

# Ausencia de variables ambientales en la realidad virtual

## ¿Qué variables ambientales se pueden replicar a través de estímulos audiovisuales en la realidad virtual sin hardware complementario?

**Estudiante:** Santiago Arriagada

**Profesor guía:** Mauricio Loyola

### Resumen

La realidad virtual es una herramienta muy útil para "experimentar" diferentes escenarios virtuales, generando espacios inimaginables a través del modelado tridimensional, pero esta experiencia se encuentra incompleta al momento de tratar de recrear una simulación espacial arquitectónica. Lo que conlleva a un problema que se encuentra relacionado con la falta de variables ambientales en los modelos 3d, variables ambientales tales como la temperatura del aire y flujos de viento. La temperatura y el viento son aspectos fundamentales en la comprensión y experiencia del habitar un espacio arquitectónico y estas no se han profundizado en la realidad virtual, esto sería relevante para evaluar las respuestas de confort térmico en un espacio arquitectónico a través de las diferentes percepciones de los usuarios o bien para que la visualización arquitectónica sea más inmersiva en la realidad virtual lo que implica una simulación de una arquitectura más verídica que una imagen, ya sea un render, fotomontaje o hasta incluso un video de arquitectura.

**Palabras clave:** Realidad virtual, simulación, arquitectura, variables ambientales.

### 1. Introducción

El modelado tridimensional ha hecho posible, mundos alternos los cuales tienen esencia propia, con ayuda de la realidad virtual, podemos recorrer estos espacios e interactuar sin la necesidad de que exista en un entorno construido, pero esto carece de estímulos sensoriales, no audiovisuales, como la temperatura y flujos de viento. Aspectos que caracterizan el espacio construido y que no se han tomado en consideración en las realidades virtuales para visualización arquitectónica.

Esto conlleva a una inmersión y percepción del espacio diferente, en donde la temperatura y flujos de viento juegan un papel fundamental en la comprensión y simulación del habitar en un lugar. En la actualidad, la mayoría de las realidades virtuales para visualización arquitectónica quedan cortas en cuanto a reproducir estímulos sensoriales no audiovisuales, estos se limitan a estímulos audiovisuales y muy pocas veces hápticos.

El usuario puede estar inmerso virtualmente en un parque de diversiones, en la catedral de Notre Dame, en una isla, etc. Pero físicamente se encuentra

en un espacio reducido, quizás en una sala o habitación, la temperatura y los diferentes flujos de viento que percibe son las de estar en una sala. Estos aspectos serían relevantes para evaluar las respuestas de confort térmico en un recinto o para simular la espacialidad arquitectónica en todos sus sentidos.

La investigación identifica variables ambientales, que se puedan recrear a través de estímulos audiovisuales, para lograr establecer una base que se pueda usar en la visualización arquitectónica en conjunto con la realidad virtual.

### 2. Antecedentes

Como revisión de literatura, existen artículos científicos y papers en relación con este problema, se han realizado distintas investigaciones, las cuales se podrían ocupar como punto de partida para esta investigación debido a la similitud de la investigación.

En primera instancia se encuentra *Hulsman. F (2014) Wind and warmth in virtual reality: Implementation and evaluation. Hulsman. F* esta investigación

propone un hardware complementario configurado por ventiladores y luces infrarrojas en un sistema de realidad virtual CAVE, este logra un nivel de experiencia mayor en la cabina y argumenta que:

*“objects in a scene are enriched with information about their properties (e.g. their sound, their physical behavior).” (Hulsman. F, 2014, p.2)*

Tomando en consideración esta acotación del autor, punto base para el experimento, es que los objetos del modelo deben tener información detallada en cuanto a sus sonidos, comportamiento físico, saturación, brillo, etc. El modelo debe ser un espacio detallado, ya que el ojo humano es susceptible a muchos estímulos visuales que otorgan sensaciones y percepciones diferentes dependiendo del usuario, estos pueden variar en la experiencia de simulación que se busca. El aspecto fundamental a rescatar es el comportamiento físico de ciertos objetos que se pueden simular basándose en estímulos visuales, este comportamiento es el de ser susceptible al viento, objetos tales como papeles, cortinas, ropa, plantas, árboles, etc. Estos objetos tienen la capacidad de moverse cuando existe un flujo de viento mínimo y se puede observar a través de un estímulo visual.

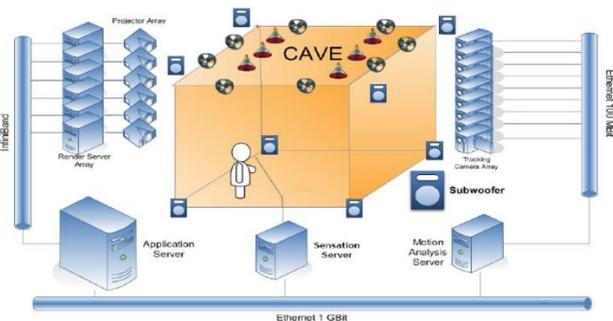


Fig. 1: Hardware complementario. Fuente: Wind and warmth in virtual reality: Implementation and evaluation. Bielefeld Hulsman.

Otra investigación relacionada con el experimento de Hulsman. F, es la de Heinz, Mucha, y Röcker, (2018) Extending HMD-Based Virtual Reality through Wind and Warmth, los autores proponen un setup similar al de Hulsman. F, pero con la diferencia en que ocupan como visor un lente de realidad virtual, en su caso Oculus Rift. Recrean un escenario simple conformado por un escritorio, un ventilador de bajo costo y una lámpara infrarroja. También llegaron a la conclusión que con estos elementos la experiencia del habitar aumentaba en el usuario. Teniendo problemas con el cálculo a tiempo real del flujo de vientos y en el armado del hardware. El modelo

tridimensional que se usó en esta investigación carecía de información en cuanto a sus propiedades básicas. Por lo que se toma en consideración los estímulos auditivos que se implementan en la realidad virtual. Los estímulos auditivos son sustanciales para identificar una variable ambiental, como por ejemplo el viento, sin un estímulo auditivo sería contradictorio observar que un objeto se mueve sin identificar el sonido de la variable que se está intentando reproducir.

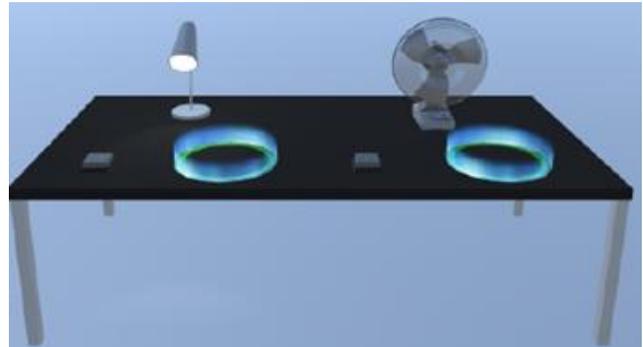


Fig. 2: Escena VR. Fuente: Extending HDM-Based Virtual Reality through Wind and Warmth.

El problema en cuestión no busca crear un hardware complementario para simular las sensaciones de temperatura y viento, ya que primero es muy costoso, segundo requiere un nivel de conocimiento técnico alto y por último su armado conlleva mucho tiempo. Una de las principales ideas es establecer bases para mejorar las condiciones de confort ambiental a través de evaluaciones perceptivas que tengan un mínimo nivel de presencia en un modelo de realidad virtual.

Entonces la investigación busca recrear variables ambientales como la temperatura y viento sin hardware complementario en base de estímulos audiovisuales, de esta forma lo hace Giraldo, Servieres, y Moreau, (2020) Perception of Multisensory Wind Representation in Virtual Reality.

Esta investigación se centra en generar 3 escenas, una que represente audiovisualmente los efectos del viento, una segunda escena que visualice el flujo del viento sobre los elementos del contexto y una última escena que visualice el flujo del viento presente en la arquitectura. Como conclusión llegaron a que los efectos audiovisuales en conjunto con la representación del viento sobre los elementos del contexto favorecen la evaluación del flujo del viento en el modelo. La investigación es el punto de partida para plantear el experimento, ya que tuvo resultados positivos en cuanto a la evaluación de los flujos de

viento en la percepción de los usuarios que visualizaban el modelo.

Finalmente, la investigación se centra en realizar tres modelos para realidad virtual, que tendrán variables de estudios tales como la temperatura del aire, movimiento del aire y olor ambiental, también se incorporan variables de modelado, tales como estación del año, iluminación global, etc. que son esenciales para la comprensión de las variables de estudio. Esto se verá detalladamente en la metodología de investigación.

### 3. Métodos

La metodología de investigación fué de carácter experimental/cuasi-experimental, la cual se focalizó en realizar un cuestionario a 50 estudiantes de arquitectura de la Universidad de Chile. Se seleccionaron estudiantes de arquitectura ya que tienen conocimientos básicos en cuanto a variables ambientales, esta condición se cumple con que sean de tercer semestre de la carrera, donde se pasan contenidos de Principios de habitabilidad y sustentabilidad. Además al ser estudiantes de arquitectura estaban más conscientes con el espacio y atmósfera arquitectónica con lo que era más probable que identificaran los estímulos visuales puestos en escena.

