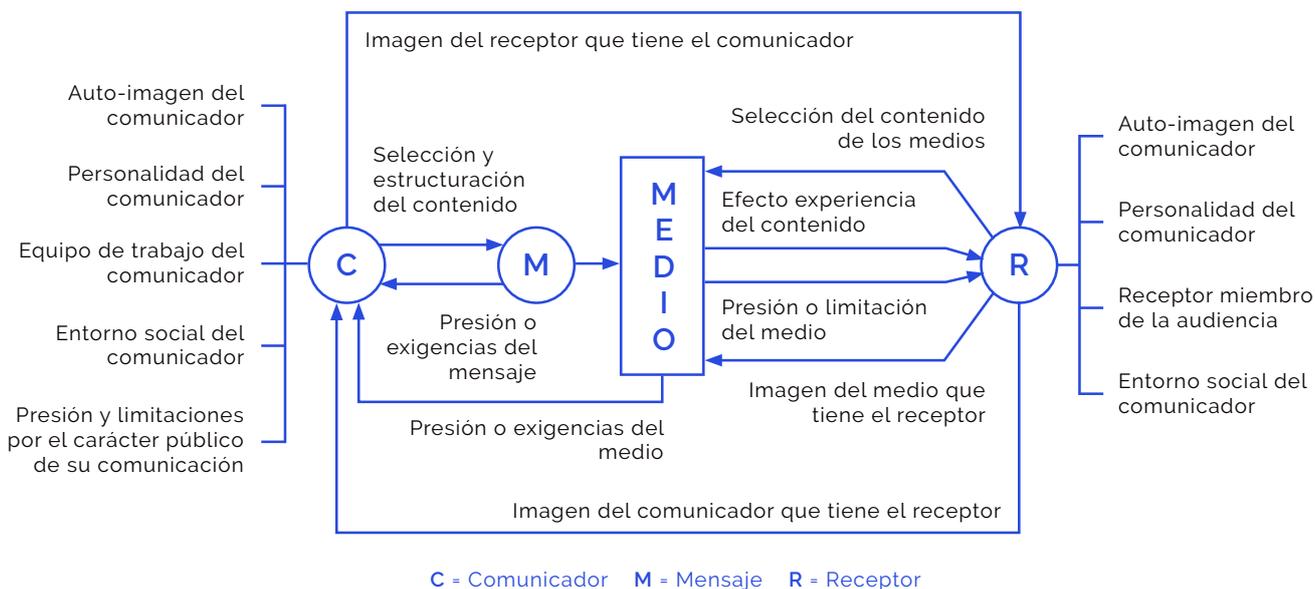
Otro ejemplo más claro (pero no por ello menos complejo) sería el redirigir la atención del usuario a un punto de interés. Podrían modularse multitud de recursos para potenciar la saliencia de ese punto. Por ejemplo: el sonido —que se descompondría a su vez en el timbre, intensidad, frecuencia, origen en el espacio virtual, etc—; la luz; el movimiento; apariencia de los elementos interactivos; proposición de tareas (Rothe & Hußmann, 2018) (Veas, 2011) (Sutton, 2022); un largo etcétera que anticipamos crecerá conforme se vaya comprendiendo mejor la interacción del usuario con estos entornos.

De probarse la capacidad de modular estos recursos para redirigir la atención de una forma efectiva, se podría configurar un sistema extremadamente complejo donde todo se alinee holísticamente para definir cada aspecto de la experiencia. Podría integrar partes de diseño de producto para los elementos interactivos, y diseño de espacios y ambiente para comprender la forma de navegar el entorno del usuario, con la complejidad de cada una de estas ramas y el añadido de las posibles formas de interactuar con el espacio virtual que tendrá el usuario (que quizá ya no esté limitado a andar, pueda ver más elementos a la vez, pueda modificar el entorno a su gusto, etc.).

