

# **Simulación computacional VR como método de evaluación pre-Ocupacional (PREOE): contraste entre el supuesto virtual y la realidad construida.**

**Estudiante:** Javier Ignacio Ochoa García

**Profesor guía:** Mauricio Loyola

*Universidad de Chile - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - 2023*

## **Resumen**

Es importante que las propiedades de un modelo de realidad virtual (VR) respalden su propósito en el contexto específico en el que se utiliza. En esta investigación se hace una comparación directa entre el comportamiento de los habitantes en el entorno virtual en contraste con el entorno físico de un edificio construido. Los elementos principales del método son el uso de lentes de realidad virtual junto a herramientas computacionales de registro en tiempo real para el entorno virtual, y la utilización de cámaras de video para el registro de comportamiento en el entorno físico. El método evalúa en una serie de métodos de estudio que abarcan distintos comportamientos de los habitantes de un edificio, estos métodos son: "Wayfinding" (*Comportamiento de orientación -en inglés*), Method of choice (*Método de decisión -en inglés*) y Señalamiento. Los resultados demostraron que el método Pre-ocupacional funciona, pero que pequeñas diferencias entre el modelo virtual y el edificio construido pueden traer diferencias sustanciales en el comportamiento de los habitantes de ambos entornos.

**Palabras clave:** Evaluación Pre-Ocupacional (PREOE), Evaluación Pos-Ocupacional (POE), Realidad Virtual, Wayfinding, Señalamiento, Método de decisión.

## 1. Introducción

De acuerdo con Loyola (2020), frecuentemente los ocupantes de los edificios diseñados por los arquitectos no son utilizados como fueron planeados en primer lugar, por lo que, como regla general, estos resultados se pueden analizar solo cuando el edificio ha sido construido. Esta diferencia entre lo que se diseña y cómo se utiliza realmente, el espacio diseñado recae en problemas concretos de eficiencia dentro de las instalaciones, como, por ejemplo, áreas pequeñas utilizadas por más personas de las esperadas, los problemas de los retrasos en los aeropuertos y pasajeros que pierden vuelos debido a un comportamiento de orientación (Wayfinding) ineficaz, uso de luces en espacios deshabitados, entre otros ejemplos.

La piedra angular del problema no yace en la falta de experiencia, creatividad o interés por parte de los proyectistas, sino que es muy difícil predecir el comportamiento humano. Se ha intentado solucionar este problema mediante el desarrollo tecnológico de aparatos que puedan medir y calcular en tiempo real los problemas de diseño después de la construcción del edificio (Post-Occupancy Evaluation o POE), empleando remodelaciones constantes e instalaciones de equipos de eficiencia energética que permiten mejorar los problemas que aparecieron una vez el edificio es habitado, lo que recae en gastos no esperados o vagamente explicados en los presupuestos originales del edificio.

Además de este tipo de evaluaciones, se han hecho estudios de métodos para simular el comportamiento humano abordando el problema previamente a la construcción del edificio (Pre-Occupancy Evaluation o PREOE), ejemplos de esto son estudios basados en el desarrollo de inteligencia artificial a través de agentes virtuales en modelos BIM (Gath-Morad, Aguilar, Dalton, & Hölscher, 2020) los cuales resultan insuficientes al intentar predecir comportamiento humano aún con los avances actuales en desarrollo y programación de inteligencia artificial, y además no presentan contrastes con la vida real que puedan arrojar resultados concretos, sino que se mantienen en supuesto virtual, además hay muy pocos estudios en esta área que hayan validado este supuesto básico, y aún menos que hayan presentado una comparación directa entre el uso del edificio virtual y el real. (Ewart & Johnson, 2021)

Si el uso del método Pre-Ocupacional basado en Realidad virtual (VR) contempla elementos **virtuales y reales**, entonces puede ser utilizado como una herramienta más certera al determinar el comportamiento de los usuarios de un edificio antes de que este sea construido.

**Objetivo general:** Comprobar el uso del método Pre-Ocupacional basado en Realidad Virtual en un espacio virtual con el uso real del mismo.

### **Objetivos específicos:**

- Extraer información cuantificable del comportamiento de personas dentro del modelo virtual BIM.
- Analizar el habitar de los usuarios dentro de instalaciones reales de un edificio.
- Contrastar el comportamiento humano en torno a Realidad Virtual con el comportamiento y uso del edificio real.

## 2. Antecedentes

Los investigadores del diseño sostenible han mostrado un creciente interés en comprender y medir cómo los ocupantes perciben el entorno construido, por lo que distintos investigadores proponen los métodos de evaluaciones de edificios antes y después de su uso como manera de buscar una real sostenibilidad en los edificios. Para buscar esta eficiencia energética y sostenibilidad se plantea que es necesario llevar a cabo evaluaciones antes y después de la ocupación del mismo edificio para recoger información oportuna sobre los factores de calidad ambiental interior (IEQ) y examinar su impacto en el entorno construido. La continua retroalimentación, incluyendo métodos pre ocupacionales (PREOE) y pos ocupacionales (POE) ofrecen una gran oportunidad para el crecimiento y el cambio en el área del diseño sostenible, ya que estos desafían la co-evolución y auto organización de todos los sistemas a lo largo del ciclo de vida de un edificio (Asojo, Vo, & Bae, 2021).

Reckermann (2008) propone que para co-crear satisfactoriamente experiencias para y con los habitantes y permitir que un sistema vivo evolucione para mayores potenciales, los flujos continuos de información pueden promover el aprendizaje y crecimiento para nosotros como humanos y para los sistemas más grandes en los que estamos integrados. Sin embargo, típicamente, los procesos de retroalimentación que apoyan la evolución de los sistemas son a menudo perdidos. Los métodos de evaluación pre-ocupacional que se realizan con poca frecuencia tienen lugar antes de que se construya el edificio ocupado pueden llevarse a cabo por varias razones y en varias etapas antes de la ocupación del edificio en función de su función. Los objetivos incluyen la optimización del espacio para obtener comentarios de los habitantes antes del diseño puede mejorar el diseño del edificio y reducir las posibles fuentes de descontento. Para esto, se pueden utilizar los métodos PREOP en diversas etapas de la fase de diseño de un edificio, desde la misma idea y planimetría en 2D hasta un proyecto con meses de trabajo y modelos BIM con grandes avances.

En el experimento realizado por Hermund, Klint, Bundgaard (2019), se realizó una comparación entre un espacio arquitectónico espacio comunicado como el propio espacio y sus dos representaciones diferentes, es decir un modelo de realidad virtual y los dibujos tradicionales de planta y sección (fig.1). Utilizando la tecnología de seguimiento ocular en combinación con cuestionarios cualitativos, se investigó un caso de estudio de un espacio arquitectónico en la realidad física, un modelo de realidad virtual 3D BIM y, por último, mediante la representación del espacio en planos y secciones. En este estudio, los resultados mostraron que el escenario de realidad virtual parece más cercano a la realidad que la experiencia del mismo espacio experimentada a través de dibujos de planos y secciones.

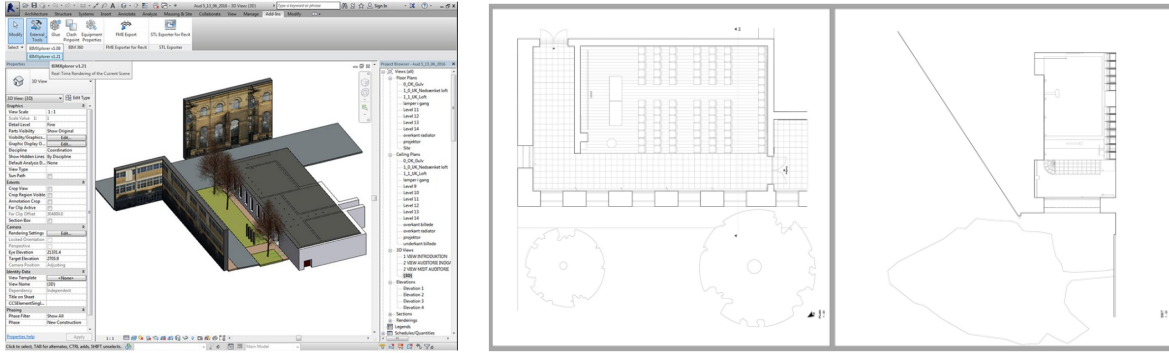


Figura 1. Comparación de modelo virtual -a la izquierda- con representaciones 2D -a la derecha-. (Hermund, Klint, Bundgaard, & Bjørnson-Langen, 2019)

En el estudio de Westerdahl, Sunseon, Wernemyr, Roupé, Johansson y Alwood (2005) se realiza un experimento en dos partes, en una primera instancia se compara el comportamiento de los participantes dentro de un modelo virtual en dos ambientes, uno dentro y otro fuera del edificio (ambos en realidad virtual). Como resultado, existieron correlaciones significativas que indican que las experiencias de los habitantes en las diferentes partes del modelo fueron parecidas dentro y fuera del edificio en un entorno virtual. Para la segunda parte del experimento, se realizó una comparación entre el mismo interior del edificio virtual, pero esta vez en contraste con el mismo diseño en la vida real (fig.2). En esta segunda parte del experimento los resultados fueron distintos a la primera parte, el comportamiento y percepción de el interior fue distinto en ambos entornos, demostrando que existen diferencias en comportamiento entre quienes habitan un edificio habiendo experimentado su interior en VR de antemano antes de la vida real, que los participantes que visitaron el entorno real sin haber visto el entrono virtual de anteriormente. Se concluye en este experimento que la experiencia VR afecta la experiencia en el edificio real, además de que las diferencias en el comportamiento de los mismos participantes en realidad virtual están condicionadas a su experiencia y cercanía con computadoras.