El cuestionario era para poder obtener qué estímulos visuales contribuyen a deducir la **temperatura del aire, el movimiento del viento y el olor ambiental** en un recinto con un mínimo de nivel de presencia, analizando variables como la percepción de la temperatura, viento y olores. Para el experimento se presentaron tres modelos de realidad virtual, los cuales no estaban familiarizados con las personas que participan en la encuesta. Estos se visualizaron a través de los lentes de realidad virtual Oculus Quest 2 y los escenarios estaban enriquecidos de información en cuanto a la calidad de texturas, reflejos, brillo, contraste, iluminación global y objetos que sean sensibles a los flujos de viento, con el fin de aportar información audiovisual para deducir cualidades ambientales como la temperatura y el viento.

Se hizo una inducción a cada participante, donde se enseñaba como montar los lentes de realidad virtual, donde en un principio se debían asegurar que los lentes estén en posición correcta. Luego se les enseñaba como moverse en el espacio, esto se hacía a través de los analógicos que tienen los mandos de los lentes de realidad virtual.

Una vez el procedimiento completo, se les preguntaba cada pregunta correspondiente a los escenarios. Las preguntas se registraron a través de la página [www.questionpro.com](http://www.questionpro.com). En promedio se demoró unos 20 minutos en total por persona, esto dado que debían visualizar los tres modelos y responder las preguntas pertinentes para cada uno. El experimento duró de alrededor de cuatro días, desde el Jueves 30 de Junio de 2022, hasta el Domingo 03 de Julio de 2022, esto se llevó a cabo en un departamento, donde cada persona era citada anteriormente.

Para el desarrollo de los modelos, como primer paso se tuvo que identificar todas las variables ambientales que influyen directamente en la arquitectura, estas variables de estudio son:

- Intensidad del flujo luminoso.
- Luminancia.
- Ventilación.
- Temperatura del aire.
- Movimiento del aire.
- Humedad relativa.
- Olor ambiental.

Luego se hizo un barrido para reconocer cuáles se podrían recrear a través de estímulos visuales. La selección corresponde a:

- Temperatura del aire
- Movimiento del aire
- Olor Ambiental

**La temperatura del aire** es manejable con la temperatura del color en la escena, esto se relaciona directamente con la percepción de temperatura y puede variar en frío, fresco, ligeramente fresco, neutral, ligeramente cálido y calor, esto según la escala de valoración de sensación térmica. En donde cada categoría corresponde a una temperatura distinta, visualmente se refleja en el color y el cielo del modelo.

**El movimiento de aire**, se puede controlar a través del movimiento de objetos dentro de la escena, como por ejemplo, árboles, pasto, cortinas, papeles, posters, puffs, dibujos, etc. Se determina mediante la escala de Beaufort, puede variar entre viento en calma, ventolina, brisa muy débil, flojo, brisa moderada, brisa fresca, brisa fuerte, viento fuerte, temporal, temporal fuerte, temporal duro, temporal muy duro, huracán. Todas estas categorías tienen un valor para su velocidad y una descripción específica la que se puede implementar dentro del software. Las categorías van a cambiar dependiendo del

modelo y serán identificadas por los objetos en movimiento.

**El olor ambiental** dentro del modelo se va a determinar en base de las Indoor Air Quality, según la EPA (United States Environmental Protection Agency):

*“La calidad del aire interior (IAQ) se refiere a la calidad del aire dentro y alrededor de edificios y estructuras, especialmente en lo que se refiere a la salud y la comodidad de los ocupantes del edificio”. (EPA, 2021)*

Específicamente, en unos de los cinco factores, este factor corresponde al polvo, el polvo puede consistir en muchos elementos, células muertas, polen, cabello, partículas de suciedad como basura, fibras de ropa, etc. Elementos que son fácilmente replicables con estímulos visuales.

Para el desarrollo de los modelos de realidad virtual, se elaboraron dos tablas, la primera indica que variable de estudio se utiliza y la segunda indica la variable de modelado que se implementa en cada modelo. Como se puede observar a continuación:

**Tabla 1:** Variables de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Variable de estudio	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Temperatura aire	Calor 25°C	Neutral 20° C	Frío 8°C
Movimiento aire	Calma 0km/h-1km/h	Brisa muy débil 6km/h-11km/h	Brisa moderada 25km/h-28km/h
Olor ambiental	Mal olor	Neutral	Buen olor

**Tabla 2:** Variables de modelado. Fuente: Elaboración propia

Variable de estudio	Variable de modelado	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Temperatura del aire	Estación del año	Verano	Primavera	Otoño
	Iluminación global	Colores cálidos	Colores neutros	Colores fríos
	Pasto	Seco	Hidratado	Transpirado
	Plantas	Secas	Hidratadas	Transpiradas
Movimiento del aire	Árboles	Secos	Hidratados	Transpirados
	Árboles	No se mueven	Sí se mueven	Sí se mueven
	Pasto	No se mueven	Sí se mueven	Sí se mueven
	Papeles	No se mueven	Sí se mueven	Sí se mueven
	Posters	No se mueven	No se mueven	Sí se mueven
	Cortinas	No se mueven	Sí se mueven	Sí se mueven
	Frazadas	No se mueven	No se mueven	Sí se mueven
	Poof	No se mueven	No se mueven	Sí se mueven
	Dibujos	No se mueven	No se mueven	Sí se mueven
	Cuaderno abierto	No se mueven	No se mueven	Sí se mueven

	Ropa colgada	No se mueven	No se mueven	Sí se mueven
	Puertas	Abiertas	Abiertas	Abiertas
	Ventanas	Abiertas	Abiertas	Abiertas
Olor ambiental	Basura	Si	No	No
	Pan	No	Si	Si
	Polvo	SI	No	No

Luego de definir la tabla, en referencia a un video de un canal de youtube, *Jsfilmz*. (2021, junio 20) *Unreal Engine 5 Archviz Realism [Video]*. Se intenta replicar algunas funciones, ya que implementa físicas en objetos susceptibles al viento, como cortinas, fuego, árboles y plantas, además implementa un excelente uso de texturas y modelos que enriquecen la escena. Se puede observar a continuación en la figura 3 y figura 4.



Fig 3: Cortinas con físicas reales. Fuente: *Unreal Engine 5 Archviz Realism [Video]*.



Fig 4: Cortinas con físicas reales. Fuente: *Unreal Engine 5 Archviz Realism [Video]*.

Tomando en consideración el escenario de *Jsfilmz*, que es un buen punto de partida de lo que se quiere lograr, se procede a realizar los 3 escenarios de acuerdo a las tablas presentadas. Como se mencionó anteriormente, se van a realizar en el software de Unreal Engine 5. En un principio se diseñó un escenario base, el cual se puede apreciar en la figura 5.



Fig 5: Escenario base. Fuente: Elaboración propia.

Este escenario es el fundamento de las dos variaciones restantes, en la figura 5, se usaron los parámetros del escenario 2, el que se encuentra en primavera y predominan colores neutros, además se incluye información auditiva de un flujo de viento.

En la figura 6 se observa el cambio de color en la escena, donde predominan colores fríos, la estación en que se sitúa es otoño, en este escenario la información auditiva del viento se vuelve más notable que en el escenario 1 y 2.



Fig 6: Escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al exterior del escenario 1, que se encuentra en verano, como indica la tabla, predominan colores cálidos, y no hay flujos de vientos existentes, por lo que no existe información auditiva presente, esto se puede observar en la figura 7:



Fig 7: Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Para el interior de la escena, hubo dos elementos circunstanciales, estos elementos se diferencian en la presencia de basura y polvo, entre el escenario 1 versus el escenario 2 y 3, se puede observar estos elementos en la figura 8 y 9.



Fig 8: Interior Escenario 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.



Fig 9: Interior Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se desarrollaron preguntas para evaluar la percepción de la temperatura del viento, movimiento del viento y olor ambiental. Este cuestionario se basa en algunas preguntas realizadas en *Perception of Multisensory Wind Representation in Virtual Reality* (Giraldo, Servieres, y Moreau, 2020), se hace con el fin de que el usuario perciba sensorialmente las variables ambientales identificadas, a través de los distintos estímulos visuales puestos en escena, el análisis implementado será análisis de tendencia. De esta manera se

plantea la siguiente serie de preguntas, estas preguntas se realizaron en el escenario 1 y 2:

1. **Califique su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual, en una escala del 1 al 7, donde 7 representa su experiencia normal de habitar en un lugar.**
  - 1.
  - 2.
  - 3.
  - 4.
  - 5.
  - 6.
  - 7.
2. **¿Había viento?**
  - Sí.
  - No.
  - Tal vez.
3. **¿Cómo era el clima del día?**
  - Cálido.
  - Frío.
  - Neutral.
4. **¿Puedes determinar la temperatura del lugar?**
  - Sí.
  - No.
5. **¿Te sientes cómodo térmicamente?**
  - Muy cómodo.
  - Algo cómodo.
  - Neutral.
  - Cómodo.
  - Incómodo.
6. **¿Hace calor?**
  - Sí.
  - No.
  - Tal vez.
7. **¿Hace frío?**
  - Sí.
  - No.
  - Tal vez.
8. **¿La información auditiva te permite determinar un flujo de viento?**
  - Sí.
  - No.
  - Tal vez.
9. **¿Había buen olor?**
  - Sí.
  - No.
  - Tal vez.