Hacemos esta propuesta desde un punto de vista semiótico, donde consideramos la comunicación como algo muy complejo en el que diseñador, entorno y usuario interactúan entre sí multidireccionalmente. Un sistema envuelto en un contexto difícil de controlar con diferentes usuarios, de di-

Figura 21

Diagrama del modelo de comunicación completo de Maletzke que refleja la complejidad de la comunicación considerando la influencia entre todas las partes de la interacción. Proponemos este modelo por ser muy reminiscente del proceso de diseño, donde el comunicador ha de tener en cuenta las limitaciones de todos los elementos a la hora de construir los mensajes.



ferentes culturas, con diferente nivel de conocimiento sobre el uso de la realidad virtual, diferentes antecedentes, etc., y los cuáles pueden llegar a interactuar a su vez entre sí, si hablamos de experiencias virtuales cooperativas.

Un modelo de la comunicación que se podría asemejar a lo comentado sería el modelo de comunicación completo de Maletzke (Aguado, 2004), donde el comunicador estructura su mensaje (modula cierto rasgo de ese sistema reticular) de acuerdo a los rasgos y/o limitación del propio mensaje, medio y receptor, complejos cada uno de por sí.

Quedaría quizá reflejar que cuando se crean entornos complejos (como un videojuego), se suelen diseñar como sistemas que deben responder también a los *inputs* del jugador, convirtiendo este modelo de comunicación en algo más cíclico, donde usuario y sistema comunican y responden entre sí.

Una forma muy simplificada de representar este sistema sería una modificación del modelo de la comunicación de Jakobson, en la que receptor y emisor intercambian mensajes.

Figura 22

Modelo de la comunicación de Jakobson modificado para reflejar la relación entre el primer emisor y el primer receptor: una interacción constante en la que el sistema ha de emitir y responder.



Posibles futuras aplicaciones de los recursos sinestésicos al diseño de productos y experiencias de realidad virtual:

Ya en el presente encontramos ejemplos, no comerciales, de aplicaciones de recursos sinestésicos de realidad virtual con fines principalmente de investigación. Esperamos la aplicación de los recursos que se vayan descubriendo y controlando a ámbitos como el entretenimiento, la sanidad, la educación, la comunicación, etc. Algo por lo que seguro destacarán las aplicaciones cross-modales será por la capacidad de modificar la saliencia de los elementos del entorno de una forma poco invasiva o evidente.

CONCLU SIONES

ANÁLISIS DEL PROYECTO

Reflexiones

Este Trabajo de Fin de Grado tenía como objetivo traducir un experimento sobre la sinestesia entre color y sabor, a la realidad virtual, buscando explorar las posibilidades que ofrece el diseño cross-modal a la hora de crear entornos virtuales inmersivos y estudios de usuario en ellos.

Aunque se planteó con la expectativa de poder afirmar una correlación entre el experimento original y nuestra versión en VR, se han obtenido resultados poco concluyentes. Frente a lo frustrante que pudo ser no encontrar esa correspondencia, considérese este proyecto y, en concreto, el estudio de usuario, como una aportación a los ámbitos de investigación sobre percepción, cross-modalidad y sinestesia, y realidad virtual. Y, ojalá, aporte valor a futuras investigaciones sobre diseño sinestésico en VR.

Otra propuesta a futuro, ya mencionada en las conclusiones del estudio de usuario, es la modificación de las condiciones del experimento en pos de averiguar un mejor método de adaptación de este y otros estudios a la realidad virtual. En lo que respecta a este trabajo, quizá haber podido ejecutar una segunda versión del experimento habría arrojado más información sobre ello.

Respecto a la aplicabilidad —en cuanto al diseño de productos o experiencias virtuales que incorporen el recurso cross-modal entre color y sabor estudiado—, consideramos que todavía se conoce demasiado poco sobre el tema y que se precisaría un estudio y testeo minucioso para poder implementarlo a nivel comercial, educativo, médico, etc.