Figura 2. Ejemplos de modelos de entorno real -a la izquierda- y entorno físico -a la derecha- de un mismo edificio utilizado en el experimento. (Westerdahl, et al., 2006)

Tomando en consideración los últimos avances en realidad virtual (RV) que se extienden hacia los sectores de estudio de comportamiento humano como herramienta para probar y predecir los comportamientos de los ocupantes de los edificios en el área de la arquitectura, hay muy pocos estudios en esta área que hayan validado este supuesto básico, y aún menos que hayan presentado una comparación directa entre el uso del edificio virtual y el real. Debido a los últimos avances tecnológicos en torno a artículos de realidad aumentada y desarrollo de software gráfico en torno a los mismos, se refleja que el estudio pre-ocupacional de edificios con realidad aumentada y espacios públicos presenta una prometedora forma de reducir la brecha existente en la predicción entre diseño de espacios y su utilización real, puede potenciar la eficacia con la que se diseñan las funciones de los espacios, así como también conceptos de eficiencia energética, tiempo con el que las personas se desempeñan en instalaciones tanto en edificios únicos como el espacio público entre otras aristas del comportamiento humano con el entorno construido.

### 3. Métodos

Para realizar una comparación del comportamiento de habitantes entre el espacio virtual y físico, fue realizado un estudio en forma de experimento de dos fases. La primera fase consiste en el desarrollo de un entorno virtual de un edificio existente y el desarrollo de herramientas de lectura de usuario para registrar el comportamiento de los participantes dentro de este mismo entorno, esta fase fue denominada “Fase Virtual”. La segunda fase consiste en registrar el comportamiento de los participantes utilizando herramientas de observación en la realidad física, denominada “Fase Física”. Finalmente se extraen los resultados de ambas fases para establecer una comparación bajo los mismos criterios con el fin de extraer conclusiones acerca de sus similitudes y sus diferencias.

El enfoque de estas dos fases es extraer información del comportamiento de los participantes bajo tres módulos de estudio: “Wayfinding” (*“orientación” -en inglés*) y Método de decisión (*“Method of choice -en inglés*) y Señalamiento. Wayfinding consiste en que los participantes deben encontrar un elemento del edificio caminando para alcanzar su objetivo, el Método de decisión consiste en que los participantes deben decidir con acciones qué decisión tomar, en este caso en particular que acceso escogieron. Por último, el método de señalamiento consiste en que deben señalar un lugar del edificio en el cual les interesaría realizar una acción (por ejemplo, sentarse, esperar, comer, esparcimiento, etc.)

Para la ejecución del experimento se utilizó un universo de participantes de **28** personas en el edificio de Diseño de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Los participantes eran personas que no conocían las instalaciones del edificio ni física ni virtualmente, su total desconocimiento fue crucial para la recolección de información. Todos los participantes debieron realizar ambas fases del experimento (la virtual y la física), pero no necesariamente en ese orden. A la primera mitad de participantes **-14** en este caso- se les pidió realizar primero la fase física y después la virtual, a este grupo de participantes lo llamamos “**Grupo A**”, la mitad restante de participantes realizaron primero la fase virtual y después la física, este grupo lo llamamos “**Grupo B**”.

Para poder acercar las tareas de las fases a los participantes, las instrucciones fueron dadas en torno a un relato con el cual los participantes debían escuchar y seguir. Este relato estaba relacionado con las tareas que debieron cumplir. A continuación, se presenta cada módulo de estudio y sus tareas específicas en forma de relato:

### **Primera tarea (Wayfinding):**

En esta tarea se le pide al participante que se dirija hacia los baños del edificio (fig.3). Se le entrega información en forma de relato de la siguiente manera: - *“Ahora mismo te encuentras en el Ágora de la universidad. Tu primera misión es encontrar los baños en el edificio que tienes a tu izquierda.”*

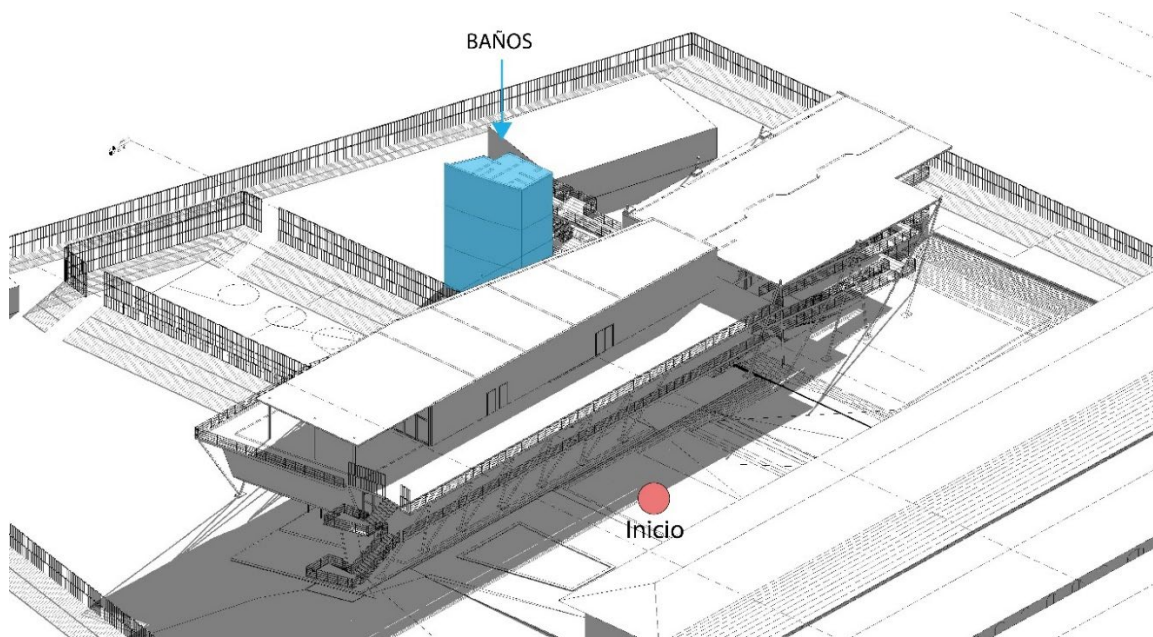


Figura 3. Elaboración propia. Primera tarea: “Encontrar los baños”.

### **Segunda tarea (Método de decisión):**

En esta tarea se le pide al participante que se dirija hacia una persona que se encuentra en el segundo piso del edificio, en este caso, debe escoger la rampa o alguna escalera como acceso principal (fig. 4). Se le entrega información en forma de relato de la siguiente manera: - *“Un amigo te está pidiendo que lo ayudes a llevar sus materiales a su casa después de clases. Está esperando por ti en el segundo piso del edificio a tu izquierda, justo frente a su sala de clases. Tiene forma de maniquí. ¡No lo hagas esperar!”*

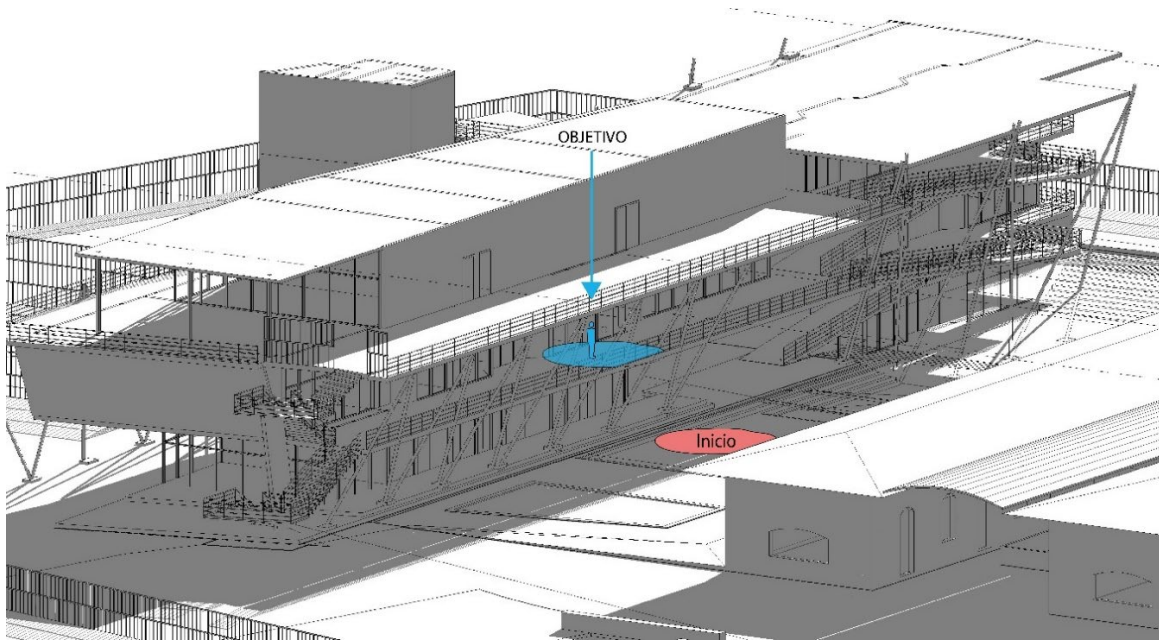


Figura 4. Elaboración propia. Segunda tarea: “Acceder al segundo piso”.