10. ¿Había mal olor?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
11. ¿Puedes identificar la dirección del viento?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
12. ¿Qué elementos te permiten saber que existe viento?  
Cortinas.  
Papeles.  
Árboles.  
Pasto.  
Ninguna de las anteriores.

Para el tercer escenario se agregaron dos preguntas, en relación con la inmersión de cada modelo visualizado. El cuestionario para el escenario 3 corresponde a lo siguiente:

1. **Califique su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual, en una escala del 1 al 7, donde 7 representa su experiencia normal de habitar en un lugar.**
- 1.
  - 2.
  - 3.
  - 4.
  - 5.
  - 6.
  - 7.
2. ¿Cuál de los tres escenarios se sintió más real?
- 1.
  - 2.
  - 3.
3. ¿En cuál de los tres escenarios fue más fuerte en general, su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual?
- 1.
  - 2.
  - 3.
4. ¿Había viento?  
Sí.  
No.  
Tal vez.

5. ¿Cómo era el clima del día?  
Cálido.  
Frío.  
Neutral.
6. ¿Puedes determinar la temperatura del lugar?  
Sí.  
No.
7. ¿Te sientes cómodo térmicamente?  
Muy cómodo.  
Algo cómodo.  
Neutral.  
Cómodo.  
Incómodo.
8. ¿Hace calor?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
9. ¿Hace frío?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
10. ¿La información auditiva te permite determinar un flujo de viento?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
11. ¿Había buen olor?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
12. ¿Había mal olor?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
13. ¿Puedes identificar la dirección del viento?  
Sí.  
No.  
Tal vez.
14. ¿Qué elementos te permiten saber que existe viento?  
Cortinas.  
Papeles.  
Árboles.  
Pasto.  
Ninguna de las anteriores.

Los usuarios debieron visualizar los modelos a través de las gafas de realidad virtual Oculus Quest II, una vez en el modelo tuvieron la libertad de recorrer el interior y exterior de la casa. Mientras recorrían el espacio se iban realizando las preguntas pertinentes para cada escenario.

Una vez realizado el cuestionario, se procede al desarrollo de los resultados de la investigación.

## 4. Resultados

Como se mencionó anteriormente, el análisis será un análisis de tendencia, esto para observar que rasgos son dominantes y que sirven para entender que variables se pueden replicar en post de responder la pregunta de investigación: **¿Qué variables ambientales se pueden replicar a través de estímulos audiovisuales en la realidad virtual sin hardware complementario?**

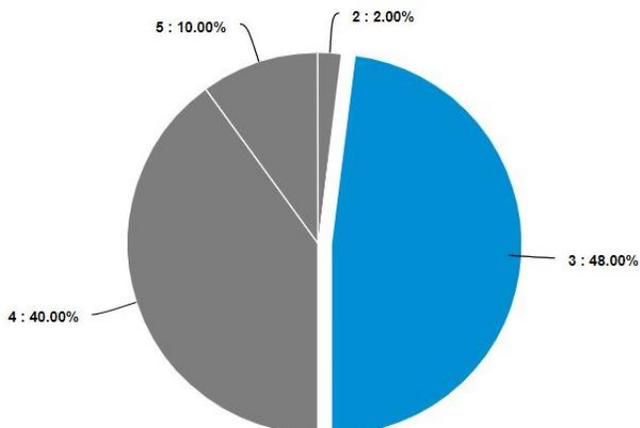
Como objetivo general se definió lo siguiente: **Identificar variables ambientales que se pueden replicar con un mínimo de presencia en la realidad virtual.**

Mientras que los objetivos específicos de la investigación corresponden a generar una lista de posibles variables ambientales que son importantes en el habitar arquitectónico y observar la respuesta perceptual y de comportamiento en las personas frente a las variables ambientales generadas en un modelo de realidad virtual.

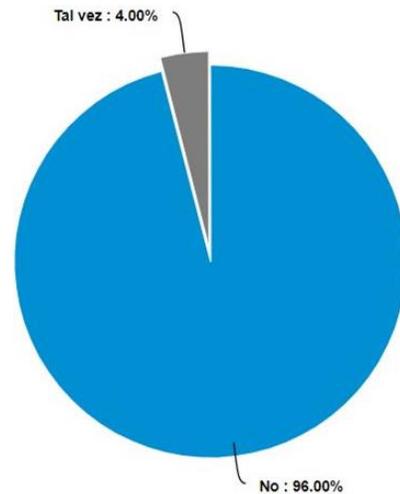
### 4.1. Escenario 1:

Los resultados del Escenario 1 fueron los siguientes:

**1. Califique su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual, en una escala del 1 al 7, donde 7 representa su experiencia normal de habitar en un lugar.**



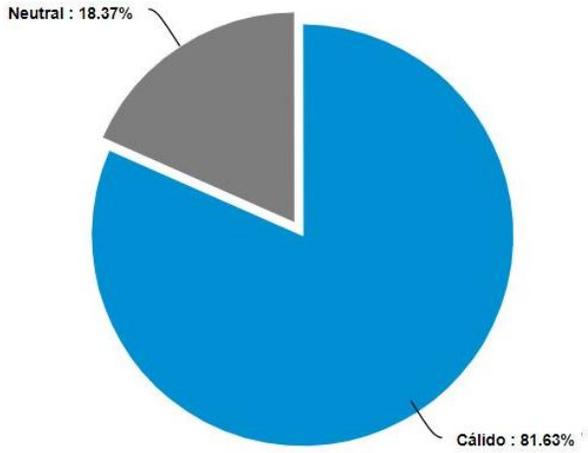
### 2. ¿Había viento?



Responder	Contar	Porcentaje	20%	40%	60%	80%	100%
Si	2	4%	[Progress bar]				
No	48	96%	[Progress bar]				
Total	50	100%					

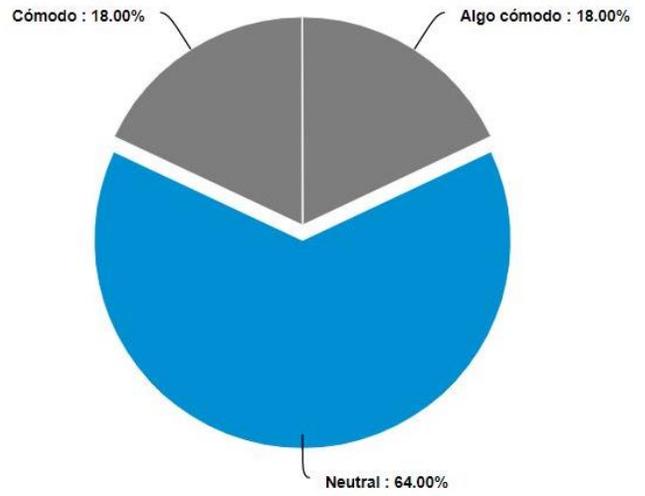
Responder	Contar	Porcentaje	20%	40%	60%	80%	100%
1	0	0%	[Progress bar]				
2	1	2%	[Progress bar]				
3	26	52%	[Progress bar]				
4	20	40%	[Progress bar]				
5	3	6%	[Progress bar]				
6	0	0%	[Progress bar]				
7	0	0%	[Progress bar]				
Total	50	100%					

### 3. ¿Cómo era el clima del día?



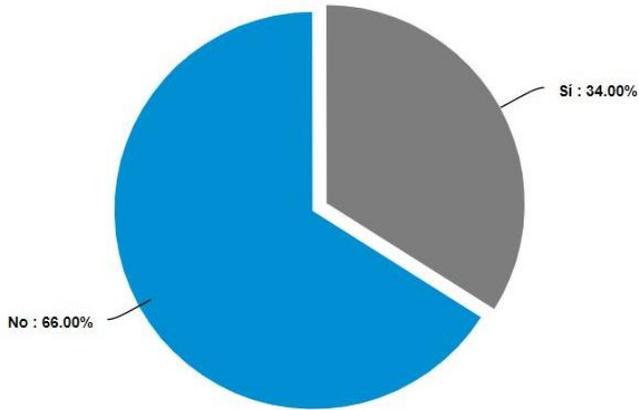
Responder	Contar	Porcentaje
Cálido	40	81.63%
Neutral	9	18.37%
Total	49	100%