Las fases de investigación inicial y prospectiva ofrecen una visión global del estado de la realidad virtual, la tendencia de esta tecnología y un futuro en el que se desarrolla positivamente. No se profundiza en los riesgos ni se define un futuro distópico, pues no se considera relevante en este proyecto y escaparía del alcance. Sin embargo, se quiere señalar que la realidad virtual, aumentada y mixta plantean retos profundos a muchos niveles que, en investigaciones más exhaustivas, no se deberían pasar por alto.

Por último, recalcar las muchísimas posibilidades de investigación en torno al tema del proyecto. Se querría incitar a una exploración de la cross-modalidad color-sabor, o cualquier otra, en realidad virtual, y desde una perspectiva de interacción y/o semiótica. Las formas de comunicarse entre el usuario y el entorno virtual se plantean infinitas y, conforme vaya evolucionando el medio, los recursos de diseño de experiencias inmersivas se irán definiendo. Siempre y cuando se siga explorando e investigando.

REFLEXIONES

Desde un inicio, incluso en la fase de exploración de los posibles temas a tratar, mi director señaló que estaba siendo demasiado ambicioso. Las primeras propuestas eran proyectos pensados casi para cambiar el mundo o, al menos, el mundo de la realidad virtual. Durante el proyecto me he adentrado en algunos de esos ámbitos que estaba dispuesto a revolucionar (la realidad virtual, la interacción, la semiótica aplicada a VR...) y he podido ver lo vastos y profundos que son. Revisando lo realizado y siendo ahora consciente de lo muchísimo que me queda por aprender y explorar, agradezco sinceramente que se haya esforzado en "bajarme a la Tierra" para que no me viera sobrepasado por un proyecto absurdamente ambicioso. Y, aunque a veces pueda haber expresado ideas demasiado grandilocuentes o haya sido muy categórico en presentar ciertas conclusiones, ahora soy mucho más consciente del trabajo que lleva la investigación y el desarrollo. Vaya, quería empezar la casa por el tejado y lo que había que hacer era poner un par de ladrillos (¡que no es poco!).

En cuanto a dificultades, he de destacar lo complicado que ha sido retomar el proyecto una vez comencé a trabajar en mi empresa actual. Después del parón de verano tras el primer bloque de trabajo, me fue muy complicado volver a gestionar el proyecto igual de bien que al principio e, incluso, sentir la motivación por realizarlo. Por suerte, cuando lo retomé para el segundo bloque, habiendo organizado mejor los horarios de trabajo, esa motivación volvió y aún permanece.

Y es que, he descubierto cierto interés por la investigación y he reafirmado mi pasión por las nuevas tecnologías, la interacción y la semiótica. Ojalá pueda seguir explorando y aprendiendo sobre ello (aunque me pase de ambicioso).

He de admitir que a nivel personal y en general, estoy contento con mi ejecución del proyecto y orgulloso de los resultados.

Más allá de no haber dado con los resultados que uno hubiera deseado, he aprendido la importancia de las pruebas "fallidas" (que no son fallidas sino un paso más en la investigación). He sido capaz de investigar un campo del que aún se conoce muy poco. He recreado una sala de mi universidad desde cero en un entorno virtual que luego he podido experimentar en VR. He llevado a cabo un estudio de usuario y sus sesiones de experimentos. He trabajado con datos y he sacado conclusiones útiles de los análisis estadísticos. Y he realizado un pequeño trabajo prospectivo que me ha permitido pensar un poco más a lo grande y plantear un futuro del diseño cross-modal en realidad virtual del que me encantaría formar parte.

Por último, me gustaría dar las gracias de nuevo a mi tutor, Diego, por haberme guiado en el proyecto y por su paciencia, a Raquel Navarro por su ayuda en el primer bloque del proyecto, y a todos los compañeros del Graphics and Imaging Lab con los que he podido conversar, de los que he podido aprender, y que incluso se ofrecieron a participar del estudio. Especial mención a Ana Serrano por su ayuda en la parte estadística y a Sandra Malpica por su ayuda con el calibrado en VR.

