

# ENSAYO DE UN MÉTODO DE ARTICULACIÓN DE ASPECTOS PERCEPTIVOS Y TÉCNICOS EN LA VALORACIÓN DEL DESEMPEÑO LUMÍNICO DE LUZ NATURAL EN MODELOS DE AMBIENTES INTERIORES

*Manuela Aldana Sánchez<sup>1</sup>*

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta la integración de dos métodos de valoración de la luz en espacios interiores. Uno, es un método experimental que utiliza las gafas de realidad virtual para generar una experiencia inmersiva, con el objetivo de proporcionar un entorno alternativo para la valoración de preferencias de iluminación natural; el otro, es un método que identifica por medio de la fotografía digital de Alto Rango Dinámico (HDR), un mapa de luminancia y contraste, sobre un campo de visión. El propósito es vincular los enfoques técnicos y perceptivos de valoración, sobre siete escenarios diferentes de un mismo espacio interior, contrastando fenómenos independientes que permiten el análisis de conjuntos de datos complejos, y, correlacionando patrones de distribución de luminancia con preferencias del usuario.

Un incentivo importante de este experimento tiene que ver con reconocer la percepción del ser humano como un recurso esencial para enriquecer el proceso de diseño de espacios interiores. La traducción de valoraciones subjetivas a objetivos medibles puede facilitar la relación lineal o proporcionalidad entre variables de naturalezas diferentes. Aunque la correlación entre dos variables no implica por sí misma ninguna relación

---

1 Manuela Aldana Sanchez. Arquitecta. Candidata a magister en Bioclimática. Consultora Bioclimática de Exiplast S.A. Correo: manuela.al@exiplast.com.co

de causalidad (Hernández, 2010), explorar los posibles nexos que tiene la preferencia con las variables técnicas de la iluminación, permite ampliar el panorama de recursos que distingue el potencial de la experiencia como un medio prometedor para la comunicación de la luz en el diseño arquitectónico.

El objetivo de este trabajo como experimento de una metodología compuesta, es articular enfoques para el reconocimiento simple de datos técnicos lumínicos, en contraste con la valoración de las percepciones de un panel de expertos, permitió traducir y visualizar técnicamente sus preferencias, con el fin de acercar las intenciones formales del diseño con la perspectiva del observador, facilitando la integración de ambos enfoques durante el proceso de diseño.

## **Problemática**

El proceso del diseño arquitectónico se puede ver limitado a un conjunto de restricciones que impiden responder a las necesidades o deseabilidades de los individuos en el mismo grado de refinamiento; las preferencias de los usuarios de alguna manera tienen que ser sintetizadas, y el papel principal del arquitecto es hacer este compendio de la mejor manera posible (Salazar & Gonzalez, 2012). El equilibrio entre variables y limitaciones que conducen a una solución de diseño espacial satisfactorio, no puede basarse únicamente en criterios medibles; partir de un enfoque de carácter cualitativo a la hora de diseñar, puede enriquecer significativamente la experiencia del ser humano con el espacio (Andersen, 2015).

El análisis cuantitativo y técnico del espacio arquitectónico puede ser un medio para comprender las relaciones físicas y el orden de causalidad externo (Hernández, 2010), especialmente el fenómeno de la luz natural. La luz natural influye en todos los aspectos de la vida del hombre, mediando aspectos tan esenciales como su espectro visual, su ciclo circadiano y su comportamiento (Margulis y Olendzenski, 1996). Es por esto que el diseño de luz natural en particular vincula la mirada crítica de los fenómenos físicos, articulando variables técnicas y perceptivas en sus efectos sobre el espacio.

Los sistemas métricos que demarcan la calidad en términos de desempeño lumínico al interior de los espacios, han sido bien aceptados como un recurso que delimita objetiva y cuantitativamente los niveles, y distribuciones lumínicas de un espacio, pero en términos de preferencia subjetiva y de percepción lumínica, aún se mantiene una brecha difícil de delimitar. El análisis cualitativo de la luz en un espacio arquitectónico es un proceso complejo de interpretar, pues tiene un lenguaje descriptivo y varía con cada persona, concibiendo la percepción del ser humano como una medida de valoración empírica, que reta al diseñador en su proceso proyectual.

Al tener en cuenta que la luz natural es un fenómeno físico que tiene tanta incidencia sobre la experiencia perceptiva del ser humano, aparece la necesidad de articular diferentes enfoques de valoración, permitiendo la implementación de nuevas metodologías que representen patrones, correlaciones y tendencias. La dependencia de los componentes del proceso de diseño arquitectónico no puede ser siempre objetiva, aun así, los desarrollos del mundo moderno han acelerado en gran medida estos procesos creativos y humanistas, subestimando el valor del enfoque cualitativo de la luz natural y diluyendo sus maneras de comunicarse y distinguirse con relevancia en los procesos de diseño. (Salazar & Gonzalez, 2012).

En ese mismo sentido, la capacidad de comunicar el efecto subjetivo del desempeño lumínico de un espacio interior podría presentarse como otra forma de procesar estrategias de diseño de iluminación a la inversa, en donde, si es posible entender el deseo del usuario como el objetivo que se desea despertar en el ser humano, se podrían recrear los efectos de luz necesaria o deseada, y consecutivamente, diseñar una metodología que permita consolidar los objetivos definidos a través de la forma geométrica de las entradas de luz, así:

Lo cualitativo..... → .....Lo cuantitativo

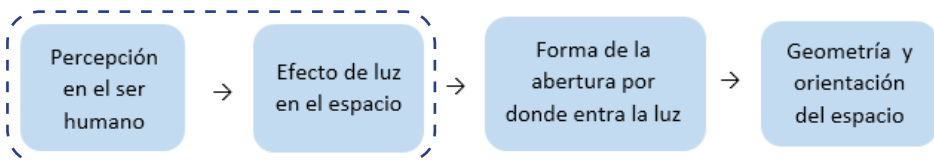


Figura 1 – Esquema que resume el procedimiento inverso propuesto en el proceso proyectivo de la luz natural en ambientes interiores. Producción del autor.

El reconocimiento de brechas entre la comunicación técnica de la luz y la preferencia visual del ser humano permite identificar baches no solo en el proceso de diseño, sino en la concepción de la teoría en la práctica, y la desarticulación de lo que se diseña con el efecto en el usuario que habitará lo diseñado.

Por todo lo anterior, la pregunta a resolver en este trabajo es:

---

*¿Es posible relacionar por medio de un método, los aspectos técnicos de la luz natural y las preferencias lumínicas de las personas en diferentes escenarios interiores?*

---

## Objetivos

### Objetivo general

**Ensayar un método** de articulación de aspectos **técnicos** y **perceptivos** en la valoración del desempeño lumínico de ambientes interiores.

### Objetivos específicos

- **Identificar** los niveles de **luminancia** en el campo visual, para el reconocimiento de **datos técnicos** del comportamiento lumínico en diversos ambientes interiores.
- **Evaluar** aspectos de **preferencia lumínica** en ambientes interiores, a través de la valoración de las **percepciones por parte de un panel de expertos**.
- **Relacionar** los resultados de las evaluaciones **técnicas y perceptivas** de los efectos de la luz natural al interior de ambientes interiores.

## Justificación

Dentro del amalgama de variables del proyecto arquitectónico, la luz natural en particular ha sido uno de los factores más significativos y determinantes dentro de los procesos del diseño arquitectónico, pues revela volúmenes y texturas que dotan de carácter las intenciones formales de un espacio, impactando no solo en su apariencia sino en la capacidad de realizar tareas visuales al interior, e influyendo en distintos comportamientos y estímulos humanos (Boyce, 1981).

La arquitectura en especial ha dispuesto de este recurso para su aprovechamiento y desarrollo, explorando formas de domesticar sus efectos y maximizar los beneficios que provee la iluminación del sol, haciendo de un recurso ilimitado, el medio de exploración de muchos otros procesos. Es por esto que la iluminación natural ha sido foco de innumerables investigaciones que proponen fuertes vínculos de la luz con los comportamientos biológicos y psicológicos del ser humano (Boyce, 1981; Evans, 2007; Fontenelle, 2008; Mardaljevic, Hescong, & Lee, 2009; Parpairi, Baker, Steemers, & Compagnon, 2002, entre otros), permitiendo comprender, como desde un enfoque cuantitativo que da respuesta a las necesidades de visibilidad, se pueden crear estrategias que enriquezcan cualitativamente la estética de los espacios.

Sin embargo, y aunque el panorama científico parece alentador, es bien sabido que durante el último siglo del desarrollo de la humanidad como sociedad, los procesos acelerados del consumo, la producción y la construcción de la infraestructura de las ciudades, han simplificado y replicado los fenómenos naturales que aportan a las condiciones de confort del ser humano, haciendo una simulación artificial de estos y homogenizando las variables que impactan el interior de un espacio, con el fin de simplificar los procesos de construcción que resuelven el desafío de vincular los espacios cerrados con su entorno.

Además, con el auge de la sistematización de fenómenos y la globalización de estándares de calidad de los ambientes interiores, surge la necesidad de unificar lenguajes, acogiendo por primera vez, algunas unidades bases de medida que puedan ser entendidas en diversos contextos, con el fin

de reconocer y unificar las formas de integrar magnitudes físicas. El siglo XX trae consigo grandes evoluciones resultantes de esta era industrial, siendo el Sistema Internacional de Unidades (SI) una de ellas, como un lenguaje que conecta perspectivas técnicas pero que diluye percepciones diversas.

Con la formalidad del SI, el manejo cuantitativo de la luz adquirió un papel protagónico a mediados del siglo XX, especialmente por el interés de garantizar “niveles uniformes de iluminación interior”, dirigiendo a la abstracción del fenómeno lumínico, y por ende, a la sustitución de la iluminación natural por la artificial, subestimando el valor del enfoque cualitativo de la luz natural y diluyendo sus maneras de comunicarse y distinguirse con relevancia en los procesos de diseño (Salazar & Gonzalez, 2012).

Tiempo después, y con la producción desmedida de las emisiones de CO<sub>2</sub> que generaron los hábitos modernos de los habitantes al interior de los edificios, surgieron nuevos pensamientos en torno al modo de diseñar y construir espacios, vislumbrando a principios de los años setenta, las consecuencias ambientales de la llamada “Sociedad Industrial” (Club de Roma, 1971). Con el tiempo la integración de la construcción de criterios de rendimiento en el proceso de diseño comenzó a recibir un gran nivel de atención, haciendo de la luz natural un medio imprescindible para disminuir el impacto ambiental de las edificaciones, y dirigiendo los procesos de diseño y constructivos, a una oportunidad operacional de menor consumo (IDAE., 2005). Todo este movimiento surge con mayor contundencia a finales del siglo XX, teniendo un objetivo básico e ineludible, y es que cualquier ahorro sólo puede ser efectivo si mejora las condiciones de confort y bienestar del ser humano (Andersen, 2015).