### 5. ¿Te sientes cómodo térmicamente?



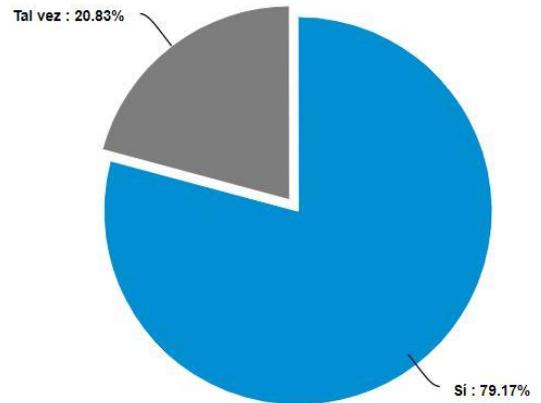
Responder	Contar	Porcentaje
Muy cómodo	0	0%
Algo cómodo	9	18%
Neutral	30	64%
Cómodo	9	18%
Inconfortable	0	0%
Total	39	100%

### 4. ¿Puedes determinar la temperatura del lugar?



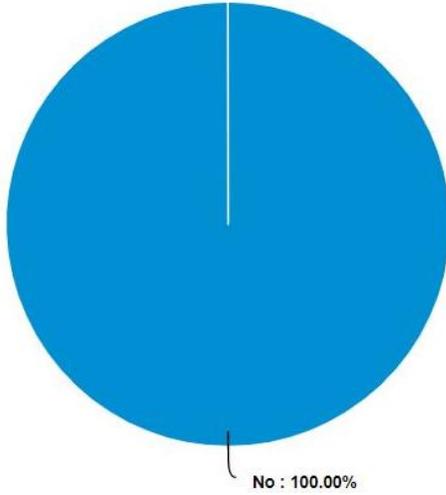
Responder	Contar	Porcentaje
Sí	11	34%
No	33	66%
Total	44	100%

### 6. ¿Hace calor?



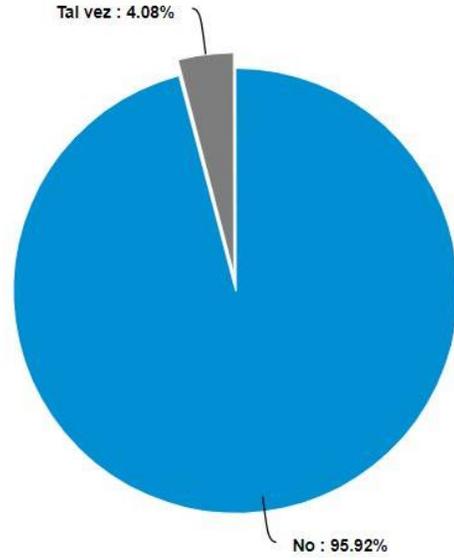
Responder	Contar	Porcentaje
Si	38	79.17%
No	0	0%
Tal vez	10	20.83%
Total	48	100%

### 7. ¿Hace frío?



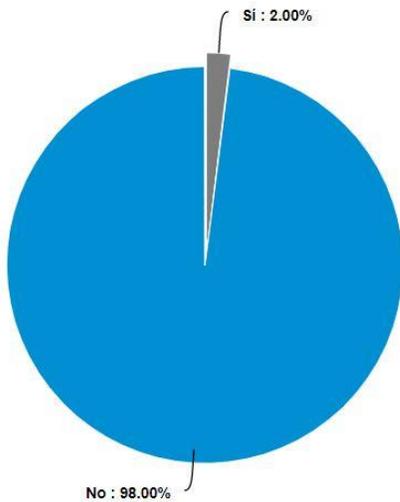
Responder	Contar	Porcentaje
Sí	0	0%
No	59	100%
Tal vez	0	0%
Total	59	100%

### 9. ¿Había buen olor?



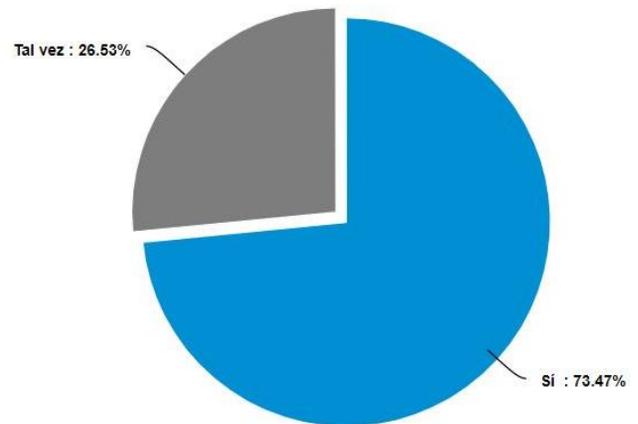
Responder	Contar	Porcentaje
Sí	0	0%
No	47	95.92%
Tal vez	2	4.08%
Total	49	100%

### 8. ¿La información auditiva te permite identificar un flujo de viento?



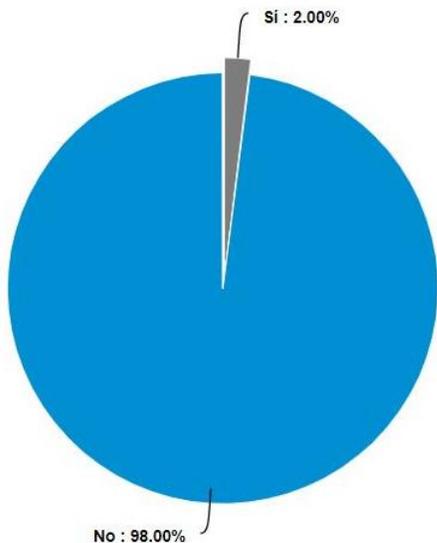
Responder	Contar	Porcentaje
Sí	1	2%
No	49	98%
Tal vez	0	0%
Total	50	100%

### 10. ¿Había mal olor?



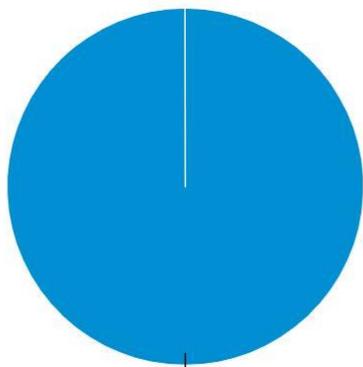
Responder	Contar	Porcentaje
Sí	36	73.47%
No	0	0%
Tal vez	13	26.53%
Total	49	100%

### 11. ¿Puedes identificar la dirección del viento?



Responder	Contar	Porcentaje	20%	40%	60%	80%	100%
Sí	1	2%	<div style="width: 2%;"></div>				
No	49	98%	<div style="width: 98%;"></div>				
Total	50	100%					

### 12. ¿Qué elementos te permiten saber que existe viento?

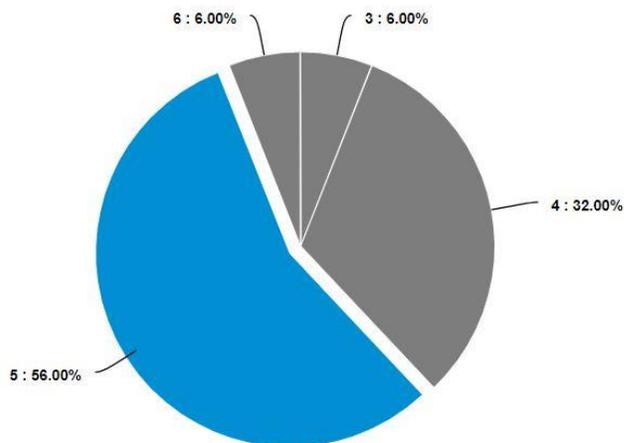


Responder	Contar	Porcentaje	20%	40%	60%	80%	100%
Quintas	0	0%					
Papeles	0	0%					
Voces	0	0%					
Pelo	0	0%					
Ninguna de las anteriores	50	100%	<div style="width: 100%;"></div>				
Total	50	100%					

### 4.2. Escenario 2:

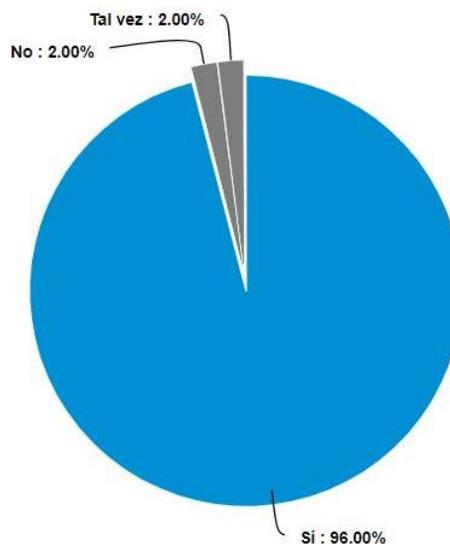
Los resultados del escenario 2 fueron los siguientes:

1. Califique su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual, en una escala del 1 al 7, donde 7 representa su experiencia normal de habitar en un lugar.