### **Tercera y cuarta tarea (Señalamiento):**

En esta tarea se le pide al participante que escoja dos lugares frente al edificio, uno en el que quiera sentarse y otro en el que no le gustaría sentarse (fig. 5). Se le entrega información en forma de relato de la siguiente manera: - “*¡Tu amigo se ha olvidado que tenía una reunión con su profesor! Ha vuelto a la sala para una corrección rápida en su último proyecto de seminario de título. Debes esperar unos 20 minutos para que finalmente vayan juntos a su casa. Debes escoger un lugar donde te gustaría esperar sentado/a y uno en el cual no te gustaría. Puede ser donde quieras, ya sea en algún asiento o en los escalones de piedra, ¡donde quieras y estimes conveniente!*”

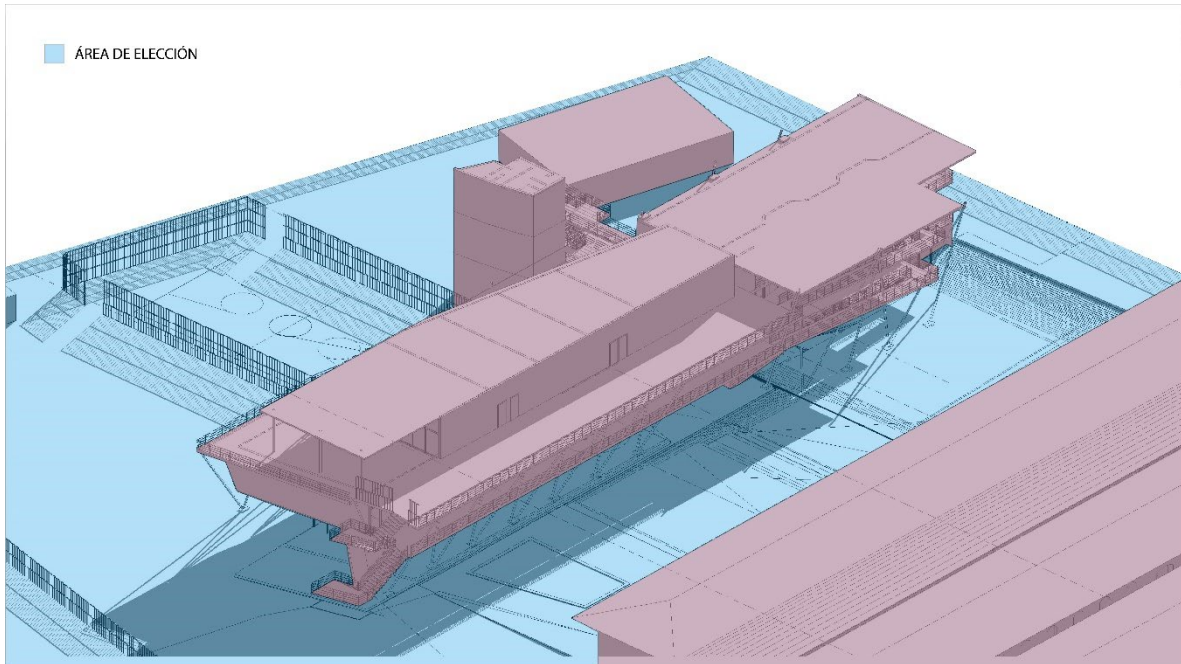


Figura 5. Elaboración propia. Zona en azul refleja el área de elección.

### 3.1. Fase Física

En esta fase se les pide a los participantes que cumplan con los módulos de estudio a través del edificio en el entorno físico. El experimento fue conducido por un evaluador quien se colocó en el punto inicial al comienzo de cada prueba (fig. 6), además fue él mismo quien relató cada tarea en forma de relato como fue estipulado en los módulos iniciales. El edificio estuvo deshabitado y al ser un edificio de carácter educacional se realizó el experimento un día donde la facultad estaba cerrada. Los participantes pasaron uno a uno, donde se les entregó la información para que cumplieran sus tareas sin límite de tiempo, el evaluador sólo relató la tarea al comienzo de cada módulo de estudio.

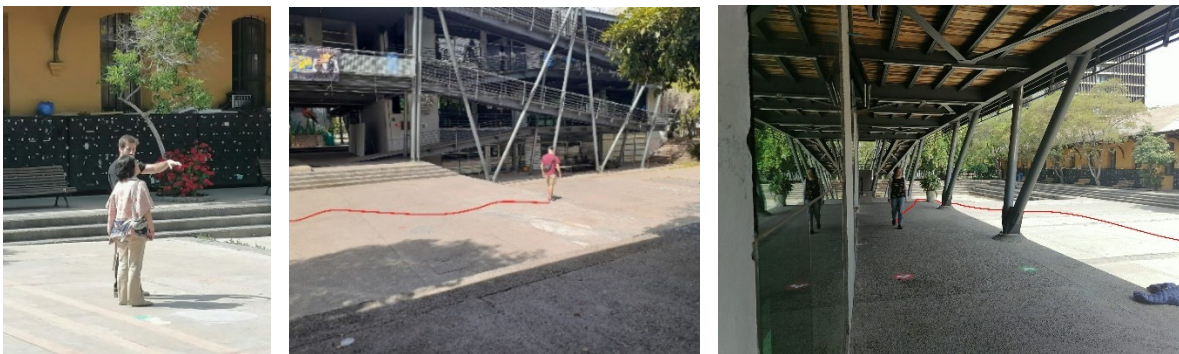


Figura 6,7,8 de izquierda a derecha. Elaboración propia. Registro de participantes realizando tareas en fase física.



El recorrido de los participantes fue grabado en su totalidad, con una cámara 360 en la primera planta (fig. 9) y otro evaluador con una cámara de mano en el segundo nivel (fig. 10). Los videos fueron almacenados en una computadora, donde el experimentador observó y digitalizó el recorrido con la ayuda de planimetrías del edificio y puntos de referencia, trazando y marcando los objetivos de manera análoga para la muestra de resultados (fig. 7 y 8). Se grabaron 28 videos por cada cámara y el recorrido de cada participante fue dibujado con una línea de color, esta fue representada sobre el modelo BIM con el cual se desarrolló la etapa virtual del experimento.

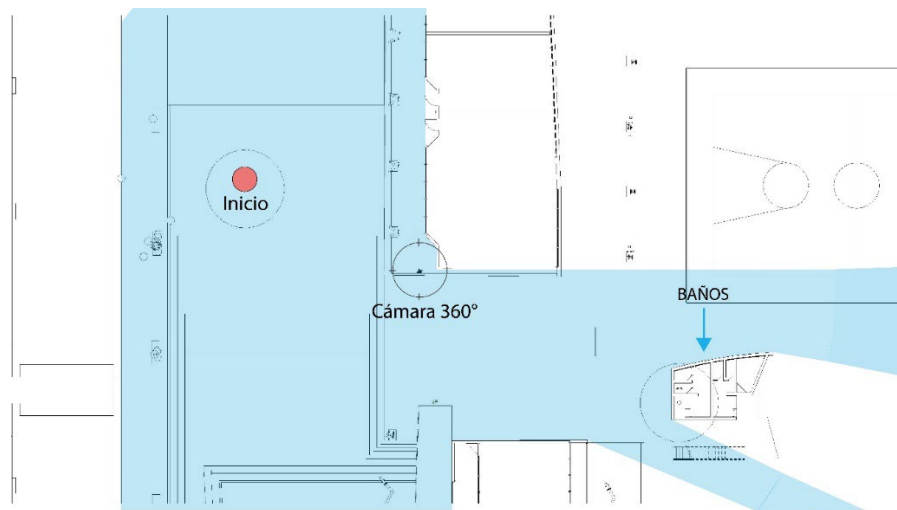


Figura 9. Elaboración propia. Plano de primera planta del edificio con posición de cámara 360\*.