De igual manera, comprender la percepción del fenómeno físico de la luz en el ser humano, permite apreciar e influenciar positivamente el proceso de diseño (Baker & Steemers, 2013). La oportunidad de proponer un camino alternativo para relacionar el enfoque preferencial y el técnico, alineando el proceso del diseñador con los objetivos perceptivos del usuario, posibilita la proyección de un espacio que se analice desde el efecto en el ser humano antes que desde la forma.

Es por esto que con el propósito de concebir el diseño de espacios para el ser humano, surge una ola de profesionales y académicos, que analizan

los procesos de diseño con el entendimiento de las respuestas sensoriales, de confort y esencialmente subjetivas del ser humano, retomando los enfoques de las variables desde el punto de vista humano y recuperando alternativas, exploraciones e investigaciones con un enfoque cualitativo (Andersen, 2015; Kynthia, Chamilothoni. Jan, Wienold. Marilyne, 2016; Rockcastle, Chamilothoni, & Andersen, 2017).

Mujeres como Maryline Andersen, Kynthia Chamilothoni, Jennifer Veitch y Siobhan Rockcastle, representan y promueven a través de sus proyectos de investigación sobre la luz natural, la hegemonía de un diseño humano, dirigiendo la mirada a restablecer la función de los indicadores emocionales y perceptuales en un idioma claro que aporte al rendimiento arquitectónico, justificando la humanización desde lo científico, y detonando nuevas perspectivas para que la arquitectura pueda relacionar criterios cualitativos y cuantitativos de la iluminación. En la mayoría de los procesos de diseño, los arquitectos tienen que confiar en la intuición y la experiencia para evaluar los efectos lumínicos en el espacio (Andersen, 2015), abriendo paso a los proyectos de investigación que se puedan concentrar en el enfoque perceptivo como fuente de información.

Además del progreso que representa la humanización del proceso de diseño, es importante reconocer los avances que le ha permitido la tecnología a la ciencia. Recursos como la realidad virtual, la simulación de espacios virtuales y la fotografía digital, han resuelto grandes brechas de la comunicación visual, y como resultado, ha habido una tendencia creciente hacia el uso de presentaciones virtuales en la investigación. Dentro de estas han surgido indicadores para tratar de cuantificar o enmarcar la calidad de la luz, identificando relaciones entre variables físicas como el brillo y la preferencia de los ocupantes (Rockcastle & Andersen, 2013), basándose en imágenes 2D y fotografías convencionales como puntos de referencia (Veitch, 2016), e incluso en la cualificación del fenómeno de la luz por medio de renders (Newsham, Richardson, Blanchet, & Veitch, 2005), probando métodos de aproximación que aseguran que estos tipos de representación de la luz, son un medio prometedor para investigar impresiones objetivas y subjetivas, del espacio y la luz (Newsham et al., 2010; Cauwerts, 2013; Mahdavi y Eissa, 2002; Wymelenberg & Inanici, 2014).

Dentro de todos estos avances en torno a la iluminación natural, se detecta un reto desde el lenguaje, puesto que en muchos casos hablar de luz es hablar de percepción, y la percepción es consecuencia de la naturaleza subjetiva, siendo la luz, un factor que impacta fuertemente las formas en que se experimenta un espacio. Las imágenes fijas han sido parte del proceso durante décadas y finalmente, el éxito de los proyectos, se basa en representaciones realistas que permitan una experiencia versátil de lugares que aún no se han construido (Veitch, 2016).

En conclusión, los medios de representación digital y la valoración perceptual de la iluminación, adquieren cada vez más peso en el ámbito científico, pero más aún, representan una oportunidad para vincular perspectivas del diseño que puedan mejorar el desempeño ambiental en el ámbito real. La arquitectura debe funcionar con lenguajes transversales de rendimiento que acojan la mayor cantidad de enfoques, comunicando fronteras por medio de la luz natural.

## **Metodología**

La metodología de este trabajo consiste en la valoración de los efectos de iluminación natural al interior de 7 escenarios desde dos enfoques distintos. Un enfoque técnico y otro perceptivo, desarrollado a través de dos procesos paralelos. Para el enfoque perceptivo fueron utilizadas fotos de modelos arquitectónicos haciendo uso de la realidad virtual, mientras que para el enfoque técnico fueron analizados modelos a partir de fotografías especializadas.

Los sujetos que participaron en el estudio de valoración son expertos en iluminación y el diseño de iluminación natural, algunos académicos y todos profesionales con al menos dos años de experiencia en ésta área.

A continuación, se exponen las tres etapas que describen a grandes rasgos, la secuencia que se realizó en el ensayo metodológico:



## Etapa 1: Instrumentos y Objetos de estudio

La primera etapa es una etapa de contexto en donde se describen brevemente los instrumentos y materiales implementados, la presentación de los escenarios y el paso a paso de la captura de fotografías en 360 y en 2D.

## Etapa 2: Levantamiento de datos

La segunda etapa presenta los flujos de identificación de datos técnicos y la valoración de percepciones, exponiendo por separado las metodologías que se hicieron de forma paralela para la presente investigación.

## Etapa 3: Análisis de resultados

La etapa final se dispone a contrastar y analizar los resultados de los dos métodos de valoración en paralelo para contrastar y vincular los resultados, obteniendo un panorama que permita reforzar los vínculos entre el enfoque técnico y las preferencias visuales en los efectos de iluminación natural en ambientes interiores.

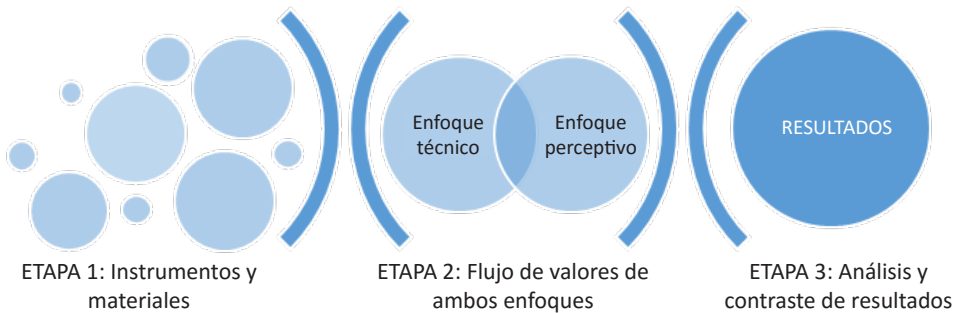


Figura 14 – Esquema resumen de las etapas de la metodología. Producción del autor

A continuación, se presenta el diagrama que resume la metodología completa, con la exposición de una secuencia bifurcada por ambos enfoques que finalmente se conectan para contrastar y relacionar los resultados obtenidos. El modelo de este ensayo toma como referencia recursos y métodos preexistentes expuestos en el marco teórico y conceptual, como flujo de trabajo alternativo que se alimenta de otras trayectorias investigativas.

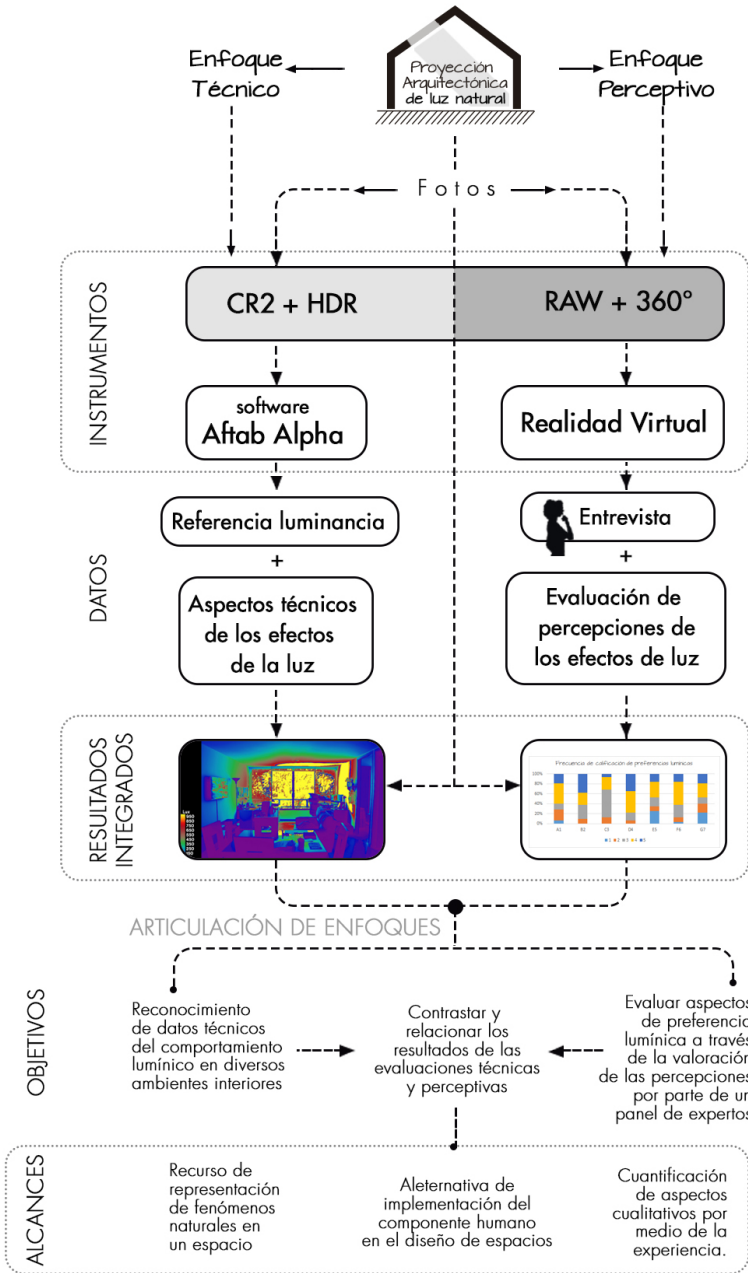


Figura 15 – Esquema resumen de la metodología. Producción del autor

## Etapa 1

### **Instrumentos y Objetos de estudio:**

#### **INSTRUMENTOS:**

Las herramientas se categorizaron a partir de su enfoque, dividiendo el proceso metodológico en dos ramas desarrolladas de manera simultánea, la técnica y la perceptiva.

Para el levantamiento de los datos de luminancia fue utilizado:

- Una cámara CANON EOS 70D
- Lente gran angular TOKINA 11-16mm
- Software Aftab Alpha
- Un Luxómetro DIGITAL UNI-T UT-383

Para el levantamiento de los datos subjetivos se contó con:

- Una cámara INSTA360 ONE
- Unas gafas de realidad virtual LOGIC 3D VR300
- 32 participantes expertos en el tema de diseño de espacios (*Panel de expertos*)
- Un modelo de *Entrevista* para la calificación y enumeración de escenarios
- Software Excel para tabulación de datos

#### **MATERIALES:**

Para ambos levantamientos se utilizó una maqueta escala 1:10, de piezas intercambiables para la creación de los diferentes escenarios de evaluación.