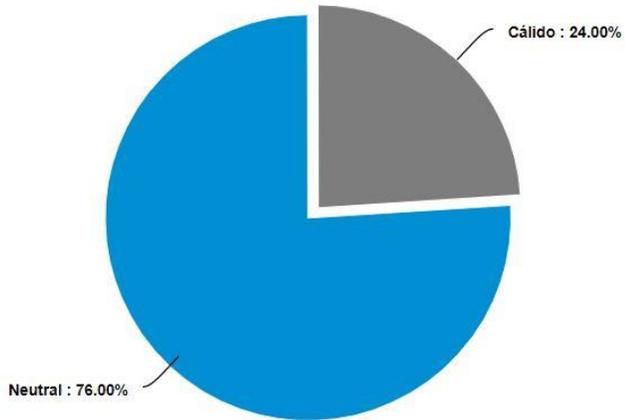
Responder	Contar	Porcentaje	20%	40%	60%	80%	100%
1	0	0%					
2	0	0%					
3	3	6%	<div style="width: 6%;"></div>				
4	16	32%	<div style="width: 32%;"></div>				
5	28	56%	<div style="width: 56%;"></div>				
6	3	6%	<div style="width: 6%;"></div>				
7	0	0%					
Total	50	100%					

### 2. ¿Había viento?



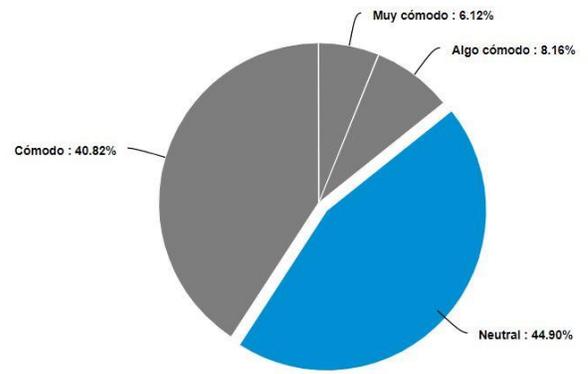
Responder	Contar	Porcentaje	20%	40%	60%	80%	100%
Sí	48	96%	<div style="width: 96%;"></div>				
No	1	2%	<div style="width: 2%;"></div>				
Tal vez	1	2%	<div style="width: 2%;"></div>				
Total	50	100%					

### 3. ¿Cómo era el clima del día?



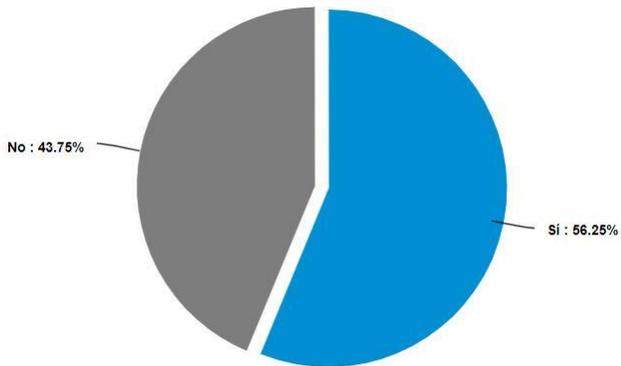
Responder	Contar	Porcentaje
Cálido	10	24%
Neutro	35	76%
Total	50	100%

### 5. ¿Te sientes cómodo térmicamente?



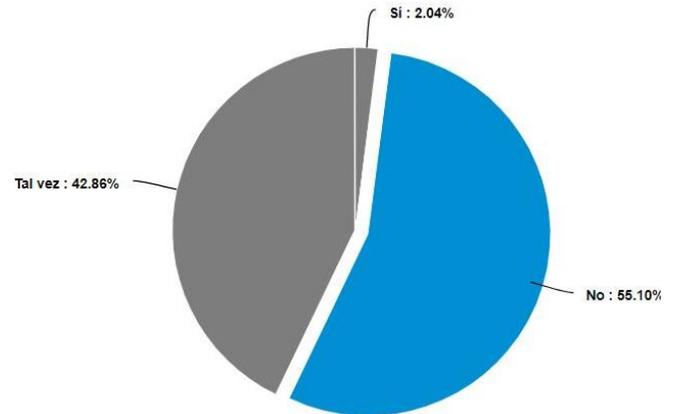
Responder	Contar	Porcentaje
Muy cómodo	3	6.12%
Algo cómodo	4	8.16%
Neutro	22	44.90%
Cómodo	20	40.82%
Incomodo	0	0%
Total	49	100%

### 4. ¿Puedes determinar la temperatura del lugar?



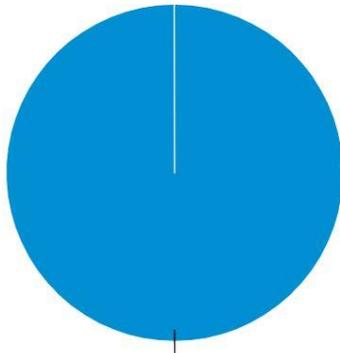
Responder	Contar	Porcentaje
Si	27	56.25%
No	21	43.75%
Total	48	100%

### 6. ¿Hace calor?



Responder	Contar	Porcentaje
Si	1	2.04%
No	27	55.10%
Tal vez	20	42.86%
Total	48	100%

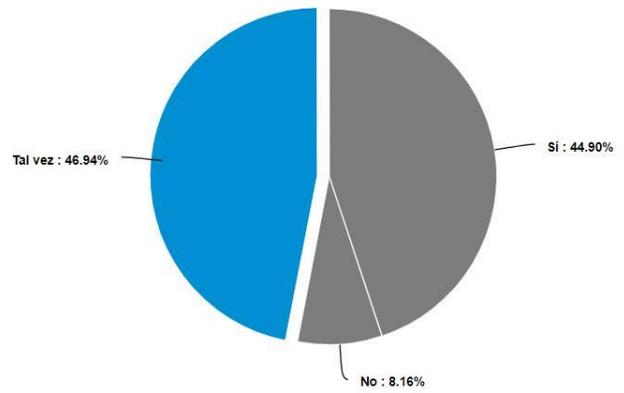
### 7. ¿Hace frío?



No : 100.00%

Responder	Contar	Porcentaje
Si	0	0%
No	44	100%
Tal vez	0	0%
Total	44	100%

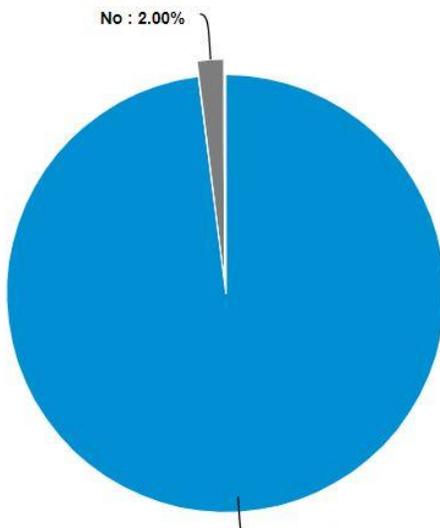
### 9. ¿Había buen olor?



No : 8.16%

Responder	Contar	Porcentaje
Si	20	45.45%
No	4	9.09%
Tal vez	20	45.45%
Total	44	100%

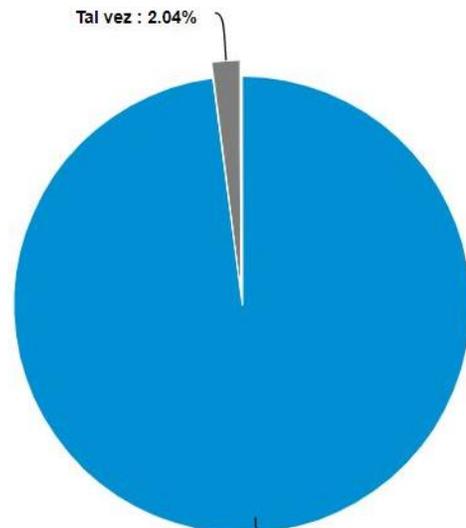
### 8. ¿La información auditiva te permite identificar un flujo de viento?



Si : 98.00%

Responder	Contar	Porcentaje
Si	43	97.7%
No	1	2.3%
Tal vez	0	0%
Total	44	100%

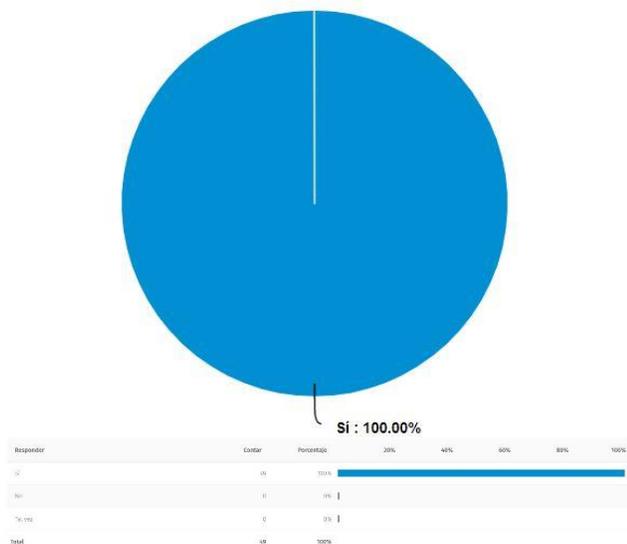
### 10. ¿Había mal olor?