BIBLIO GRAFÍA

Aguado, J. M. (2004). Introducción a las teorías de la información y la comunicación.

Brang, D., & Ramachandran, V. S. (2011). Survival of the synesthesia gene: Why do people hear colors and taste words?. *PLoS biology*, 9(11), e1001205.

Calleja, G. (2010). Digital games and escapism. *Games and Culture*, 5(4), 335-353.

Chandler, D. (2022). *Semiotics: the basics*. Routledge.

Cornelio, P., Dawes, C., Maggioni, E., Bernardo, F., Schwalk, M., Mai, M., ... & Obrist, M. (2022). Virtually tasty: An investigation of the effect of ambient lighting and 3D-shaped taste stimuli on taste perception in virtual reality. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30, 100626.

Dremluga, R., Dremluga, O., & Iakovenko, A. (2020). Virtual reality: general issues of legal regulation. *J. Pol. & L.*, 13, 75.

Flavián, C., Ibáñez-Sánchez, S., & Orús, C. (2021). The influence of scent on virtual reality experiences: The role of aroma-content congruence. *Journal of Business Research*, 123, 289-301.

Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological medicine*, 47(14), 2393-2400.

GlobalData Technology. (29 de enero de 2020). History of virtual reality: Timeline. *Verdict*. <https://www.verdict.co.uk/history-virtual-reality-timeline/>

Grabarczyk, P., & Pokropski, M. (2016). Perception of affordances and experience of presence in virtual reality. *AVANT. Trends in Interdisciplinary Studies*.

Hartl, E., & Berger, B. (2017). Escaping reality: examining the role of presence and escapism in user adoption of virtual reality glasses.

Haverkamp, M. (2012). *Synesthetic design: Handbook for a multi-sensory approach*. Walter de Gruyter

Heilman, R. B. (1975). Escape and escapism varieties of literary experience. *The Sewanee Review*, 83(3), 439-458.

Higgins, M. J., & Hayes, J. E. (2019). Learned color taste associations in a repeated brief exposure paradigm. *Food Quality and Preference*, 71, 354-365.

Ito, K., Hosoi, J., Ban, Y., Kikuchi, T., Nakagawa, K., Kitagawa, H., ... & Warisawa, S. I. (2023, March). Wind comfort and emotion can be changed by the cross-modal presentation of audio-visual stimuli of indoor and outdoor environments. In *2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 215-225). IEEE.

Kim, H., & Lee, I. K. (2022). Studying the effects of congruence of auditory and visual stimuli on virtual reality experiences. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(5), 2080-2090.

Koltko-Rivera, M. E. (2005). The potential societal impact of virtual reality. *Advances in virtual environments technology: Musings on design, evaluation, and applications*, 9.

Korolov, M. (2014). The real risks of virtual reality. *Risk Management*, 61(8), 20-24.

Linde. (27 de diciembre de 2021). The evolution of modern virtual reality headsets. Linde 2022. <https://vr.linde.com/2021/12/27/the-evolution-of-modern-virtual-reality/>

Malpica, S., Serrano, A., Allue, M., Bedia, M. G., & Masia, B. (2020). Crossmodal perception in virtual reality. *Multimedia Tools and Applications*, 79, 3311-3331.

Manchado-Pérez, E., & Berges-Muro, L. (2013). Sistemas de retículas: Un método para diseñar nuevos conceptos de producto hacia el usuario. *Dyna*, 80(181), 16-24.

Martin, D., Malpica, S., Gutierrez, D., Masia, B., & Serrano, A. (2022). Multimodality in VR: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(10s), 1-36.