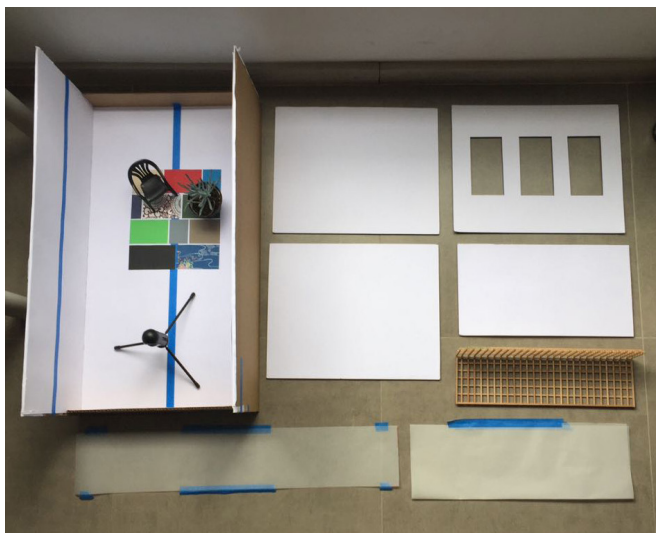


Figura 16 - Foto de la maqueta despiezada. Producción del autor



Figura 17 - Foto de las tapas superiores de la maqueta despiezada. Producción del autor

En los filtros de luz se usó albanene para generar el efecto difusor del material representando un filtro traslúcido en PRFV (Tejaluz Opal, Exiplast). La maqueta contó con un revestimiento monocromático blanco, que distingue unos elementos de colores y texturas colocados en el piso de la dirección en la que se dispuso el campo visual para la evaluación, como elementos de referencia para que la luz permitiera cambios sustanciales en su percepción.



Al interior de la maqueta se colocó una silla plástica monobloque color negro a escala (1:10) con la intención de afinar la percepción de realidad en todos los escenarios, componiendo un escenario semejante a una sala de estar, con una matera y una silla, esto con el propósito de vincular al espectador con un contexto real.

*Figura 18 Foto de la silla utilizada al interior de la maqueta con elementos que exponen su proporción.*

### **Efectos lumínicos para la evaluación:**

#### **REFERENTES:**

Para este experimento, se determinaron una pequeña variedad de espacios arquitectónicos en función de la composición interna de la luz del día, desde la penetración directa de la luz solar a las condiciones difusas de un filtro traslúcido para la entrada de la luz natural controlada.

Todos estos espacios pueden considerarse arquitectónicamente convencionales, manteniendo dentro de la investigación casos de estudio que representen la aplicación real de los efectos de luz en obras distinguidas de la arquitectura moderna, comprendiendo la composición de la luz natural que supieron otorgar arquitectos como Tadao Ando, Álvaro Siza y Louis Khan en sus procesos de diseño. Se exponen brevemente algunos referentes en la recopilación de imágenes a continuación:

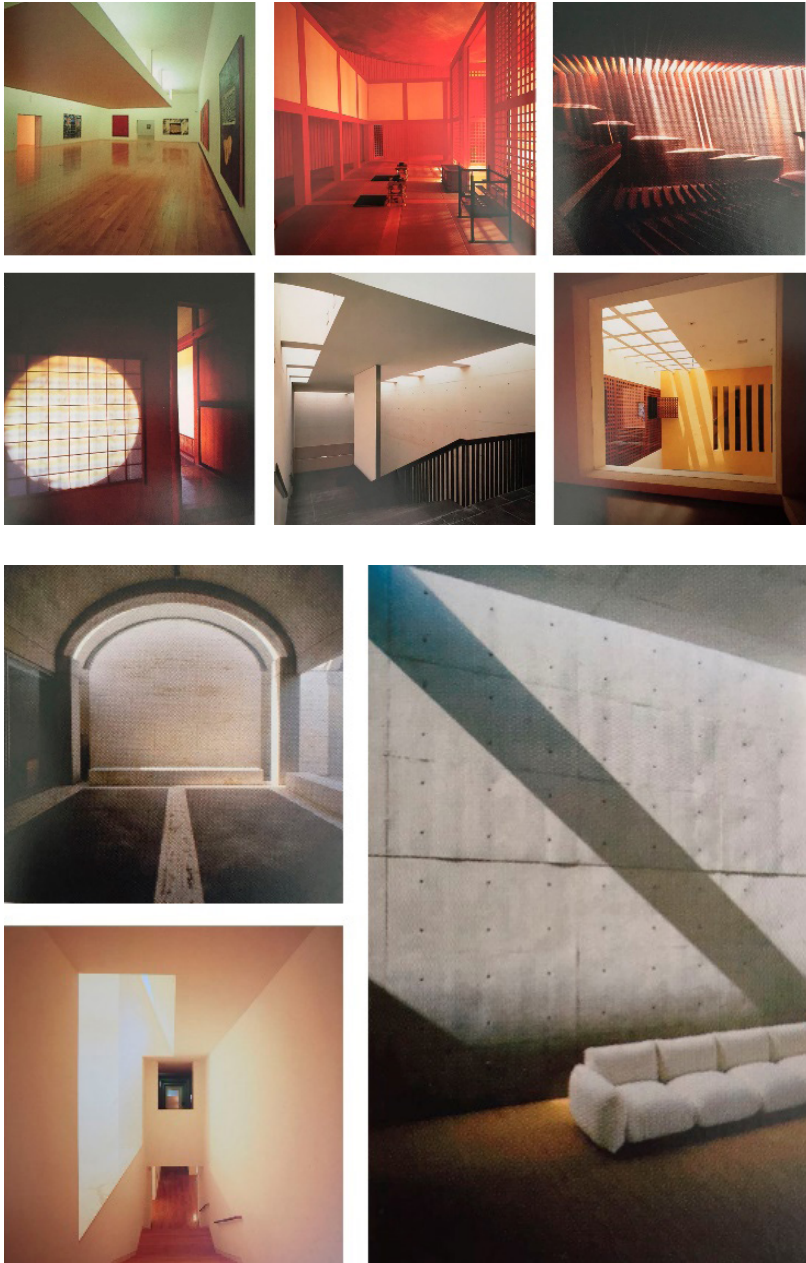


Figura 19 –Fotografías extraídas del libro *The architecture of natural light*, de Henry Plummer (2012)

## ESCENARIOS:

Cada escenario distingue efectos de luz desde unas intenciones simples que no intentan exagerar desmedidamente los efectos planificados de luz. Todos estos, representan una construcción distinta del efecto lumínico, jugando con distintas superficies abiertas, tres porcentajes de abertura en el volumen y la posibilidad de filtro de la luz difusa, paso de luz directa y entrada de luz por reflexión. En la siguiente tabla se presentan los parámetros de composición de los escenarios que se eligieron con base en los referentes estudiados.

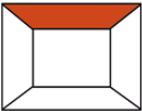
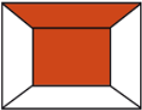
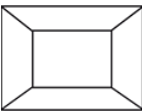
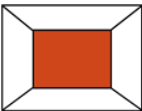
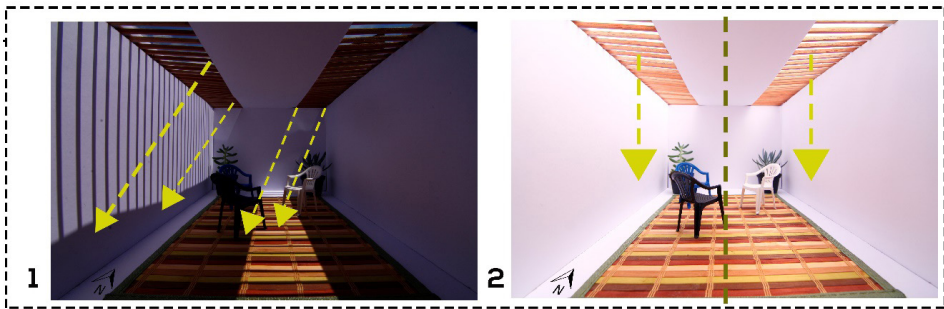
SELECCIÓN DE ESCENARIOS A EVALUAR					
ESCENARIOS	SUPERFICIE DE ABERTURA	% DE ABERTURA en el área de la envolvente	EFECTOS DE LUZ	REFERENTES	
				PROYECTO	AUTOR
A1: Pérgola Directa		15%	Directo	Tuskegee Chapel - Alabama, Estados Unidos	Paul Rudolph
B2: Pérgola Difusa			Difuso	Auditorio y Palacio de Congresos de Castellón - Castellón de la plana, España	Carlos Ferrater
C3: Calados Directa		10%	Directo	Yoshijima house - Takayama, Japón	Nishida Isaburo
D4: Calados Difusa			Difuso	Water Temple - Hyōgo, Japón	Tadao Ando
E5: Cielo Descolgado		5%	Reflejado	Kimbell Art Museum - Texas, Estados Unidos	Louis Kahn
				Galician Centre of Contemporary Art - Galicia, España	Álvaro Siza
F6: Tres ventanas directa		5%	Directo	Templo Tres Ventanas - Machu Pichu, Perú	Aztecas
G7: Tres Ventanas Difusa			Difuso		

Tabla 1 – Caracterización de escenarios. Producción del autor

El espacio de estudio fue de 4x7m, con una altura de 3m, dando como resultado un área de 28m<sup>2</sup> y un volumen de 84m<sup>3</sup>. Todos los escenarios contaron con la misma orientación, permitiendo el acceso de la luz natural desde la fachada Norte y cenital para mediar el efecto de la entrada de luz natural del medio día, del día de la sesión de fotos final (2 de junio del 2018), para una captura aproximada de asoleamiento de 38° azimut ESTE, y una altura de 67°, desde las coordenadas de la ciudad de Medellín (6°25'N, 75°34'O).

A continuación, se presentan los escenarios con sus características diferenciadoras y sus aspectos generales. Las siguientes imágenes hacen parte de una sesión de fotos alternativa que conformó parte del proceso de investigación para poner a prueba las condiciones de evaluación previas a la sesión de fotos definitiva, por eso la imagen puede verse con una escenografía diferente, pero responde a la misma composición.

### ***Escenario A1 y B2: Tipo Pérgola:***



*Figura 20 –Fotografías de los escenarios A1 y B2. Producción del autor.*

Los primeros dos escenarios corresponden al mismo espacio pero se diferenciaron por el filtro de luz -difusa y directa-. Ambos espacios contaron con un 15% de área de abertura, concentrando la entrada del efecto de luz por los costados laterales del espacio de forma simétrica vertical.

Estos escenarios presentaron la mayor abertura propuesta, dirigiendo a una percepción que pudo parecer incómoda por deslumbramiento, teniendo en cuenta su composición.