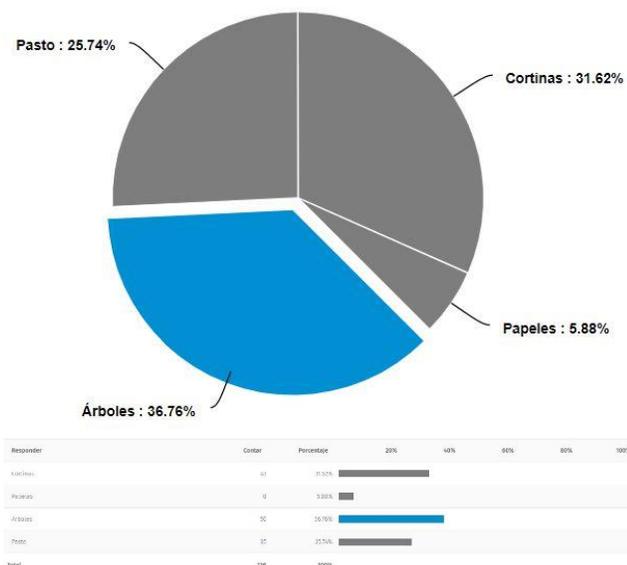
No : 97.96%

Responder	Contar	Porcentaje
Si	0	0%
No	43	97.7%
Tal vez	1	2.3%
Total	44	100%

### 11. ¿Puedes identificar la dirección del viento?



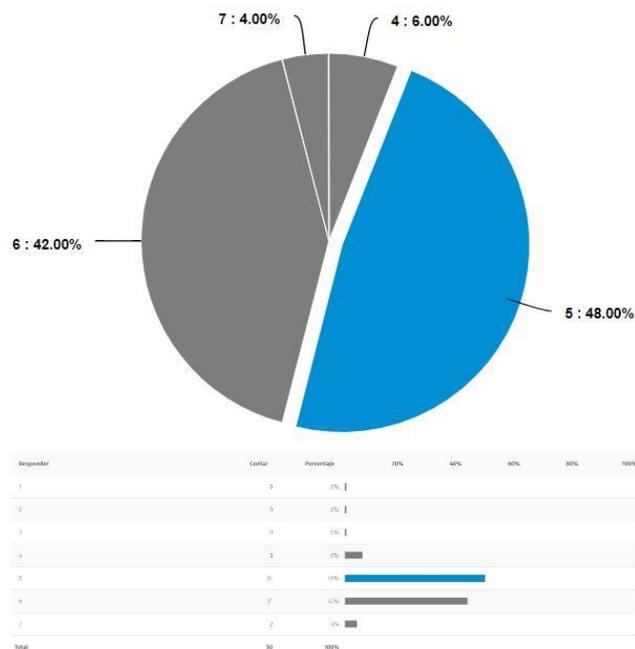
### 12. ¿Qué elementos te permiten saber que existe viento?



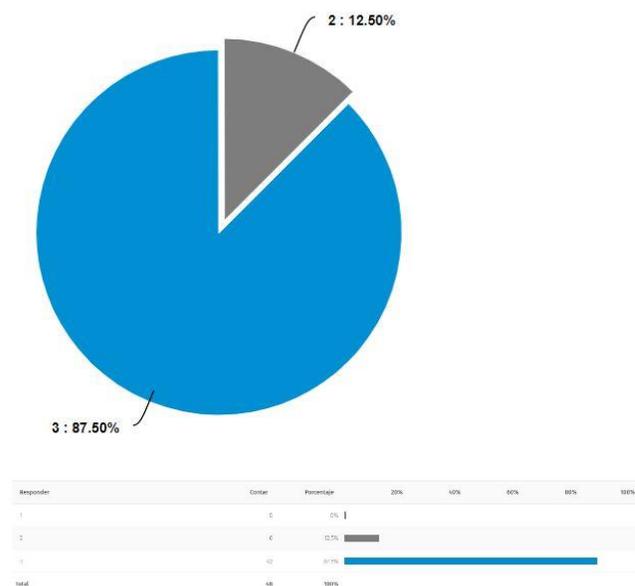
### 4.3. Escenario 3:

Los resultados del escenario 3 fueron los siguientes:

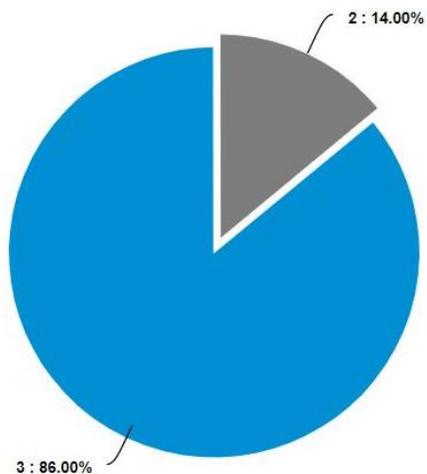
1. Califique su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual, en una escala del 1 al 7, donde 7 representa su experiencia normal de habitar en un lugar.



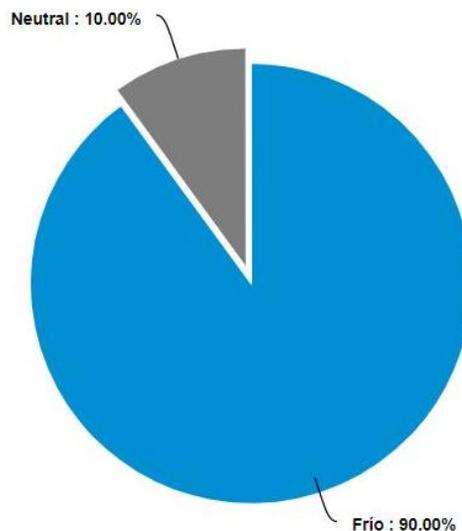
2. ¿En cuál escenario el entorno virtual fue la realidad para usted?



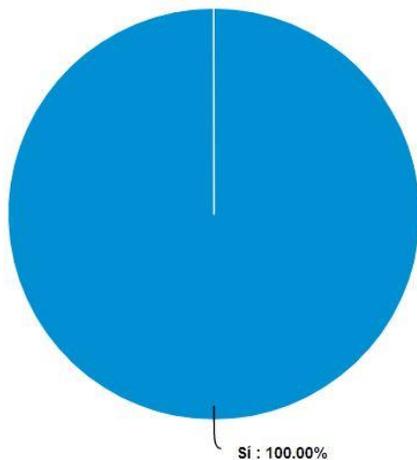
3. ¿En cuál de los tres escenarios fue más fuerte en general, su sensación de estar (habitar) en el entorno virtual?



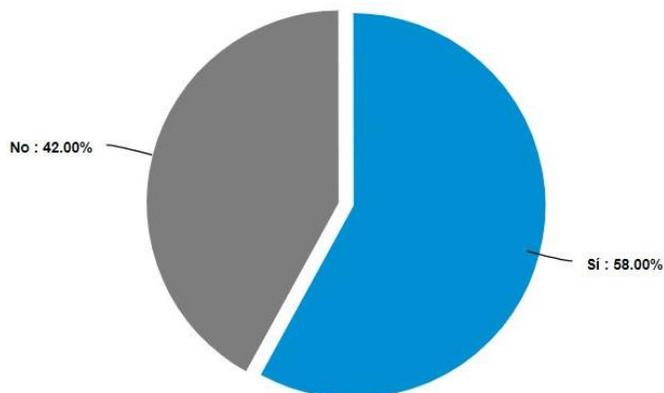
5. ¿Cómo era el clima del día?



4. ¿Había viento?



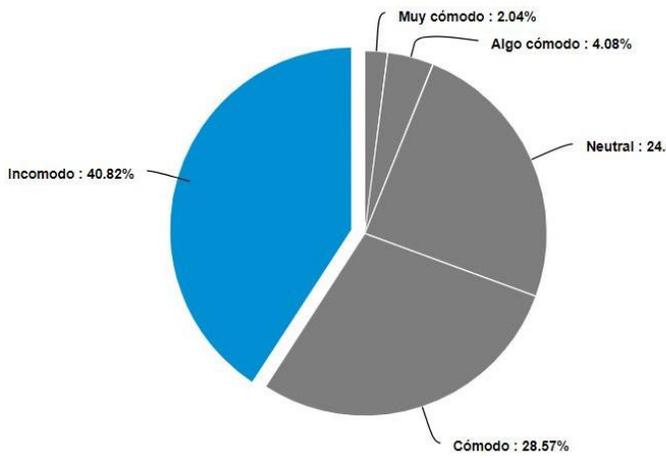
6. ¿Puedes determinar la temperatura del lugar?