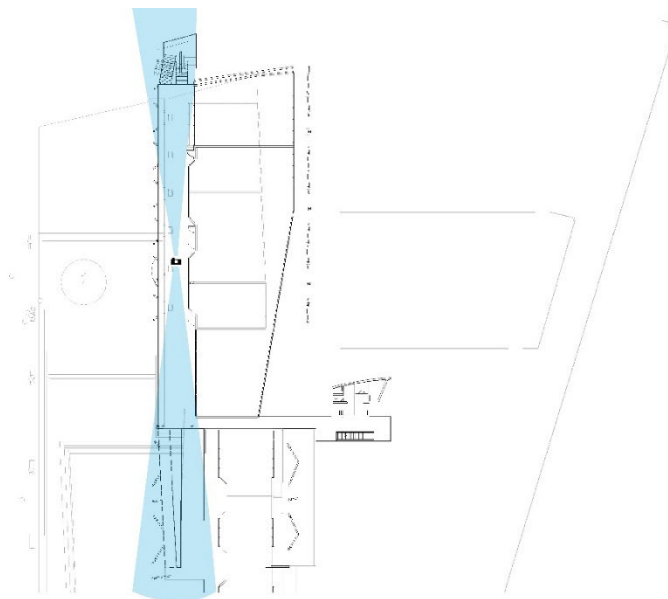


Figura 10. Elaboración propia. Plano de segunda planta del edificio con posición de cámara de mano.

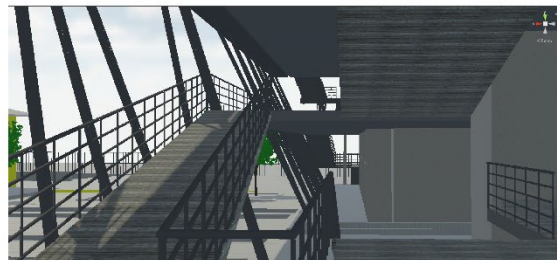
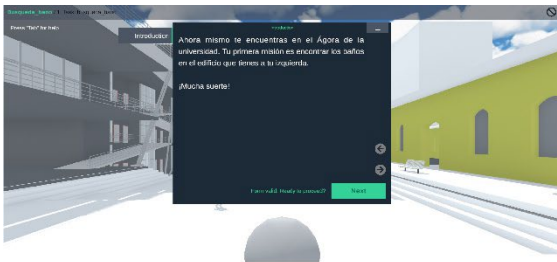
### 3.2. Fase Virtual

Esta fase consiste en completar los módulos de estudio en un entorno virtual, donde los participantes ahora cumplen el rol de usuario los cuales puedan desempeñar las tareas utilizando visores VR dentro de un modelo 3D del edificio de estudio. El método de recolección de información fue realizado dentro del marco mismo del entorno virtual, utilizando las herramientas de *Unity 3D* en conjunto a *Dynamo* (entorno de programación visual de REVIT) para poder extraer información detallada y exacta de cómo se comportan los participantes dentro del modelo digital, de esta manera en esta fase el evaluador sólo tiene que otorgar información práctica acerca de los visores y su utilización, la información del experimento es registrada y almacenada en su totalidad por la computadora.



Figura 11. Elaboración propia. Esquema de flujo de trabajo de experimento en fase virtual.

Para los módulos de estudio, se programó un texto al inicio de cada tarea, donde se explica en detalle y en forma de relato las instrucciones para los participantes. Para introducir a los participantes dentro del entorno virtual se hizo una tarea extra llamada "tutorial", donde se explica cómo se utilizan los visores VR y los controles para moverse dentro del entorno virtual, una vez es terminado se ejecuta cada módulo de estudio uno a tras de otro.



Figuras 12,13,14,15 en orden. Elaboración propia. Vistas internas del modelo en Realidad Virtual.

Los participantes utilizaron los visores VR en una sala de la facultad, debido a la naturaleza del experimento, el grupo B de personas no pudo observar el edificio real antes de realizar el experimento en la fase virtual, por lo que se les pidió que esperaran en una zona donde no tuviesen contacto con el edificio real, visual o físicamente. Un evaluador guio a los participantes a través de las tareas cuándo éstos tenían dudas de cómo funcionaban los controles, también para verificar el bienestar del participante si este decidiera no continuar por razones de salud (fig.16).



Figura 16. Elaboración propia. Fotografías de los participantes realizando el experimento con equipo VR.

Los módulos de estudio fueron programados para ser ejecutados en entorno virtual con la herramienta Unity 3D, aquí se emplea cada tarea en forma didáctica para que el usuario siga con exactitud lo descrito en las cuatro tareas del experimento, una tras otra. Una vez completadas las tareas ejecutadas por el usuario, la información recolectada de las distintas tareas es almacenada en VREVAL (recogido de <https://github.com/Unity-Technologies/AssetBundles-Browser>), un paquete desarrollado en Python para enlazar coordenadas dentro del entorno virtual y redirigirlas a el modelo BIM en primer lugar, además de otros datos como tiempo de demora del usuario (fig. 17) en cada tarea, el trazado de su recorrido y la posición de la elección de asiento. Este paquete es crucial para cruzar la información de los participantes y devolverlas al modelo, de esta manera se consiguen resultados de manera más específica que sólo observando la pantalla, y además facilita la recolección de información (fig. 18 y 19).

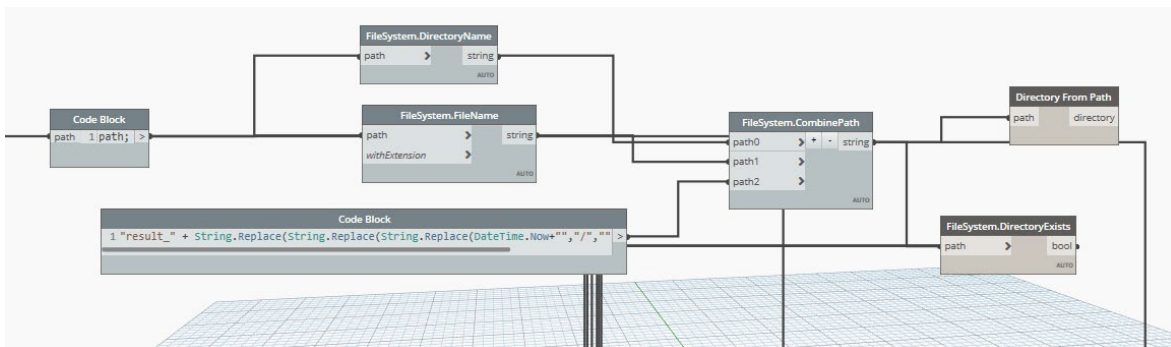


Figura 17. Elaboración propia. Módulo en Dynamo sobre el modelo, captación de tiempo exacto de arranque de tarea para registro completo de tiempo de demora e inicio de cada participante.