### ***Escenario C3 y D4: Tipo Calado:***

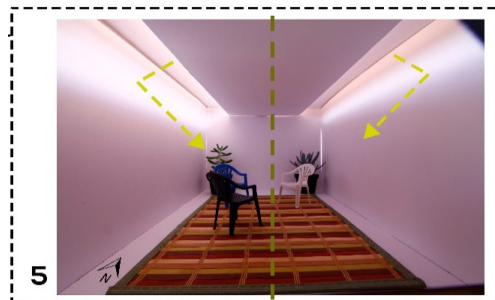


*Figura 21 –Fotografías de los escenarios C3 y D4. Producción del autor.*

Estos dos escenarios también se diferenciaron por el filtro de luz difusa y directa, pero ambos espacios contaron con un 10% de área de apertura de la luz natural. El efecto de luz estuvo focalizado en la parte superior del fondo, matizando la entrada de luz a través de calados que conformaron una retícula.

Ambos escenarios permiten cierto grado de contacto con el entorno exterior, puesto que la abertura en el espacio estuvo a una altura cercana a la línea de horizonte, abstrayendo además de una imagen de fondo a considerar dentro de las percepciones de los evaluadores, una entrada de luz reflejada en las superficies blancas del exterior.

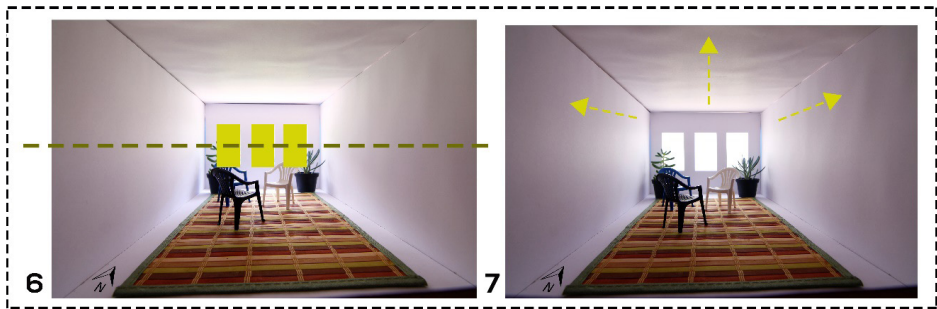
### ***Escenario E5: Tipo Cielo Descolgado:***



*Figura 22 –Fotografía del escenario E5. Producción del autor.*

El escenario E5 se diferenció de los demás por no tener la abertura de luz visible, distinguiéndose del resto de espacios significativamente. El efecto de luz entró al espacio de forma cenital indirecta, a través de luz reflejada por el cielo descolgado que quedó superpuesto a la abertura superior, esta grieta corresponde a un 5% de área de abertura en el volumen total del espacio.

### **Escenario F6 y G7: Tipo tres ventanas**



*Figura 23 –Fotografías de los escenarios F6 y G7. Producción del autor.*

Estos dos escenarios tuvieron la apertura de luz por tres ventanas con igual tamaño entre ellas, diferenciando un escenario del otro por el filtro de luz difusa que se pudo observar en el escenario G7. Ambos espacios contaron con porcentaje de área de abertura del 5%, con entradas de luz localizada en tres puntos que se ordenaron de forma simétrica, simulando un espacio residencial convencional que bien pudo ser un lote medianero. Es el escenario que tuvo más similitud con las entradas de luz de un espacio residencial usual.

### **LUGAR DEL REGISTRO DE LAS IMÁGENES:**

La toma de fotografías a los escenarios se realizó en dos sesiones diferentes con el propósito de afinar métodos y medidas de las tomas de fotografías a los escenarios. Ambas sesiones se generaron en un parque infantil abierto, sin ningún elemento aledaño que pudiera generar sombra sobre la maqueta.

Para registrar las condiciones del entorno se capturó el tipo de cielo en el momento de la toma de fotografías (2 de junio del 2018) con el registro

de iluminancia respectivo para controlar los niveles de luz que hubo en el exterior y los niveles de luz que alcanzaron a penetrar el interior del espacio durante todo el procedimiento.

### ***Cielo del escenario A1 y B2:***

Cielo despejado (11:10am) – Promedio de iluminancia exterior:  
128.900 lx

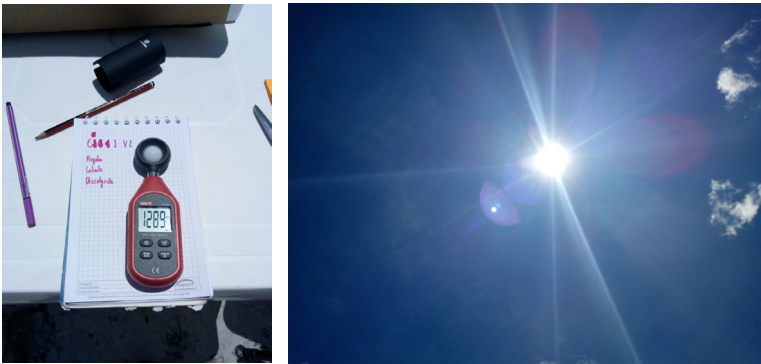


Figura 24 –Fotografía del cielo durante la captura de fotos en los escenarios A1 y B2.

### ***Cielo del escenario C3 Y D4:***

Cielo despejado (11:22am) – Promedio de iluminancia exterior:  
127.700 lx



Figura 25 –Fotografía del cielo durante la captura de fotos en los escenarios C3 y D4.

### ***Cielo del escenario E5:***

Cielo semi-despejado (11:36am) – Promedio de iluminancia exterior:  
123.000 lx



Figura 26 –Fotografía del cielo durante la captura de fotos en el escenario E5.

### ***Cielo del escenario F6 Y G7:***

Cielo despejado (11:47am) – Promedio de iluminancia exterior:  
130.600 lx

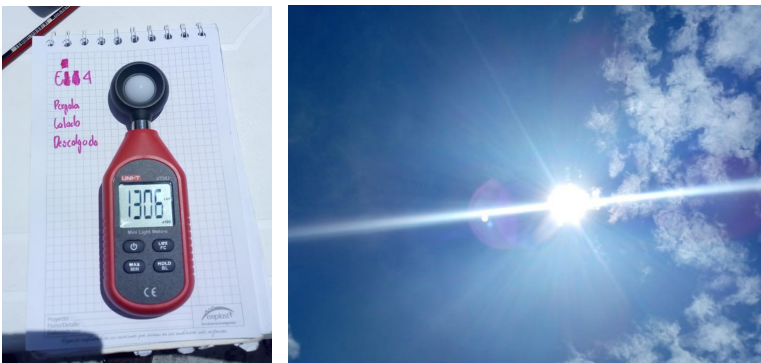


Figura 27 –Fotografía del cielo durante la captura de fotos en los escenarios F6 y G7.

## Las fotografías:

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



*Figura 28 – Sesión de fotografías en espacio abierto.*

Para mantener las mismas condiciones de luz, la toma de fotografías se realizó de manera rápida y práctica. A continuación se expone el paso a paso de cada uno de los escenarios. No sobra mencionar que los escenarios A1 y B2, C3 y D4, y, F6 y G7 son el mismo espacio, teniendo en cuenta que cada variación (efecto de luz directa y efecto de luz difusa por el filtro), generó un escenario. Para la escena E5, se siguen los mismos pasos pero al ser un espacio sin la apertura de luz visible, solo se realizó una secuencia de toma de fotografías.

Todos los escenarios se fotografiaron el mismo día en un rango de tiempo de 50 minutos, redondeando la toma de cada escenario en un promedio de 7 minutos, desafiando las variaciones del ambiente en la velocidad para atrapar las tomas, manteniendo las mismas condiciones del ambiente.

Todas las fotos fueron tomadas montadas sobre un trípode fijo, tanto para la cámara CANON EOS 70D como la INSTA360 ONE que se introduce al interior de la maqueta, para minimizar el desalineamiento y la deriva de la imagen. El lente gran angular TOKINA 11-16mm, permitió un ángulo aproximado de 93,5° horizontalmente, 70,7° verticalmente y 103,9° diagonal, logrando un objetivo focal más corto, para acentuar la perspectiva, aumentando la sensación de la distancia y ampliando el campo visual de la cámara CANON EOS 70D. Los objetos al interior de los espacios y la posición de las cámaras utilizadas, se mantuvieron ubicados en el mismo punto, con el fin de que las escenas comparadas difirieran únicamente por los efectos de luz en el espacio.

Todos los escenarios contaron con recuadros de colores en el piso para aumentar la percepción del cambio de luz. Sobre uno de los recuadros color gris se colocó para todas las escenas el luxómetro UNI-T UT-383, recolectando las referencias de luz necesarias para poder calibrar posteriormente la suma de fotografías. Como premisa se mantuvo la mayor cantidad de variables controladas, cuando no fue posible, se adaptó el margen de exigencia concentrando los resultados en contextos enmarcados.

### **SECUENCIA de toma de Fotografías CR2/HDR - Línea de Enfoque Técnico**

1. Se preparó la maqueta de la escena con el filtro difusor de luz. Esta maqueta contó con una cara abierta, ubicada en la parte trasera del escenario, pues por medio de esta superficie se ubicó la cámara CANON EOS 70D para tomar las fotos CR2, manteniendo el resto de superficie cerrada y solo permitiendo que entrara el lente en la escena, fotografiando  $93,5^\circ$  del escenario en sentido horizontal y  $70,7^\circ$  en sentido vertical a partir de la ubicación de la cámara.
2. Antes de cada captura de fotos, se midió el nivel de iluminancia con el luxómetro (UNI-T UT-383), tomando referencia de los niveles de luz para cada escena.
3. Se tomaron siete fotografías LDR en formato CR2 que cubrieran la medida máxima de una imagen HDR del escenario, basada en 7 paradas de rango de luminancia, tomando cada foto con una exposición distinta para construir una secuencia que asume las exposiciones de lento a rápido, obteniendo como resultado imágenes en formato CR2 con los siguientes tiempos de exposición y diafragmas.
  - 4 segundos + f/5,6;
  - $\frac{1}{4}$  segundos + f/5,6;
  - $\frac{1}{30}$  segundos + f/5,6;
  - $\frac{1}{250}$  segundos + f/5,6;
  - $\frac{1}{125}$  segundos + f/22;
  - $\frac{1}{1000}$  segundos + f/22;
  - $\frac{1}{8000}$  segundos + f/22.

4. Se reorganizó la maqueta para capturar la escena sin el filtro difusor de luz, obteniendo la escena de luz natural directa.
5. Sobre la modificación del punto 4 se repitió el punto 3.

A continuación, se exponen las 7 fotos LDR del escenario A1 para presentar el efecto que genera la configuración de la cámara en la captura de distintos tiempos de exposición en un solo espacio:



Figura 29 –Secuencia de fotografías tipo CR2 con distintos tiempos de exposición y diafragma, del escenario A1. Producción del autor.