Responder	Contar	Porcentaje
Si	15	100%
No	0	0%
Total	15	100%

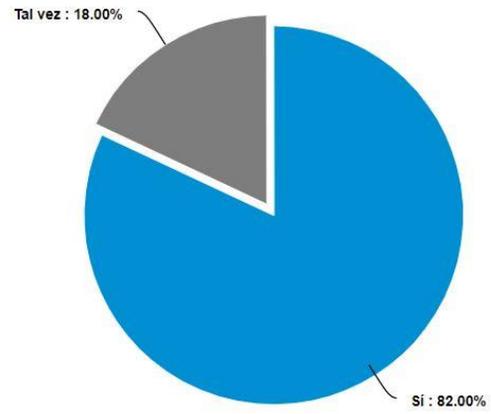
Responder	Contar	Porcentaje
Si	12	58%
No	8	42%
Total	20	100%

### 7. ¿Te sientes cómodo térmicamente?



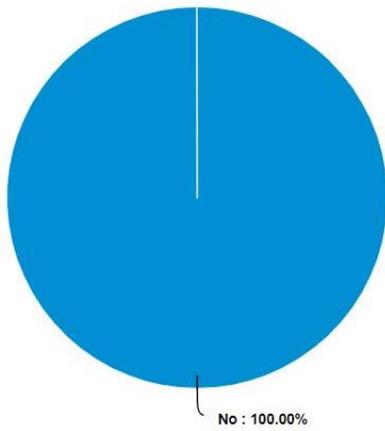
Responder	Contar	Porcentaje
Muy cómodo	1	2.04%
Algo cómodo	3	4.08%
Neutral	13	31.45%
Cómico	14	33.73%
Incomodo	20	40.82%
Total	49	100%

### 9. ¿Hace frío?



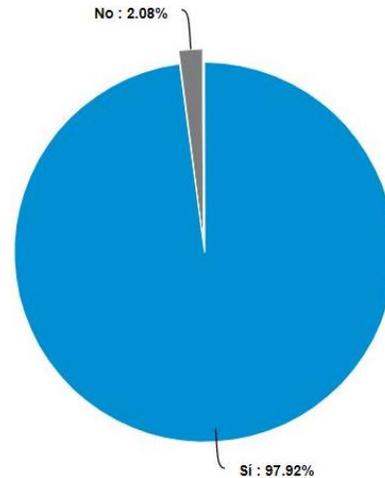
Responder	Contar	Porcentaje
Si	41	82%
Tal vez	9	18%
Total	50	100%

### 8. ¿Hace calor?



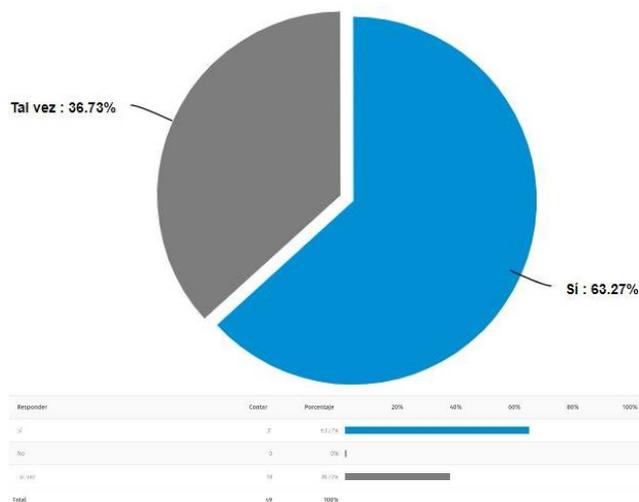
Responder	Contar	Porcentaje
Si	0	0%
No	48	100%
Tal vez	0	0%
Total	48	100%

### 10. ¿La información auditiva te permite identificar un flujo de viento?

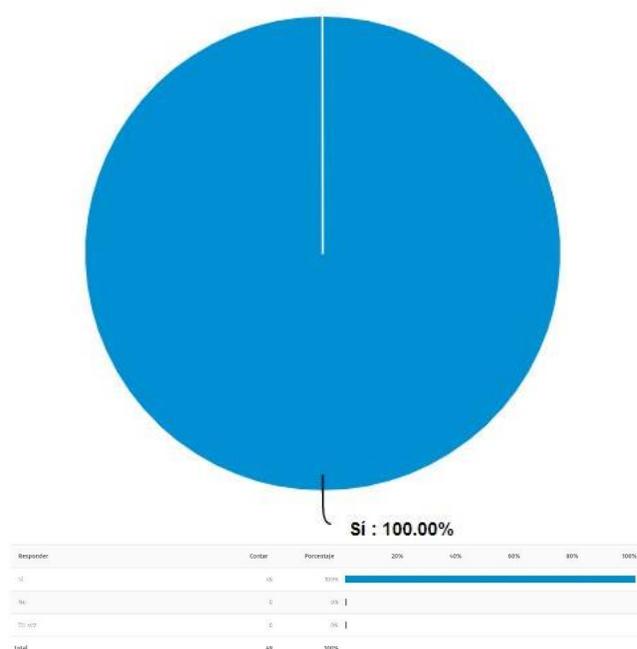


Responder	Contar	Porcentaje
Si	47	97.92%
No	1	2.08%
Tal vez	0	0%
Total	48	100%

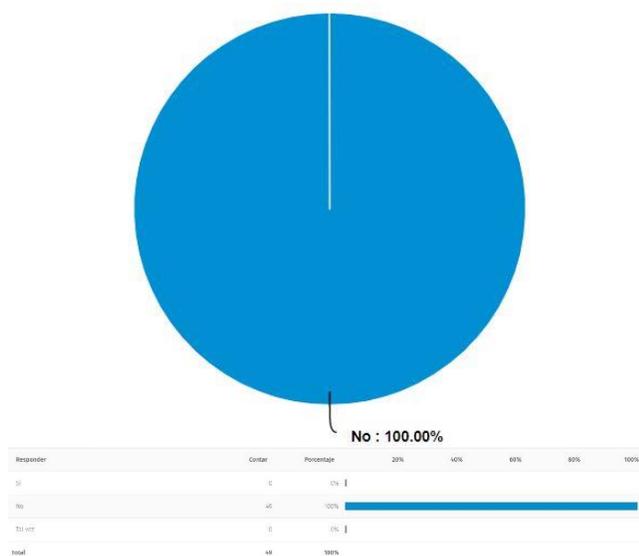
### 11. ¿Había buen olor?



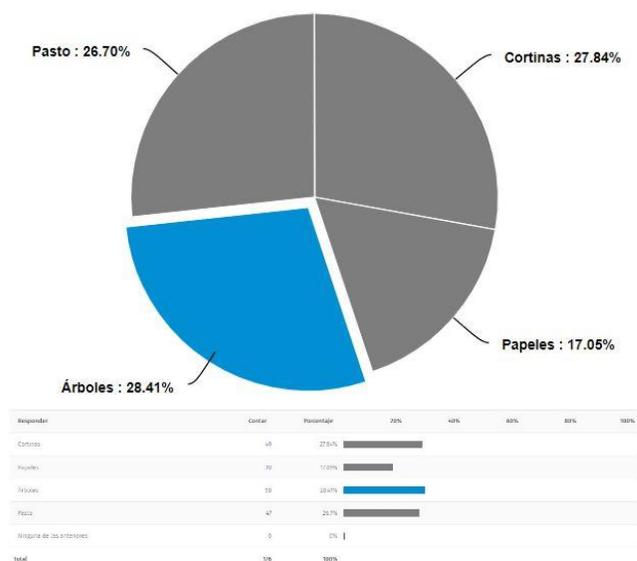
### 13. ¿Puedes identificar la dirección del viento?



### 12. ¿Había mal olor?



### 14. ¿Qué elementos te permiten saber que existe viento?



Para el escenario 1, el nivel de experiencia de habitar en el entorno virtual es de un promedio de 3.56, donde 7 era la experiencia normal en la realidad. Comparando estos resultados con los resultados obtenidos de los escenarios 2 y 3 (teniendo en cuenta que el escenario 1 no consideraba información audiovisual de temperatura del viento y movimiento del viento). El escenario 3 tuvo una

mejor calificación de parte de los estudiantes, donde el promedio fue de 5.4, sobrepasando casi dos puntos a la experiencia del escenario 1, por lo que se puede inferir fácilmente que no implementar información audiovisual perjudica drásticamente la inmersión en el entorno virtual.

Se refleja completamente en los niveles obtenidos en la pregunta número uno, donde un 48% de los usuarios califica su sensación de habitar con un 3 en el caso del escenario 1, que se encuentra muy por debajo de los escenarios restantes en los cuales sí se implementó el uso de variables ambientales.

En cuanto al **movimiento del viento**, los usuarios no fueron capaces de identificar esta variable en el caso del escenario 1, donde un 96% rectifica que no había viento presente en el modelo.

Para el escenario 2 y 3, un 96% y 100% respectivamente, afirma que sí existe viento en los escenarios. Como se definió previamente, la diferencia entre los últimos dos escenarios varía en la velocidad del viento, el escenario 3 tiene un mayor porcentaje dado que la presencia del viento era más dominante.

Los resultados de la pregunta 11, demuestran que si es factible recrear la dirección del viento, en donde los escenarios 2 y 3, mostraron que un 100% de los usuarios puede identificar la dirección del viento, indicativos que se relacionan directamente con los resultados de la última pregunta, que son fundamentales para identificar qué variables de modelado son necesarias para reconocer una corriente de aire en el escenario.