- Milan, E., Iborra, O., de Cordoba, M., Juarez-Ramos, V., Artacho, M. R., & Rubio, J. L. (2013). The Kiki-Bouba effect A case of personification and ideasthesia. *Journal of Consciousness Studies*, 20(1-2), 84-102.
- Nikolaou, A., Schwabe, A., & Boomgaarden, H. (2022). Changing social attitudes with virtual reality: a systematic review and meta-analysis. *Annals of the International Communication Association*, 46(1), 30-61.
- Nordstrom, J. (2016). "A Pleasant Place for the World to Hide": Exploring Themes of Utopian Play in Ready Player One. *Interdisciplinary Literary Studies*, 18(2), 238-256.
- Proske, M., Poppe, E., & Jaeger-Erben, M. (2020). „The smartphone evolution-an analysis of the design evolution and environmental impact of smartphones “. *Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration*.
- Raj, N., Singh, T., Kumar, A., & Gupta, K. (2021). AR & VR-Evolution and the Future. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 12(6).
- Ramos-de-la-Peña, A. M., Aguilar, O., & González-Valdez, J. (2022). Virtual reality immersion: Taste and texture changes for identical samples of two common condiments. *Chemosensory Perception*, 15(2), 87-94.
- Ratcliffe, J., Soave, F., Hoover, M., Ortega, F. R., Bryan-Kinns, N., Tokarchuk, L., & Farkhatdinov, I. (2021, May). Remote XR studies: exploring three key challenges of remote XR experimentation. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-4).
- Rothe, S., & Hußmann, H. (2018). Guiding the viewer in cinematic virtual reality by diegetic cues. In *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics: 5th International Conference, AVR 2018, Otranto, Italy, June 24–27, 2018, Proceedings, Part I 5* (pp. 101-117). Springer International Publishing.
- Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British journal of psychology*, 109(3), 431-433.
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Spence, C., Wan, X., Woods, A., Velasco, C., Deng, J., Youssef, J., & Deroy, O. (2015). On tasty colours and colourful tastes? Assessing, explaining, and utilizing crossmodal correspondences between colours and basic tastes. *Flavour*, 4, 1-17.
- Stäger, L., Roel Lesur, M., & Lenggenhager, B. (2021). What am I drinking? Vision modulates the perceived flavor of drinks, but no evidence of flavor altering color perception in a mixed reality paradigm. *Frontiers in Psychology*, 12, 641069.
- Sutton, J., Langlotz, T., Plopski, A., Zollmann, S., Itoh, Y., & Regenbrecht, H. (2022, October). Look over there! investigating saliency modulation for visual guidance with augmented reality glasses. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 1-15).
- Valve. (2020). *Half-Life: Alyx* [Videojuego]. Valve.
- Van Doorn, G. H., Wüillemin, D., & Spence, C. (2014). Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?. *Flavour*, 3, 1-7.
- Veas, E. E., Mendez, E., Feiner, S. K., & Schmalstieg, D. (2011, May). Directing attention and influencing memory with visual saliency modulation. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1471-1480).
- Wan, X., Woods, A. T., van den Bosch, J. J., McKenzie, K. J., Velasco, C., & Spence, C. (2014). Cross-cultural differences in crossmodal correspondences between basic tastes and visual features. *Frontiers in psychology*, 5, 1365.
- Weber, S., Weibel, D., & Mast, F. W. (2021). How to get there when you are there already? Defining presence in virtual reality and the importance of perceived realism. *Frontiers in psychology*, 12, 628298.
- Yoshida, A., Ayedoun, E., & Tokumaru, M. (2023). Leveraging Cross-Modal Effects to Support Squat Exercise. In *International Symposium on Affective Science and Engineering ISASE2023* (pp. 1-3). Japan Society of Kansei Engineering.

**Experimentación y adaptación de recursos sinestésicos
para el diseño de experiencias en VR.**

Autor

Gonzalo Magallón Isla

Director

Diego Gutiérrez Pérez

Titulación del autor

**Ingeniería en Diseño Industrial
y Desarrollo de Producto**

2024

MEMORIA