La configuración final de la cámara relacionó tanto abertura como tiempo de exposición, todas con sensibilidad ISO en 100, sobre 7 capturas LDR en formato CR2 para cada escena de la siguiente manera:

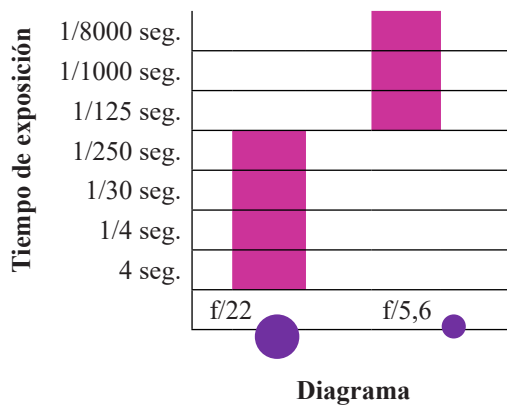


Tabla 2 – Configuración de la cámara para capturas de imágenes CR2 para conformación de HDR asumidas en la presente investigación. Producción del autor.

## SECUENCIA de toma de Fotografías 360° - Línea de Enfoque Perceptivo

1. Inicialmente se preparó la maqueta con el filtro difusor de luz. Esta maqueta mantuvo todas las tapas cerradas, encerrando incluso la cámara INSTA360, puesto que esta se activó a través de Bluetooth, configurando de manera inalámbrica la exposición de cada fotografía.
2. La cámara 360 se configuró para capturar tomas con formato RAW. La primer foto fue la toma de referencia, colocando el luxómetro al interior de la maqueta con un “*post it*” que representó de forma explícita la primera toma de cada sesión, para que al revisar el rollo de fotografías se distinguiera la secuencia de fotos de la escena que se fotografió, y así consecutivamente se pudiera relacionar la cantidad de luz en un punto específico de la maqueta para calibrar la identificación de cantidades de luz en la foto HDR (secuencia posterior).
3. Se tomaron tres fotografías LDR en formato RAW, la primera con un nivel -2 de exposición, la segunda con 0 de exposición, y la última con +2 de exposición, obteniendo tres fotografías por escena 360°, que posteriormente se fusionaron a través del software GoPro Player, conformando la experiencia inmersiva en HDR.
4. Se reorganiza la maqueta para capturar la escena sin el filtro difusor de luz, obteniendo la escena de luz natural directa.
5. Sobre la modificación del punto 4 se repiten los puntos 2 y 3



Figura 30. Espacio abierto para la toma de fotografías y toma de referencia de lx al interior de la maqueta. Producción del autor.



Posterior a la captura de fotografías en formato 360°, se integraron las tres imágenes RAW por medio del software GoPro Player y Photoshop, que recibe un formato plano como abstracción del formato 360°, otorgado por la cámara INSTA360 ONE. La suma de las tres imágenes con diferente exposición permitió identificar rápidamente el formato HDR para adquirir finalmente las escenas que simularon la visión humana, esto para la experiencia inmersiva que propone el presente experimento (CreatorUp, 2017).

Las imágenes HDR que fueron extraídas de la sesión de fotos 2D con la CANON EOS 70D exhibieron una disminución notable en el brillo desde el centro de la imagen al perímetro de la imagen. Posterior al mapa de luminancias que se diagnosticó de la calibración de fotografía HDR en Aftab Alpha, se notó la disminución de la cantidad de luz, que aparentemente no correspondía con el efecto de luz capturada por la fotografía de experiencia inmersiva 360°. Este resultado puede ser el efecto que denomina Inanici y Cauwerts como “Viñeteado” (Inanici, 2006; Cauwers, 2012), en donde desde la periferia hacia el interior, se pudo reducir el nivel de luz significativamente.

Ambas cámaras, tanto la CANON EOS 70D como la INSTAONE 360 fueron montadas en trípodes a escala del procedimiento, teniendo en cuenta que al tomar la foto 360° vía Bluetooth, la cámara se introdujo en la maqueta para capturar las condiciones reales en un panorama de 360°, y que al usar la cámara CANON, se abrió una de las fachadas contrarias al escenario para capturar los 103,9° en sentido diagonal de campo visual que fueron mapeados.



Figura 31. Trípode de ambas cámaras.

La cámara 360° cuenta con dos lentes en direcciones opuestas, ambos pueden capturar un poco más de los 180° para solucionar la costura entre panorámicas lo mejor posible. La cámara principal se colocó en dirección a la abertura, siendo esta vista la que se evaluó.

Las fotografías se tomaron con una incursión cenital del sol para un día despejado, tomando rangos de iluminación exterior que oscilaron entre los 119.000 lx y los 128.000 lx, identificando tan solo un 7% de rango de holgura en la variación de la cantidad de luz al exterior.

Otro efecto que se tuvo en cuenta dentro del procedimiento de captura HDR fue el “desbordamiento luminoso”, pues incluso la mayor apertura del lente en este estudio ( $f/22$ ), tuvo un alcance luminoso limitado, que en condiciones de exceso de luz, genera una mancha distorsionada sobre la fotografía que no correspondió a lo observado a través de la realidad virtual. Teniendo en cuenta que esto puede asumirse como un defecto que responde a la capacidad de la cámara, se omitieron las zonas manchadas para tomar referencias de luminancia o contrastes que pudieron haber entrado en el análisis de datos de los resultados finales.

La toma de fotografías se realizó en dos sesiones de fotos. La primera se realizó el 12 de mayo, en donde se reconocieron factores importantes a tener en cuenta en el experimento para ajustar las condiciones de la maqueta con el entorno y lograr capturar todos los datos relevantes. La segunda se realizó el 2 de junio durante el transcurso de la mañana, aunque se percibieron cambios menores en el ángulo del sol en este periodo, se tuvo en cuenta que las condiciones del cielo eran óptimas para mantener rangos estables de iluminación natural, dado el cielo despejado.

## Etapa 2

### Levantamiento de datos:

Esta etapa corresponde a la extracción de valores del enfoque técnico.

### PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE LUMINANCIA Y CONTRASTE:

La técnica fotográfica de imágenes de alto rango dinámico utilizada en el presente proyecto de investigación, utilizó las siete tomas con variación del enfoque de cada escena, conformando una secuencia que contiene diferentes pixeles con la exposición adecuada, subexpuestos y sobreexpuestos (Reinhard et al., 2001), identificando para cada escenario, cantidad y distribución de luminancias, para poder finalmente, distinguir los contrastes en cada ambiente evaluado.

Es por medio del software Alpha Aftab, por el cual se vincularon las 7 capturas LDR en formato CR2, con el fin de construir un mapa de colores falsos, los cuales representan los rangos de variación de la luminancia (Inanici, 2006), a partir de una referencia de luz previamente identificada en la escena real, con un sensor medidor de luz (luminancímetro, luxómetro u otro).

A continuación, se presenta brevemente los pasos que se siguieron para calibrar y realizar el mapa de falso color en representación de los niveles de luz:

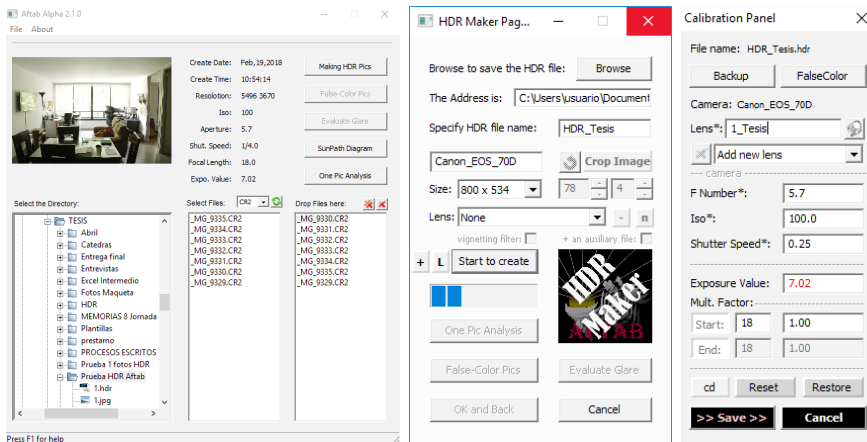


Figura 32 – Ventana inicial en donde se introducen las fotos en formato CR2 o RAW y proceso de calibración de la imagen. Producción de Aftab Alpha y el autor.

El software permite montar menos o más fotos de las que se presentan en este trabajo de investigación, se recomiendan que sean mínimo 3 fotos para resultados válidos. Es posible configurar algunos datos como el nombre del lente y el tamaño formato.

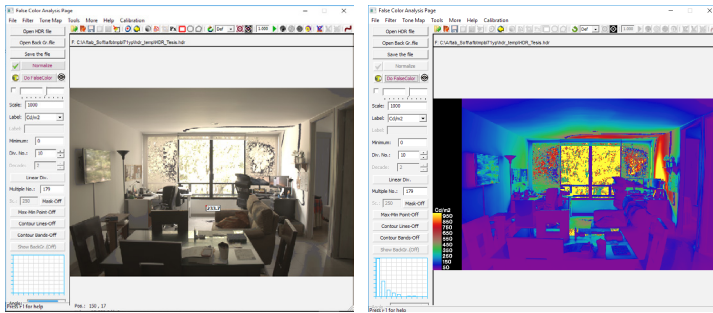


Figura 33 – Referencia de luz en la imagen y construcción de mapa de falso color. Producción de Aftab Alpha y el autor.

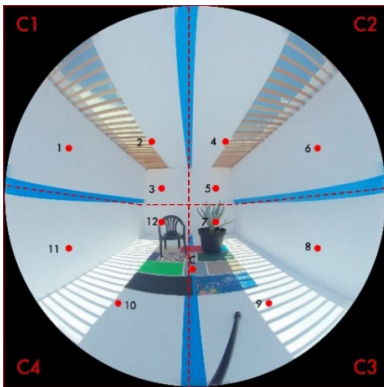


Figura 34 – Representación de referencia de 12 puntos dentro de cada una de las escenas. Producción del autor.

El software presenta varias formas de representar el análisis de luminancia detectado en la imagen, incluso permite que la barra de convenciones de color responda a distintas escalas y niveles de candela o de lux, construyendo diversidad de resultados según la necesidad.

A partir de estas herramientas se tomaron en consideración doce puntos ubicados en todas las superficies de cada escena, consiguiendo tres puntos organizados simétricamente para cada cuadrante, de modo que se mantuviera una tabulación ordenada de los niveles de luz.

### Flujo de valoración por percepción:

Esta etapa corresponde a la evaluación de valores del *enfoque perceptivo*. Para este experimento se fotografiaron 7 escenarios en total, todos aprovecharon las mismas condiciones de luz natural. El flujo de valoración cualitativo es simultáneo al flujo de identificación cuantitativa del capítulo anterior.

## PANEL DE EXPERTOS:

Los participantes del experimento de valoración se consolidaron como el *Panel de Expertos* por ser diseñadores de espacios que enfatizan en las propuestas de iluminación o académicos de la iluminación que se han especializado por años en este estudio. La valoración se realizó con 32 participantes, 15 mujeres y 17 hombres. De los 32 participantes el 66% tiene entre 20 y 29 años y el 34% tiene entre 30 y 55 años. El promedio de edad fue de 28,21 años.