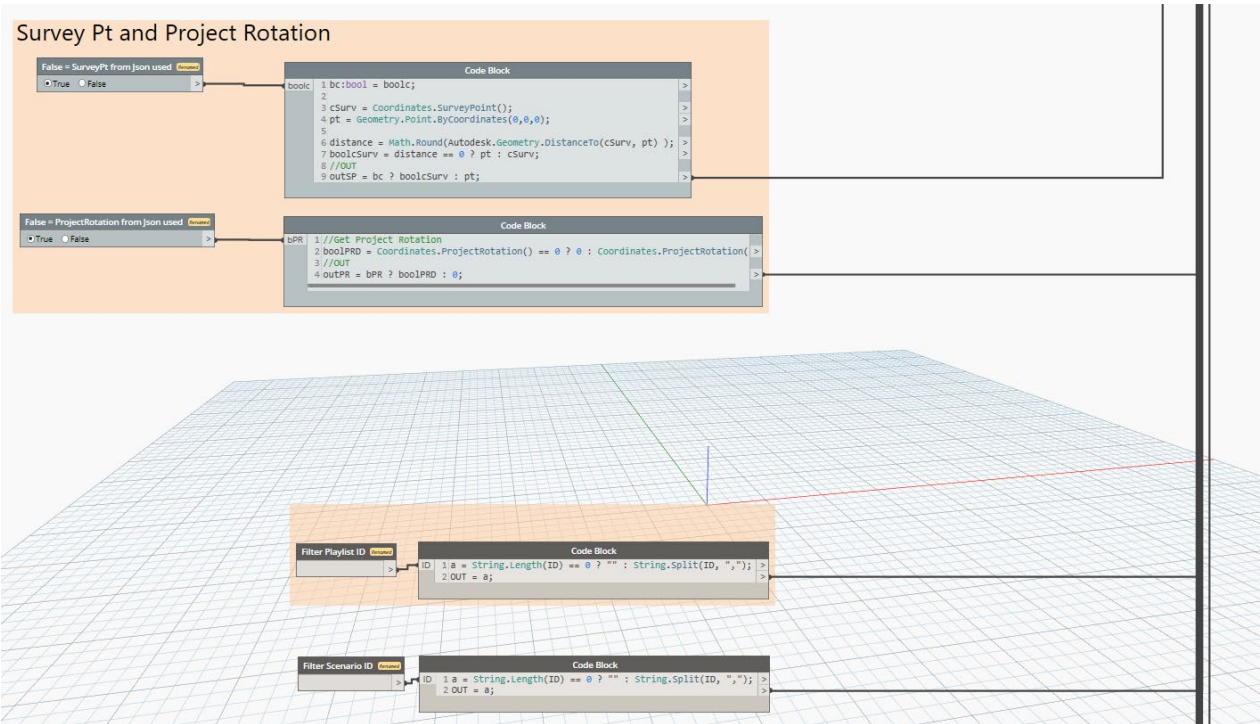


Figura 18. Elaboración propia. Módulo en Dynamo sobre el modelo, exportación en lista como archivo de texto en formato JSON, para posterior análisis en ficha Excel para realizar cálculos de posición y tiempo.

```

63435 {
63436   "evaluation_id": 253,
63437   "project_id": "1585db44-2763-4d6e-8b3a-c11e9ccc609f",
63438   "project_name": "Prueba distinta",
63439   "project_snapshot_id": 676,
63440   "evaluation_snapshot_id": 636,
63441   "group_id": 363,
63442   "classification": "1",
63443   "completed_at": "2022-11-20 21:22:23",
63444   "playlist_name": "playlist final",
63445   "playlist_id": 201,
63446   "scenario_name": "Busqueda_segundo_piso",
63447   "scenario_id": 334,
63448   "participant_id": 11538,
63449   "task_id": 697,
63450   "task_type": "task-wayfinding",
63451   "task_name": "New wayfinding task",
63452   "task_code": "201.334.697.0",
63453   "task_result_id": 5670,
63454   "task_results": [
63455     {
63456       "uuid": "a043ec43-dc67-4dfe-b4aa-3fa548013fe9",
63457       "is_using_vr": false,
63458       "result_type": "Vreval.Client.SavingSystem.FormResult, Vreval.Client",
63459       "result_created_at": "2022-11-20T18:21:44.8112301-03:00",
63460       "sequence_index": 0,
63461       "checkpoint_name": "Inicio_todo",
63462       "checkpoint_position": [
63463         -210.638123,
63464         0,
63465         133.625885

```

Figura 19. Elaboración propia. Extracto de código JSON de registro de participante, con marcador inicial de posición y registro de tiempo de tarea.

## 4. Resultados

Los resultados se muestran categorizados por **módulo de estudio**, comparando a su vez las dos fases y grupos A y B.

### 4.1. Primera tarea: Resultados Wayfinding - Búsqueda de baños en instalaciones.



Figura 20. Resultados de todos los participantes en Fase Virtual. Wayfinding: "Búsqueda de baño".

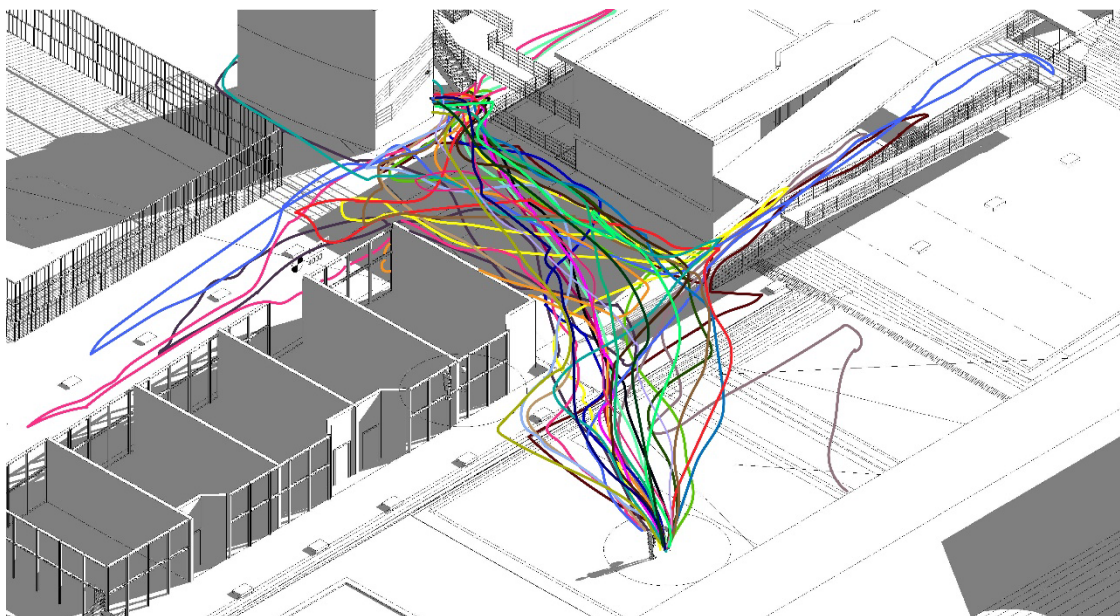


Figura 21. Resultados de todos los participantes Fase Física. Wayfinding: "Búsqueda de baño".

Ambas fases presentan diferencias visibles. En la fase física (fig. 21) los participantes recorrieron una distancia mayor a través del edificio, generando un recorrido mas sinuoso con respecto a la fase Virtual (fig. 20). En la fase física sólo un participante no pudo encontrar el objetivo de la tarea.

**Tabla 1:** Comparación de resultados de ambas fases en tiempo (minutos y segundos)

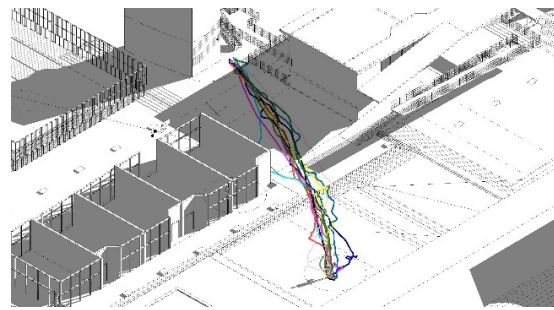
	Tiempo Promedio (mm:ss)	Desviación Estándar (mm:ss)
<b>Fase Física</b>	0:51	0:26
<b>Fase Virtual</b>	0:57	0:13

A pesar de la diferencia de recorridos, el tiempo de ejecución promedio para la tarea fue parecido, además la desviación estándar en ambos casos se duplica en el entorno físico, por lo que el comportamiento de todos los participantes es diferente en ambas fases (ver tabla 1). Esto puede deberse a que la velocidad en el entorno virtual para cada participante está bloqueada a 5 km/h, en cambio en la vida real los participantes realizaron las tareas a distintas velocidades, dependiendo de su condición física o estado emocional.

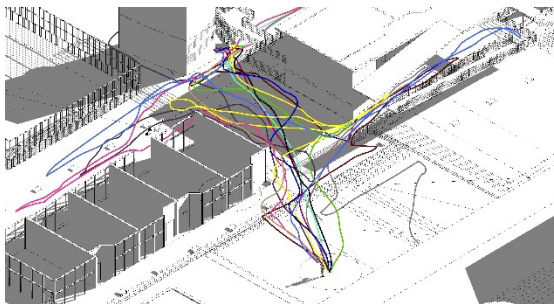
#### Comparación de resultados por grupo



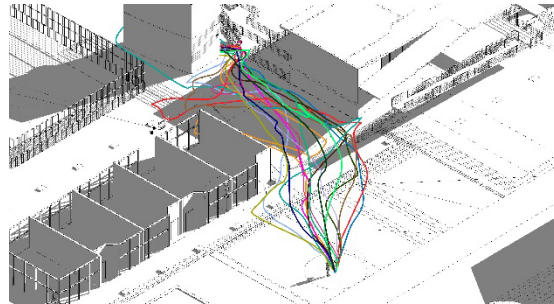
*Figura 22. Grupo A. Fase Virtual.*



*Figura 23. Grupo B. Fase Virtual.*



*Figura 24. Grupo A en Fase Física.*



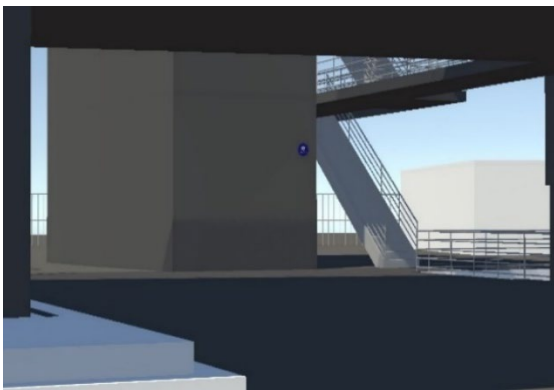
*Figura 25. Grupo B en Fase Física.*

**Tabla 2:** Comparación de resultados por grupo de ambas fases en tiempo (Primera tarea).

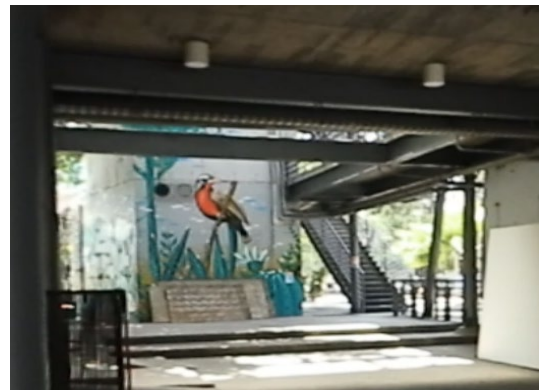
	<b>Tiempo Promedio (mm:ss)</b>	<b>Desviación Estándar (mm:ss)</b>
<b>Grupo A – Fase Virtual</b>	0:55	0:17
<b>Grupo B – Fase Virtual</b>	1:00	0:09
<b>Grupo A – Fase Física</b>	1:02	0:29
<b>Grupo B – Fase Física</b>	0:37	0:15