La variable con más importancia fueron los árboles, con 50 votos que aseguran que contribuyen a deducir la dirección del viento, seguido de los árboles, las cortinas obtuvieron 43 votos, luego se encuentra el pasto con 35 votos y finalmente el papel con 8 votos, estos resultados corresponden al escenario 2. En consecuencia, se puede deducir que existe una relación entre la masa del elemento y la variable a recrear, teniendo en cuenta el caso de los árboles que tienen mayor masa frente a las cortinas, el pasto y los papeles.

Los usuarios, a través de su percepción, reconocen el movimiento del viento principalmente a través de elementos que poseen una masa considerable, pasando a segundo plano elementos de menor masa puestos en la escena como el papel o los posters.

La información auditiva es esencial para distinguir un flujo de viento, según los resultados de la pregunta 8, demuestran claramente este factor. En el escenario 1, el 100% de los usuarios afirma que no puede identificar un flujo de viento por información auditiva, por otro lado, el 98% de los usuarios pueden identificar un flujo de viento existente por información auditiva en los escenarios 2 y 3.

Por lo tanto, el **movimiento del viento**, es totalmente replicable en la realidad virtual, en el que un flujo de viento más fuerte dispone una mayor presencia en los escenarios, la información auditiva es vital para identificar el viento y los elementos de mayor masa permiten percibir de manera más eficaz esta variable ambiental.

La **temperatura del viento**, se controlaba a base de la estación del año, colores de la escena y diferencias en algunos elementos, como el pasto y árboles secos o transpirados dependiendo de cada caso.

Para el escenario 1, un 80% de los usuarios logró identificar el clima cálido del día. Así pues, la información visual de colores mayoritariamente cálidos, sobre los elementos del contexto es efectiva para reproducir un clima específico en los escenarios de realidad virtual, a su vez en los escenarios 2 y 3, los usuarios también detectaron satisfactoriamente el clima del día, en el escenario 2 hubo un 76% que afirmó que el clima corresponde a una temperatura neutral, mientras que el escenario 3 un 90% afirmó que el clima era frío.

En cuanto a determinar la temperatura del lugar, en los escenarios 2 y 3, los usuarios mayormente podían determinar la temperatura de entorno virtual, en donde un 56% y 58% afirmaba que si podía saber la temperatura. Si bien podían señalar la temperatura, también hubo una parte importante que no podía indicar la temperatura de cada escenario, este porcentaje corresponde a un 44% y 42%, Tomando en consideración lo anterior, es ambiguo de sí los usuarios pueden determinar la temperatura de cada uno de los escenarios realmente, la ambigüedad se complementa con los resultados del escenario 1 que un 66% dijo que no podía determinar la temperatura del lugar.

Algo que cabe destacar son los resultados obtenidos de la pregunta 7 del escenario 3, los cuales indican que el 40% de los usuarios se encontraban incómodos térmicamente, esta percepción se puede dar por la de presencia audiovisual del viento presente, que en comparación con los otros escenarios era mucho más predominante y visible. En conjunto que el viento era mucho más fuerte,

colores fríos y elementos transpirados por agua, producía una sensación de frío e incomodidad, que solamente se dio en este último escenario.

La temperatura del viento, si se puede recrear a través de estímulos audiovisuales, los elementos que toman mayor importancia corresponden a la fuerza del viento y los colores implementados en la escena. Siendo más esencial la fuerza del viento y como se refleja en información auditiva y visual.

El **olor ambiental**, para el escenario 1, fue fácilmente reconocible, los elementos que tuvieron mayor importancia fue la basura y el polvo puestos en escena, los usuarios lograron identificar el mal olor que se quería reproducir en el entorno, lo demuestra el 73% que afirmó que había mal olor.

Los escenarios 2 y 3, no contaban con la presencia de estos elementos, por lo que afectó la respuesta de los usuarios, la cual fue más confusa, ya que solo existía olor de elementos como pan o donas, el 46% afirma que tal vez había buen olor para escenario 2 y casi un 40% para el escenario 3.

Se puede inferir que los elementos que emiten mal olor son más susceptibles a que los usuarios sientan mal olor que los elementos que producen buen olor. Teniendo una respuesta más consistente en el escenario que tenía mal olor versus los escenarios que no contaban con esto.

En el escenario 3, los resultados para el buen olor que se quería generar, fueron más positivos, ya que un 60% afirma que existe buen olor. En comparación con el escenario 2 no hubo ninguna modificación en cuanto a los elementos que producían algún tipo de olor, entonces surgió la siguiente pregunta, ¿Qué elemento externo produjo la sensación de percepción de un buen olor en las personas?. Uno de los factores que podría haber influido en esto es la fuerza del viento, el usuario al percibir una corriente de viento más visible en el entorno, lo que produce una corriente cruzada de aire, la que permite la renovación de este, lo que quizás podría haber colaborado con sentir un buen o un mal olor.

El olor ambiental se puede replicar, pero solo funciona efectivamente con el mal olor, quizás hay que tomar en consideración otros elementos que visualmente aporten información que indique buen olor. Los elementos que podrían ayudar a la comprensión de esta variable pueden ser un humidificador, un incienso o algún alimento que se esté cocinando, estos elementos deben funcionar a tiempo real, esto conlleva a que el incienso esté prendido tirando humo o la comida produciendo

vapor. Debido al tiempo de la investigación, no se pudo profundizar en elementos que funcionasen de esta manera, pero podrían ayudar a comprender la percepción de buen olor en los escenarios de realidad virtual.

Antes de terminar, el escenario más inmersivo fue el escenario 3, con un 87% que ratifica que este escenario fue el más parecido con la realidad. La implementación de las variables ambientales es vital para generar una mayor inmersión dentro de la realidad virtual, influyendo en el nivel de comodidad térmica y generando un acercamiento más real con el habitar arquitectónico.

## 5. Conclusiones

Finalmente, se puede concluir que si se pueden replicar variables ambientales a través de estímulos visuales, variables como la **temperatura del viento, movimiento del viento y olor ambiental**, cumpliendo con la pregunta de investigación y los objetivos específicos.

Según lo dicho anteriormente, se destaca que es muy importante incorporar variables ambientales dentro de los modelos de realidad virtual, primero para una visualización mucho más real de nuestros modelos arquitectónicos, que generalmente observamos a través de una pantalla de un computador. Al observar la arquitectura que diseñamos a una escala humana, en conjunto con variables ambientales, podemos llegar a una simulación del espacio mayor que en cualquier otro tipo de representación, ya sea un fotomontaje, un render, un plano, etc. Podría servir para tomar decisiones de diseño arquitectónico, que nos pueden llevar a resultados diferentes, ya que se actúa en situó y con variables que afectan directamente a nuestros espacios.

También, implementando valores de velocidad del viento e iluminación en cálculo real, podemos evaluar el confort térmico en cuanto a la percepción humana, lo que conlleva a diversas salidas en el proyectar arquitectónico. En la actualidad tenemos acceso a esta tecnología, la cual juega un papel importante en la evaluación y visualización del espacio arquitectónico, como arquitectos y arquitectas deberíamos implementar con mayor frecuencia en nuestros proyectos, pero debido al costo y tiempo que conlleva este proceso no lo implementamos. La realidad virtual en un futuro va a revolucionar el modo de proyectar la arquitectura y debemos adaptarnos al respecto para conseguir espacios de mayor calidad y visualmente atractivos.

## Agradecimientos

Quiero agradecer profundamente a mi profesor guía Mauricio Loyola, fue fundamental en la investigación, teniendo a mi disposición correcciones semanales que llevaron a la investigación a un camino correcto. También quiero agradecer a Alejandro Flores, quién también fue fundamental en el desarrollo de los modelos 3D y en el proceso de pasar esta información a los lentes de realidad virtual.

## Referencias

1. Giraldo G, Servières M, Moreau G. Perception of Multisensory Wind Representation in Virtual Reality. ISMAR (2020) - 19th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Nov 2020, Recife, Brazil.
2. Hulsman. F (2014). Wind and warmth in virtual reality: Implementation and evaluation. Beleafeld.
3. Heinz, Mucha, y Röcker, (2018). Extending HMD-Based Virtual Reality through Wind and Warmth, Lengo Germany.
4. K. Ito, Y. Ban, and S. Warisawa. (2019) Alteredwind: Manipulating perceived direction of the wind by cross-modal presentation of visual, audio and wind stimuli.
5. T, Siret D, Moreau G, Lescop L, (2013). Sensitive suggestion and perception of climatic effects in virtual urban environments.
6. Hernández et al.(2012). LA PERCEPCIÓN DEL ESPACIO EN LA VISUALIZACIÓN DE ARQUITECTURA MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA.
7. Montiel y Loyola. (2016). Realidad Virtual como medio de representación de la experiencia especial. Chile.
8. US EPA. (2021, 16 diciembre). Introduction to Indoor Air Quality. Recuperado 27 de junio de 2022, de [https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality#:~:text=Indoor%20Air%20Quality%20\(IAQ\)%20refers,risk%20of%20indoor%20health%20concerns](https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality#:~:text=Indoor%20Air%20Quality%20(IAQ)%20refers,risk%20of%20indoor%20health%20concerns).
9. Jsfilnz. (2021, Junio 20) Unreal Engine 5 Archviz Realism [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=xfpXN6mgfew>.