De los participantes, 18 dijeron ver bien, 5 dijeron tener Miopía, 2 Astigmatismo y, 7 Miopía y Astigmatismo, concentrando la participación de personas con alguna patología visual en un 44% y los que dijeron tener buenas condiciones visuales en un 56%.

La toma de valoración se hizo a través de unas gafas de realidad virtual que permitieron hacer portátil la experiencia inmersiva, permitiendo llegar a más personas, con énfasis diversos, en poco tiempo.

A continuación, se representa en gráficas porcentuales, la participación del Panel de Expertos según su lugar de trabajo, su profesión y su énfasis profesional:

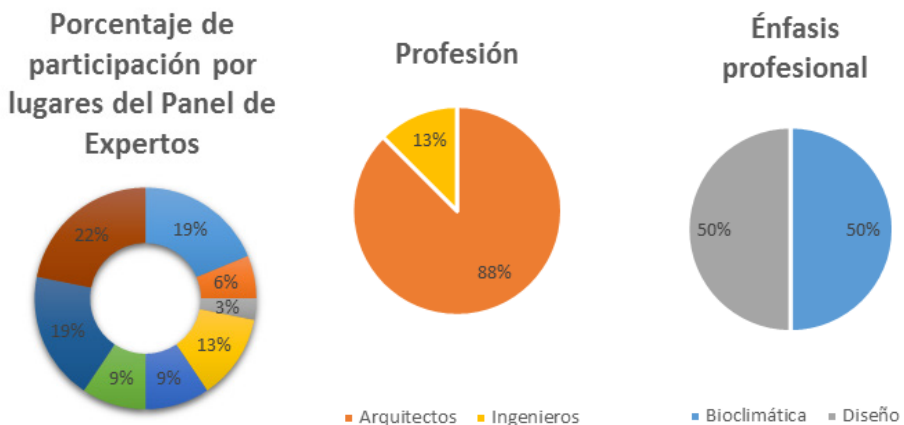


Figura 35 – Representación del porcentaje de la diversidad y la proporción de los lugares de donde pertenecen los evaluadores (Panel de Expertos), su profesión y su énfasis laboral manifestado.

## PROCESO DE LA VALORACIÓN POR PERCEPCIÓN:



La duración de la entrevista de valoración fue de 10 minutos por cada participante, realizadas en citas programadas en cada oficina o en sus casas. Al comienzo de cada sesión se pidió a cada participante que se pusiera cómodo, se le explicó cómo a través de las gafas se inmergirían en 7 escenarios distintos del mismo espacio proyectado para CONVERSAR, con el fin de que no tuvieran una actividad que les demandara alta agudeza visual y pudieran contemplar el efecto de luz en el espacio. Cada entrevista solicita los datos demográficos sobre su nombre, edad y énfasis profesional, además, se les solicitó información acerca de su salud visual, en caso de que tuvieran cualquier tipo de deficiencia. A cada participante se le pidió que usara lentes de contacto o anteojos si era necesario, para garantizar la veracidad visual de su evaluación.

Mientras que cada sujeto observó a través de las gafas de realidad virtual los 7 escenarios, se le fueron leyendo las preguntas de calificación y enumeración para que respondiera de forma oral cada una de sus respuestas, manteniendo su concentración inmersa en la experiencia virtual.

Para la encuesta se establecieron rangos de 5 posibilidades de respuesta en la calificación, para mejorar ajuste a las curvas de normalidad, siendo 5 alta preferencia, 4 media preferencia, 3 indiferente, 2 poca preferencia y 1 nada de preferencia.

Durante el proceso de calificación de preferencias, no se mencionaron conceptos del tipo “bueno o malo” ya que la escala de este tipo de mediciones no es comparativa, y se pretendió que el evaluador tomara su propio juicio sin ningún tipo de influencia.



A continuación, se presenta la entrevista realizada:

**ENTREVISTA DE VALORACIÓN DE LUZ NATURAL EN EL ESPACIO**

Nombre:
Edad:
Profesión:
Fecha:

Los siguientes escenarios representan un espacio para conversar, ubicado en la ciudad de Medellín, con unas condiciones de confort estables, a continuación se hacen unas preguntas para calificar cada escenario.

1. Según tus preferencias sobre el efecto de luz natural al interior de cada espacio, califica de 1 a 5 cada escenario presentado a través de las gafas de realidad virtual, siendo 5 muy preferido y 1 nada de preferido.

	 ---ESCALA--- 	1	2	3	4	5
Escenario 1 - PÉRGOLA con Luz directa						
Escenario 2 - PÉRGOLA con Luz difusa						
Escenario 3 - CALADOS con Luz directa						
Escenario 4 - CALADOS con Luz difusa						
Escenario 5 - CIELO DESCOLGADO						
Escenario 6 - TRES VENTANAS con Luz directa						
Escenario 7 - TRES VENTANAS con Luz difusa						

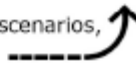
2. A continuación enumera en orden de preferencia los escenarios, empezando por el que más te gusta al que menos te gusta. 

Figura 36 – Entrevista usada para recopilación de valoraciones. Producción del autor

Las entrevistas de valoración fueron realizadas a mediados del mes de julio del 2018 en lugares de la ciudad de Medellín. Los sujetos fueron voluntarios no remunerados que fueron reclutados por correo electrónico, redes sociales y/o llamadas de invitación. El estudio se llevó a cabo para cada participante en un espacio fresco y silencioso, con el fin de minimizar los factores de dispersión que pudieran afectar la experiencia inmersiva.

Cuando estuvieron listos, y hubieran calificado independientemente cada uno de los escenarios por medio de la realidad virtual, se les pidió a los participantes que se quitaran las gafas y se les presentó las fotos impresas de los siete escenarios representados en orden aleatorio para que, organizar de mayor a menor gusto los escenarios, visualizando el panorama completo posterior a la experiencia de realidad virtual. Esto pretendió un análisis comparativo que permitiera diferenciar o “desempatar” los resultados finales de la valoración que otorga inicialmente la calificación.



*Figura 37 – Fotografía de una de las arquitectas participando de la experiencia inmersiva y la entrevista*

Los evaluadores manifestaron en general sentirse bien con el experimento. Al ser un proceso de recopilación de datos manual y presencial, se encontraron las oportunidades de conocer otras percepciones de la realidad virtual expuesta, diferentes a las que la entrevista solicita. Entre los comentarios más valiosos aparecieron preguntas acerca del tiempo, la temperatura y la compañía de la situación simulada, exponiendo cómo el ser humano se conecta con todos los factores que influyen su experiencia del espacio, sobrepasando las características de la estética espacial, y comprendiendo que el mundo de la percepción es transversal a una diversidad de factores físicos y psicológicos.



## Etapa 3

### Los Resultados

#### Análisis de resultados:

#### RESULTADOS TÉCNICOS DE LUMINANCIA:

Lo que se va a identificar desde el enfoque técnico es la distribución y proporción de luminancias ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) en el espacio y el contraste de 13 puntos de referencia que coinciden por ubicación en todas las escenas, describiendo fenómenos cuantitativos del desempeño lumínico que suceden en cada una de las escenas.

Para la presentación de las imágenes con falso color, se exponen dos versiones del mismo escenario pero con diferentes escalas de convención, con el propósito de tener un mismo rango de medida tanto para las escenas que presentan niveles de luminancia inferiores a  $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ , como para las escenas con niveles que alcanzan o superan los  $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$ .

#### ESCENARIO A1

El escenario A1 se distinguió por la definición equilibrada de sus altos contrastes, dada la apertura de luz directa cenital, esto se puede explicar por el porcentaje de abertura, paso de luz directa y hora en la que fueron tomadas las fotografías, siendo casi al medio día con cielo despejado. Por las condiciones mencionadas, se consideró que la imagen que mejor representa el desempeño lumínico es la imagen de falso color con escala de  $0\text{-}3000 \text{ cd}/\text{m}^2$ . Esta presenta una gama de colores fríos que distinguen niveles de luminancia que van entre  $150$  y  $1050 \text{ cd}/\text{m}^2$ , pero permite la diferenciación de las franjas amarillas que alcanzan más de  $3000 \text{ cd}/\text{m}^2$ , exponiendo una

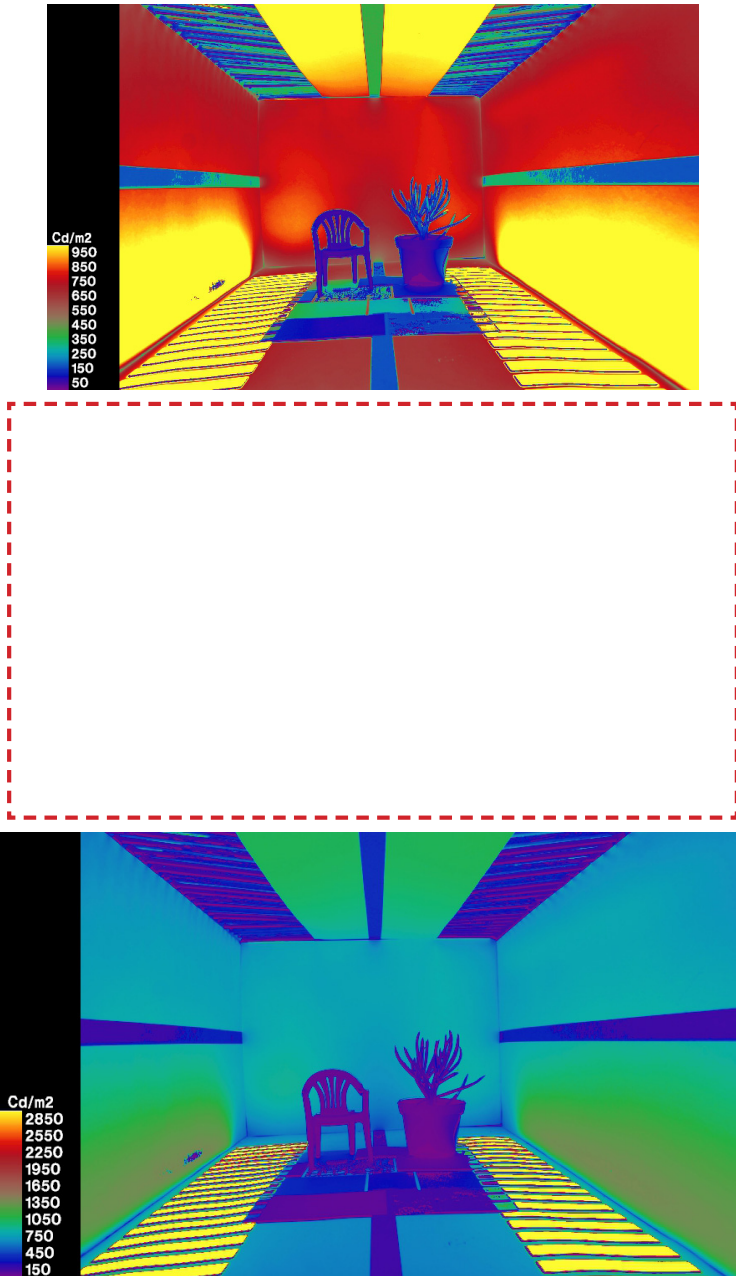
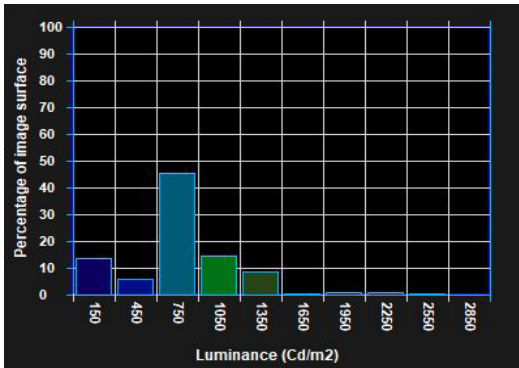


Figura 38 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario A1 con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.