En la comparación de los grupos en las distintas fases, comparamos al grupo A en su fase física (fig. 24) en contraste a el Grupo B en su fase virtual (fig. 23), esto debido a que es una situación en la cual los participantes se tienen un acercamiento a el diseño del edificio por primera vez. En ambos grupos el tiempo promedio fue muy similar, no así la desviación estandar, la cual tiene una diferencia de 20 segundos (ver tabla 2). La razón por la cual ambos tienen un tiempo promedio a pesar de tener recorridos significativamente distintos yace en la velocidad de los participantes, ya que en el entorno virtual están programados para alcanzar un velocidad máxima de 5 km/h, en cambio en la fase física los participantes podían variar su velocidad.

En el entorno virtual la señal del baño se veía claro y resaltaba desde el inicio del experimento (ver figura 26), en cambio, en la realidad física la señal de los baños no era tan visible, existían elementos sobre el muro lo que dificultó la búsqueda de los participantes (ver figura 27).



*Figura 26. Captura de pantalla desde el interior del modelo.*



*Figura 27. Captura de cámara 360 sobre baños.*

## 4.2. Segunda tarea: Resultados Wayfinding - Acceso al segundo piso.

### Comparación de resultados completos.

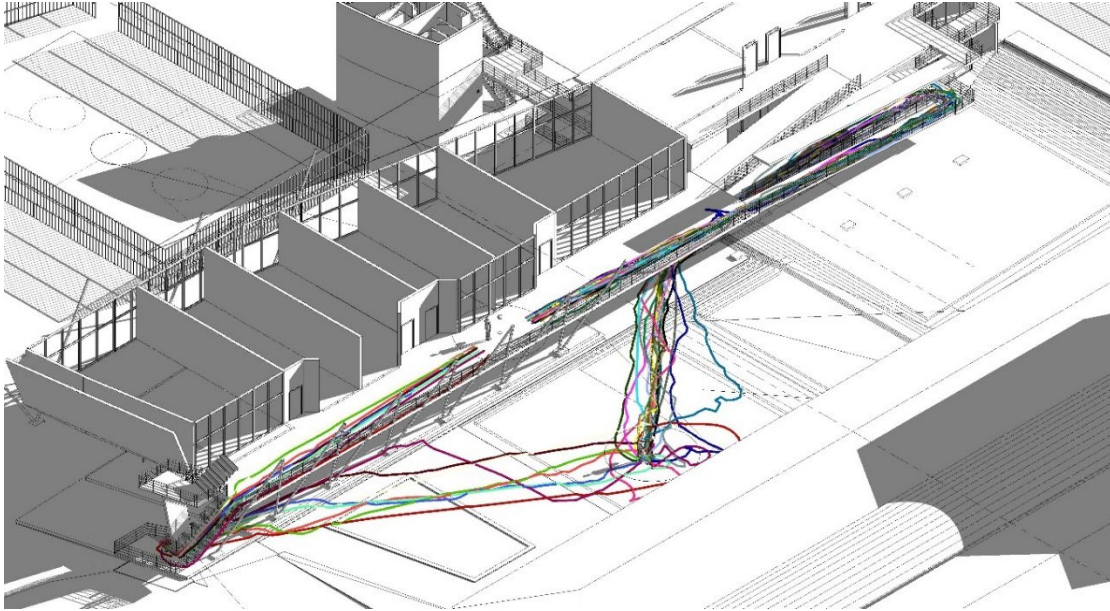


Figura 28. Resultados de todos los participantes en Fase Virtual. Wayfinding: "Acceso al segundo piso".



Figura 29. Resultados de todos los participantes Fase Física. Wayfinding: "Acceso al segundo piso".



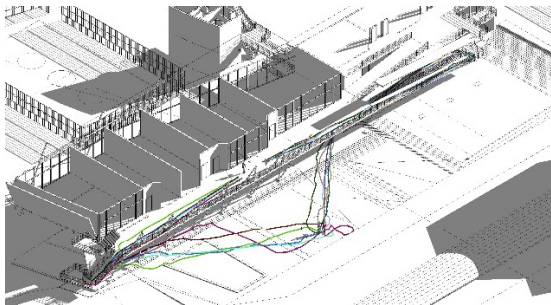
Ambas fases se presentan más similares que en la tarea anterior. En esta tarea el módulo presenta el método de decisión, en el entorno físico (fig. 29) **6** participantes escogieron la escalera y **22** escogieron la rampa para acceder al segundo piso, en cambio, en el entorno virtual (fig. 28) fueron **9** quienes escogieron la escalera y **19** la rampa de acceso. En ambos entornos ningún participante escogió la escalera de acceso junto a los baños.

**Tabla 3:** Comparación de resultados de ambas fases en tiempo (Segunda tarea).

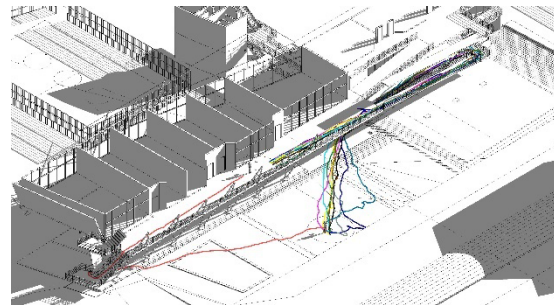
	Tiempo Promedio (mm:ss)	Desviación Estándar (mm:ss)
<b>Fase Física</b>	1:10	0:22
<b>Fase Virtual</b>	1:34	0:30

Para esta parte del experimento las aptitudes físicas de los participantes no fueron registradas, teniendo en cuenta de que en un entorno Virtual los participantes están físicamente de pie mientras navegan por las instalaciones con el equipo de realidad virtual sobre sus ojos y manos, de este modo no realizan la misma actividad física que en el entorno Físico al realizar las mismas tareas, por lo cual es importante tenerlo en consideración. A pesar de esta discusión los resultados totales demuestran que los resultados para ambas fases fueron similares en tiempo, decisión y recorrido (ver Tabla 3).

#### Comparación de resultados por grupo.



*Figura 30. Grupo A. Fase Virtual.*



*Figura 31. Grupo B. Fase Virtual.*



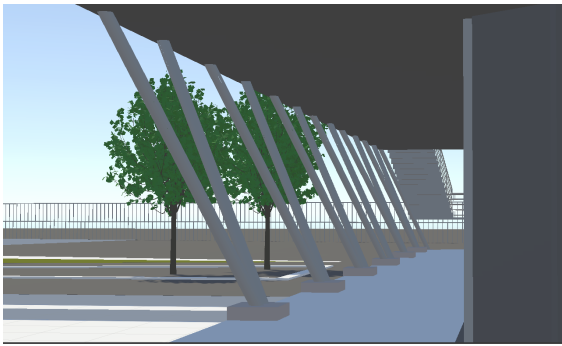
*Figura 32. Grupo A. Fase Física.*



*Figura 33. Grupo B. Fase Física.*

En la comparación de los grupos en las distintas fases, comparamos al grupo A en su fase física (fig. 32) en contraste a el Grupo B en su fase virtual (fig. 31), esto debido a que es una situación en la cual los participantes se tienen un acercamiento a el diseño del edificio por primera vez. En el grupo A en fase física **5** participantes escogieron la escalera y **9** participantes la rampa de acceso, mientras que en grupo B en la Fase Virtual **1** sólo participante escogió utilizar la escalera y los **13** restantes escogieron la rampa de acceso.

Con los resultados más en detalle se puede apreciar que las diferencias aumentan, esto puede ser debido a el factor de la similitud del modelo, como pasó en el módulo de experimento de la búsqueda de baños, en este caso existe vegetación en el entorno real (fig. 35) que no fue modelada con detalle en el entorno virtual (fig. 34), esta vegetación impedía la vista de los participantes desde el inicio del recorrido hacia el acceso en la fase física del experimento, lo que pudo alterar su comportamiento de búsqueda de acceso.



*Figura 34. Captura de pantalla de entorno virtual.*



*Figura 35. Captura de cámara 360 en entorno físico.*

### 4.3. Resultados Señalamiento.

#### Comparación de resultados tercera tarea: Elección de asiento de espera

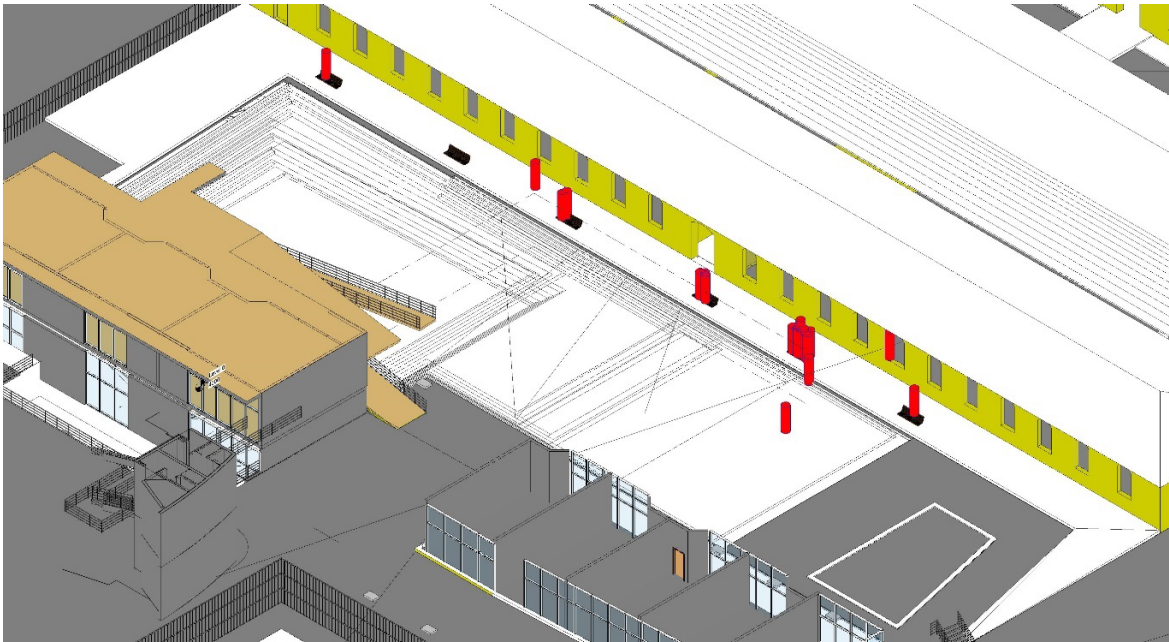


Figura 36. Fase Virtual. Elección de asiento donde el participante escogió como posición de espera.

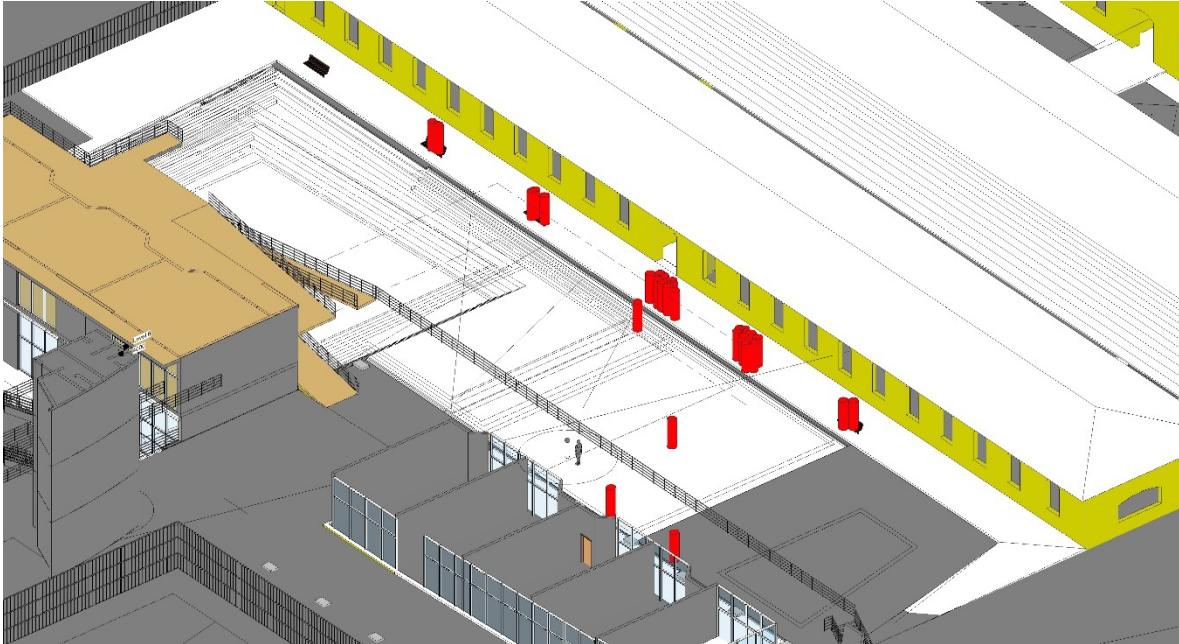


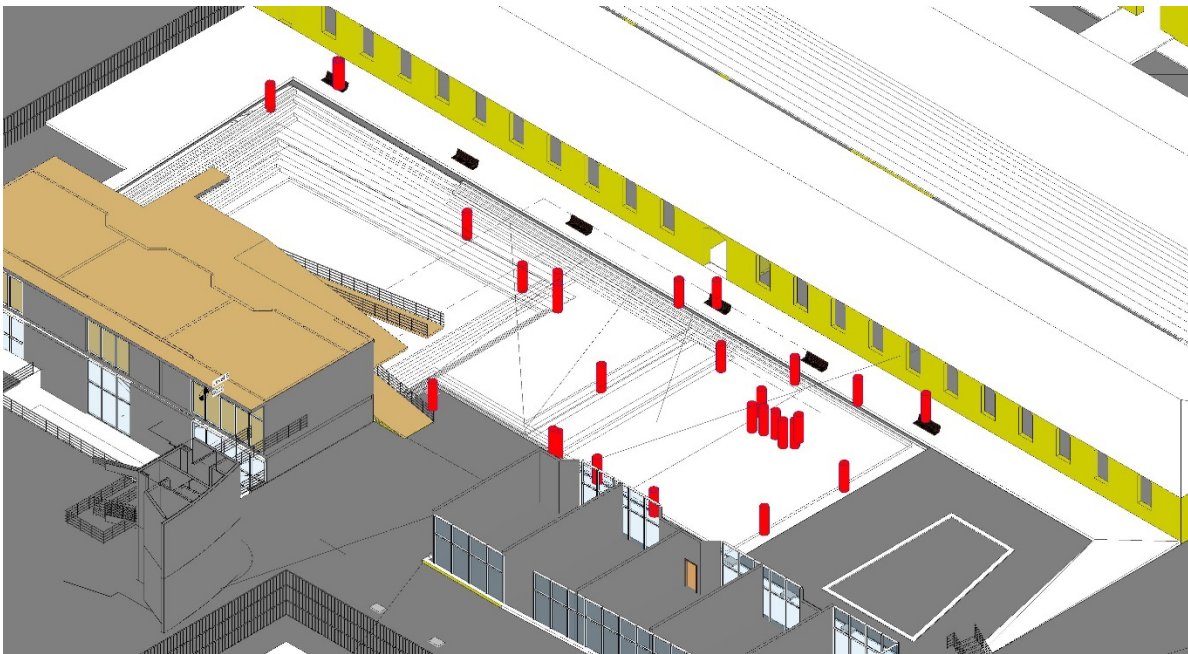
Figura 37. Fase Física. Elección de asiento donde el participante escogió como posición de espera.

En esta tarea se les pidió a los participantes que escogieran un lugar en el cual les gustaría esperar a una persona en un tiempo hipotético de 20 minutos. En este experimento los resultados de ambas fases no fueron muy distintos. En la fase Virtual (fig. 36) **24** participantes escogieron los asientos frente al edificio antiguo de la facultad, mientras que sólo **4** escogieron sentarse en el suelo o muro, pero en lugares cercanos a los participantes que escogieron sentarse. En el caso de la Fase física (fig. 37) los resultados fueron los similares, **24** participantes escogieron los asientos cercanos al edificio antiguo, sólo que esta vez los **4** participantes restantes escogieron posiciones alejadas de los asientos.