Producido por Aftab Alpha y el autor.

- Valor de luminancia promedio: 884,08 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia máximo: 4167,12 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia mínimo: 1,47 cd/m<sup>2</sup>
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 97.8%

Figura 39 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario A1.

La identificación de contrastes sobre los puntos de referencia de cada escenario son producto de la referencia del luxómetro durante la sesión de fotografías + la calibración de la imagen HDR en el software Aftab Alpha y + la identificación de luz en el resto de superficies generado por el mismo software. Se consideró una selección de 12 puntos distribuidos simétricamente por todas las superficies y un punto de referencia (C:0) para una toma de datos controlada.

El punto 9 se ubica estratégicamente debajo de la superficie iluminada con luz directa para recopilar todos los datos convenientes para el análisis de desempeño lumínico cuantitativo.

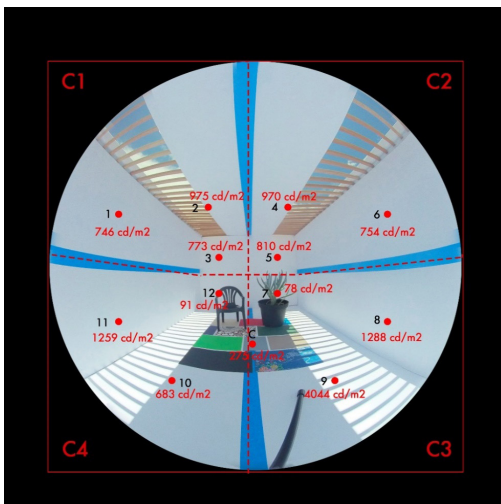


Figura 40 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario A1. Producido por Aftab Alpha y el autor.

En el análisis gráfico de contrastes sobre los puntos de referencia del escenario A1, el valor de luminancia que está ubicado en el punto de referencia 9, dista significativamente de los demás, marcando un nivel de altos contrastes de 1:52 que se evidencia igualmente en la imagen de falso color.

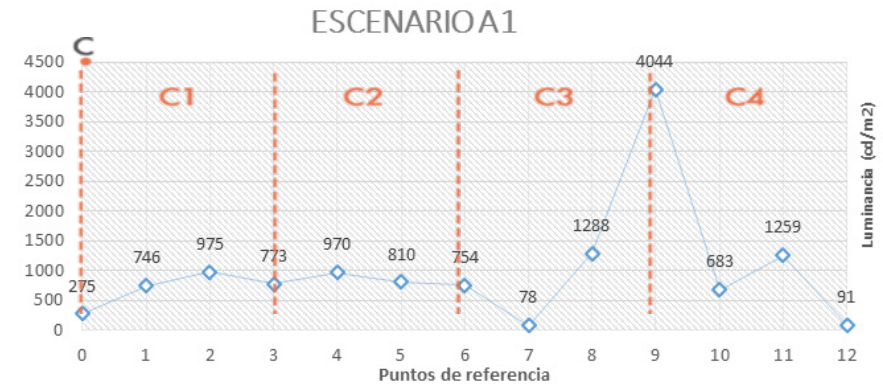
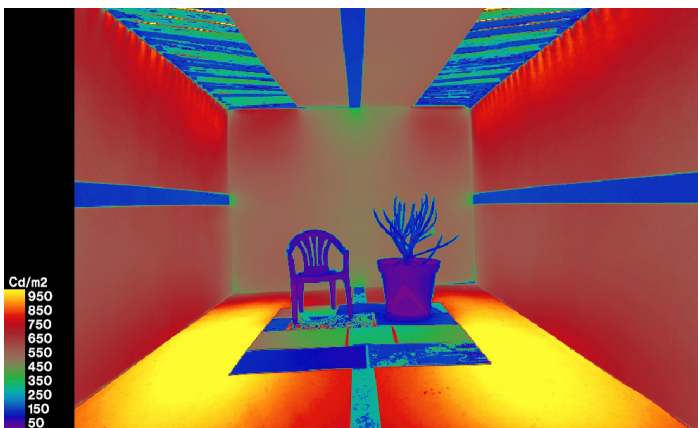


Tabla 3 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

### ESCENARIO B2

El escenario 2B se analiza al igual que el escenario A1 en la imagen de falso color de escala 0-3000 cd/m², respondiendo a los mismos puntos de comparación para proporcionar unidades de medida con un porcentaje de área de abertura del 15%. El filtro de iluminación natural difuso tiene un gran impacto sobre la cantidad y el efecto de luz que entra al espacio, suavizando los contrastes y homogenizando sustancialmente el efecto lumínico de la escena.



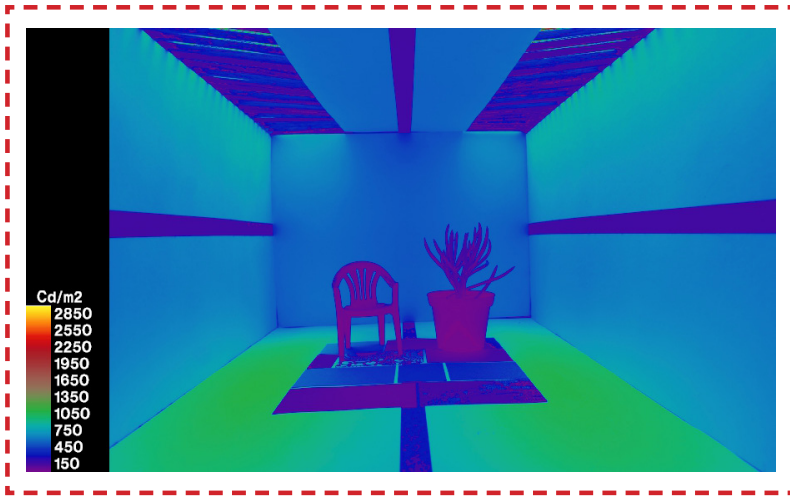
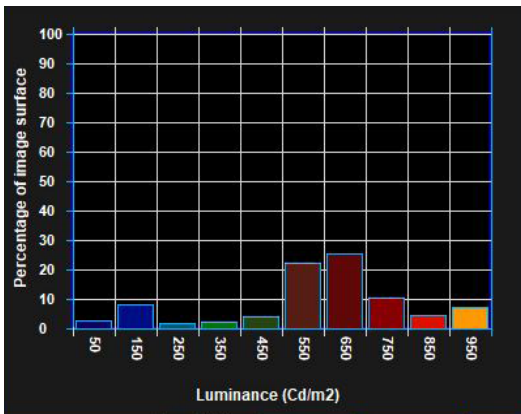


Figura 41 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario B2, con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.



- Valor de luminancia promedio: 593,22  $\text{cd}/\text{m}^2$
- Valor de luminancia máximo: 2092,51  $\text{cd}/\text{m}^2$
- Valor de luminancia mínimo: 1,3  $\text{cd}/\text{m}^2$
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 95,88%

Figura 42 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario B2.

Producido por Aftab Alpha y el autor.

El promedio de luminancias queda en casi  $600\text{cd}/\text{m}^2$  con un rango de contraste exponencialmente menor al escenario anterior (A1). A pesar de que el punto de referencia (C:0) es superior, las condiciones lumínicas de todo el escenario como conjunto quedan concentradas en un rango más cerrado, presentando un contraste 1:21 menor a mayor punto de referencia y evidenciado en el mapa de falso color.

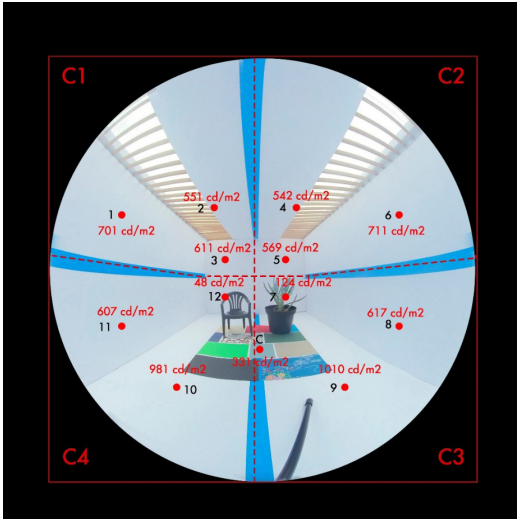


Figura 43 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario B2. Producido por Aftab Alpha y el autor.

El análisis de contrastes sobre los puntos de referencia del escenario B2, presentan dos puntos con alto grado de luminancia (9 y 10) y dos puntos con bajo grado de luminancia (7 y 12), pero en general, el grado de diferencia entre el conjunto total de puntos de mantiene menor. El punto de referencia identificado en la sesión de fotografía corresponde en la imagen al punto C y en el gráfico al punto 0.

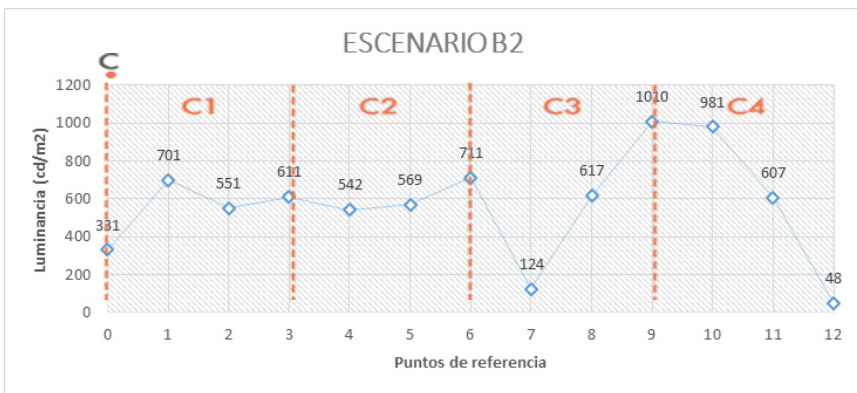


Tabla 4 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

### ESCENARIO C3

El escenario C3 es uno de los tres escenarios de siete que permite el contacto con el exterior, presentando una característica que dinamizó los resultados tanto cuantitativos como cualitativos, pues es el primer escenario que fomenta un vínculo con elementos externos a la altura del observador, en este caso se alcanza a ver un parque para niños y un muro blanco, contando con una variable genera cierto grado de influencia sobre la iluminación que distingue el mapa de falso color del interior de la escena. Este escenario se mide desde la escala de convención de 0-1000cd/m<sup>2</sup>, para poder distinguir la diversidad de colores y por ende de niveles de luz.