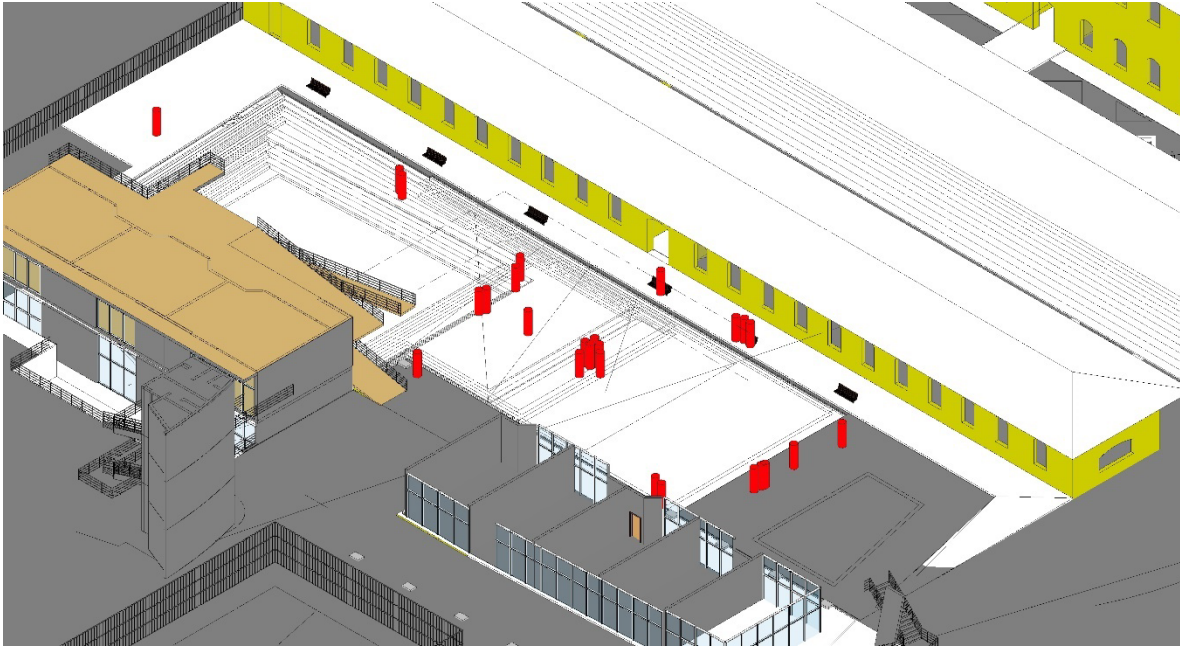
El comportamiento de escoger un lugar dónde sentarse se emplea bajo distintos criterios al de “Wayfinding”, en este módulo de estudio los participantes no deben utilizar el modelo para orientarse, sino que escoger un lugar de agrado bajo criterios como “seguridad”, “comodidad”, “belleza”, entre otros. Bajo la luz de los resultados podemos asumir que la mayoría de las participantes escogieron lugares aptos para sentarse y cuya espalda estuviese más cerca de un volumen o “cubierta”.

Factores como la protección bajo la sombra en un día caluroso, o la búsqueda de luz solar si el día está frío son factores relevantes de la Fase Física que no formaron parte de el método de investigación, los cuales pueden tener incidencia en los resultados de este módulo de estudio; éstos no fueron considerados.

#### **Comparación de resultados tercera tarea: Elección de asiento donde el/la participante “no esperaría”.**



*Figura 38. Fase Virtual. Elección de asiento donde el participante escogió como posición en la que no esperaría.*



*Figura 39. Fase Física. Elección de asiento donde el participante escogió como posición en la que no esperaría*

En esta tarea se les pidió a los participantes que escogieran un lugar en el cual **no** les gustaría esperar a una persona en un tiempo hipotético de 20 minutos. Los resultados son más variados en este módulo de estudio, donde podemos ver más lugares repartidos al interior de ambos edificios. En la fase Virtual sólo **3** participantes escogieron asientos designados como lugares en los que no se sentarían, mientras que en la Fase Física este aumenta sólo a **4** participantes.

Si contrastamos estos resultados con los del módulo de estudio anterior (donde los participantes escogerían sentarse) podemos asumir que los resultados se rigen bajo el mismo criterio, de que los participantes escogieron esta vez lugares donde al sentarse su espalda queda descubierta y no “protegida” por algún volumen o cubierta.

Factores como la luz solar directa en un día caluroso, o la elección de un interior si el tiempo presenta temperaturas bajas son factores relevantes de la Fase Física que no formaron parte del método de investigación, los cuales pueden tener incidencia en los resultados de este módulo de estudio; éstos no fueron considerados.

## 5. Conclusiones

Mediante los experimentos realizados se comprobó que el uso del método Pre-Ocupacional basado en Realidad Virtual es una herramienta confiable al predecir el comportamiento humano en edificios construidos, pero si existen diferencias o detalles que sean distintos entre el modelo físico y virtual, estos alteran el comportamiento de los habitantes sustancialmente.

El experimento fue realizado en tres diferentes módulos de estudio: “Wayfinding”, “método de decisión” y “elección de lugar”. Según los resultados presentados en *Wayfinding y en método de decisión*, el comportamiento de los participantes fue distinto en la realidad física y en la virtual, incluso al dividir los participantes en grupos quienes realizaron las fases Real y Física en distinto orden. Se puede deducir que los comportamientos fueron distintos porque el modelo de el edificio virtual no era tan detallado como el real, un simple detalle como que el logo de los baños no fuese visible o vegetación cerca de un acceso en la fase física del experimento impactó en los resultados de los participantes. Se puede asumir que mientras más parecido sea el modelo virtual a el edificio construido, el comportamiento de los habitantes será más parecido. Para que esto se cumpla se deben considerar variables como el ángulo de luz solar, hora del día, temperatura, cantidad de sombra, detalles de texturas, sonido ambiental y elementos del clima, variables que no fueron consideradas al modelar y desarrollar el entorno virtual. Podemos observar resultados parecidos en las conclusiones del experimento de Westerdahl, B., Suneson, K., Wernemyr, C., Roupe, M., Johansson, M., & Allwood, C. M. (2005), donde se explica que el modelo producido en 2003 no era lo suficientemente “inmersivo” -como se expresa en el estudio- en comparación con el edificio en el entorno físico de su investigación, ya que éste modelo virtual carecía de sonido y no fue probado con lentes virtuales, sino con una proyección sobre un muro.

Es importante remarcar que existen comportamientos que fueron similares a pesar de las diferencias en el modelo, como fue en el módulo de estudio de elección de asiento. Esto puede deberse a que existe una lógica de comportamiento común entre los participantes que fue posible observar a través del estudio en ambas fases, la cual remite en que los habitantes eligen lugares para sentarse donde su espalda esté lo más cubierta posible.

Debido a las diferentes limitaciones metodológicas, este estudio debe considerarse como un estudio piloto que ha proporcionado hipótesis en relación con diferentes preguntas de investigación para futuras investigaciones. Por ejemplo, ¿qué propiedades de un modelo VR en contraste con un edificio real afectan el comportamiento de los participantes en mayor o menor medida? ¿En qué medida varía la percepción del espacio con respecto a experiencia de realidad virtual en contraste con la experiencia del edificio físico resultante?

## Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al departamento de investigación en Tecnología de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile por facilitar los equipos necesarios para realizar el experimento. Quiero agradecer a Luis Mosquera por su disposición en las fases del experimento como guía para los participantes. Por último, a el profesor Phd. Sven Schneider y a Msc. Olaf Krammer de la Universidad Bauhaus-Weimar, quienes me introdujeron a los estudios de comportamiento humano en arquitectura con métodos computacionales y también quienes me entregaron la información y conocimiento de desarrollo de software para realizar la fase virtual de este experimento.

## Referencias

- alffanclub. (11 de 09 de 2022). *GitHub*. Obtenido de <https://github.com/Unity-Technologies/AssetBundles-Browser>
- Asojo, A., Vo, H., & Bae, S. (2021). The Impact of Design Interventions on Occupant Satisfaction: A Workplace Pre-and Post-Occupancy Evaluation Analysis. *Sustainability*.
- Ewart, D. I., & Johnson, H. (2021). VIRTUAL REALITY AS A TOOL TO INVESTIGATE AND PREDICT OCCUPANT BEHAVIOUR IN THE REAL WORLD: THE EXAMPLE OF WAYFINDING. (O. E, Ed.) *ITcon*. doi:10.36680/j.itcon.2021.016
- Gath-Morad, M., Aguilar, L., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2020). cogARCH: Simulating Wayfinding by Architecture in Multilevel Buildings. *Symposium on simulation on Architecture*. Zurich: SimAud2020.
- Hermund, A., Klint, L. S., Bundgaard, T. S., & Bjørnson-Langen, R. N. (2019). The Perception of Architectural Space in Reality, in Virtual Reality, and through Plan and Section Drawings. En e. 36, *VR, AR & VISUALISATION | Experiments* (pág. 744).
- Hjorth, P., & Bagheria, A. (2005). Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, 75.
- Reckermann, J. E. (2008). CIRS PRE-OCCUPANCY EVALUATION: INHABITANT FEEDBACK PROCESSES AND POSSIBILITIES FOR A REGENERATIVE PLACE. Columbia, USA: The University of British Columbia.
- Vergara, M. A. (Junio de 2020). A COMPUTATIONAL METHOD FOR QUANTITATIVE POST OCCUPANCY EVALUATION OF OCCUPANTS' SPATIAL BEHAVIOR IN BUILDINGS. Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos.
- Westerdahl, B., Suneson, K., Wernemyr, C., Roupe, M., Johansson, M., & Allwood, C. M. (2006). Users' evaluation of a virtual reality architectural model compared with the experience of the completed building. *ELSEVIER*, 150 – 165.