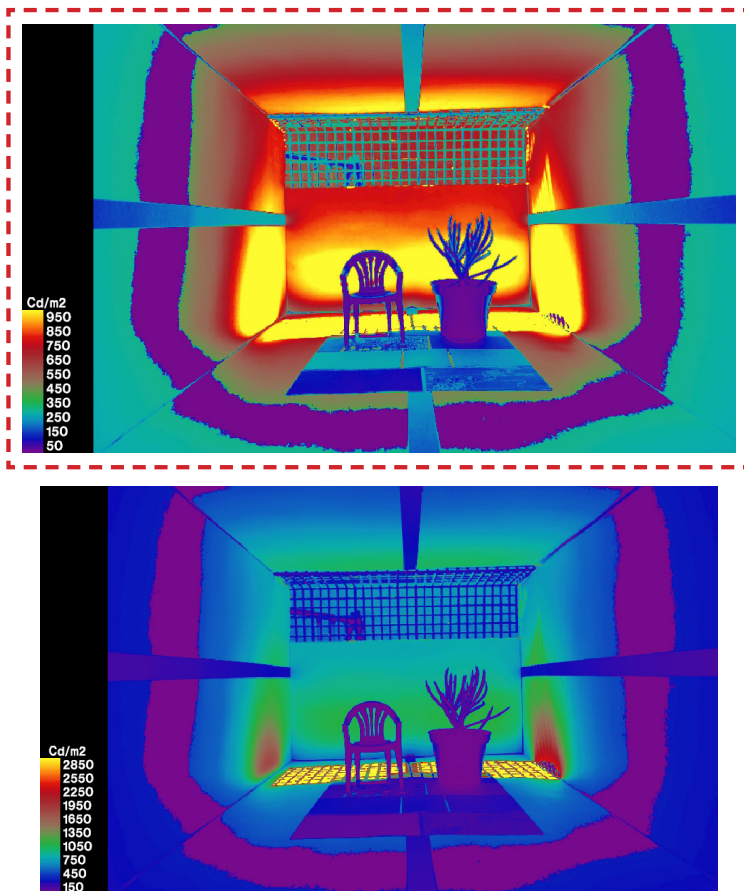
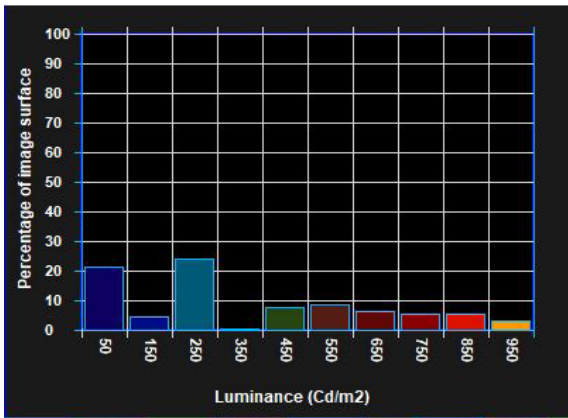


Figura 44 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario C3, con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.

Al tener una abertura concentrada al final del espacio, este escenario concentra saltos de altos contrastes que conforman un ambiente lumínico heterogéneo en variedad de niveles de luz. Como se mencionó anteriormente, las manchas moradas que enmarcan la abertura principal de luz, es una falla del lente de la cámara que otros investigadores han llamado “desbordamiento lumínico”, al ser un defecto de la herramienta, no se asume como dato a tener dentro de las referencias integradas.



Producido por Aftab Alpha y el autor.

- Valor de luminancia promedio: 454,58 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia máximo: 6900,45 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia mínimo: 2,55 cd/m<sup>2</sup>
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 94,1%

Figura 45 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario C3.

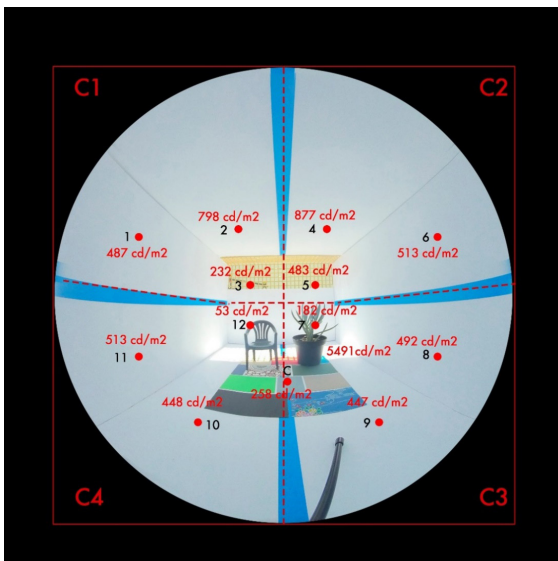


Figura 46 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario C3. Producido por Aftab Alpha y el autor.



Además de los 13 puntos de referencia, se toma un punto justo en el área de mayor concentración de deslumbramiento, pero incluso, el resultado del software, tira datos mayores de alto grado luminancia, alcanzando casi las 7000  $\text{cd}/\text{m}^2$ , y consiguiendo el contraste más alto de todos los escenarios, en 1:104.

A pesar de que este escenario permite el contacto con el exterior, el deslumbramiento que concentra el fondo del escenario es en definitiva, el mayor foco de distinción del escenario C3.

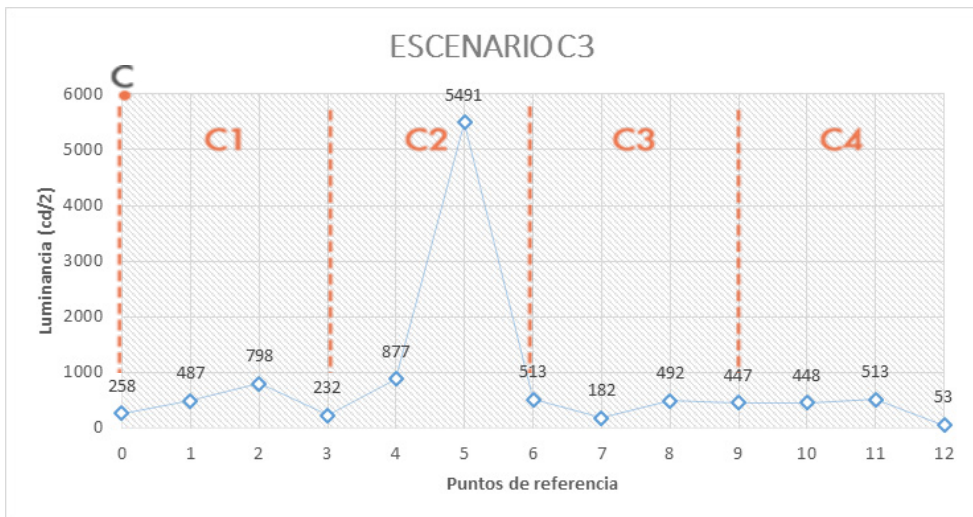


Tabla 5 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

## ESCENARIO D4

El escenario D4 mantiene una diversidad de aspectos lumínicos, pero a diferencia del escenario con luz directa, este filtro de luz difusa reparte la cantidad de luz de forma más equilibrada. Aun así se distingue igualmente el foco de deslumbramiento, pero disminuyendo el nivel de contraste en comparación al anterior (1:58).

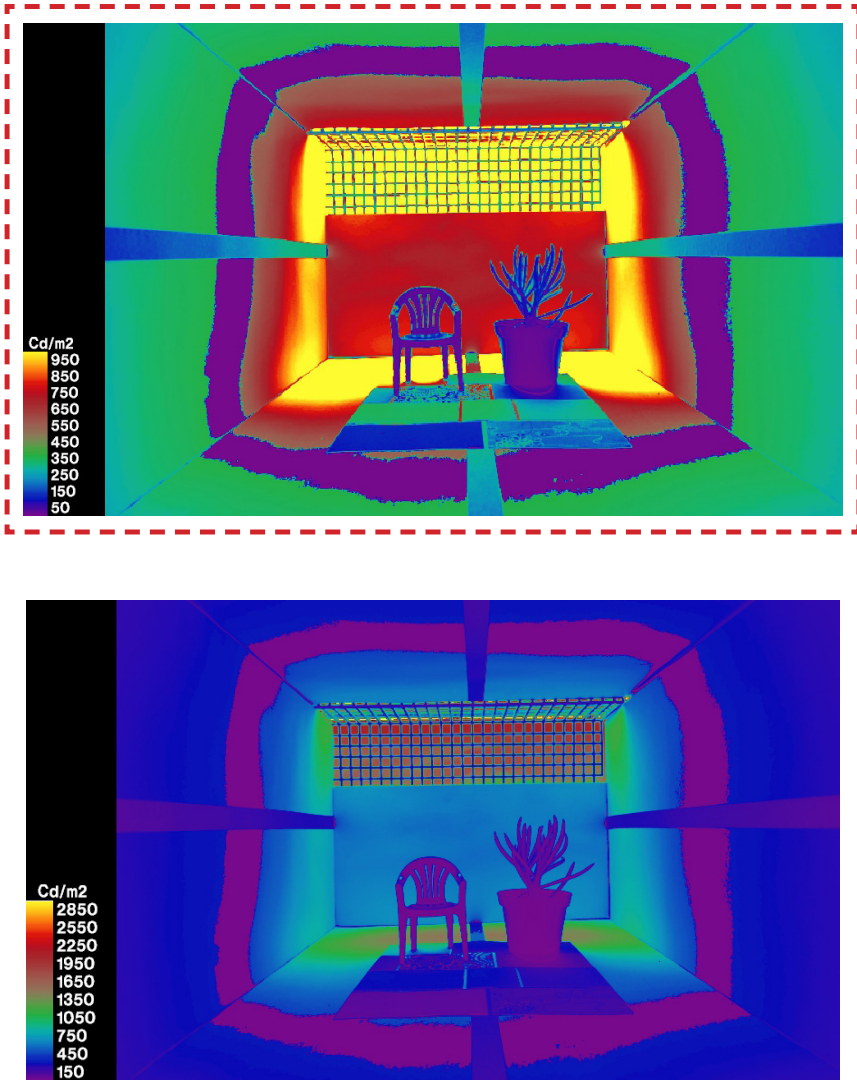
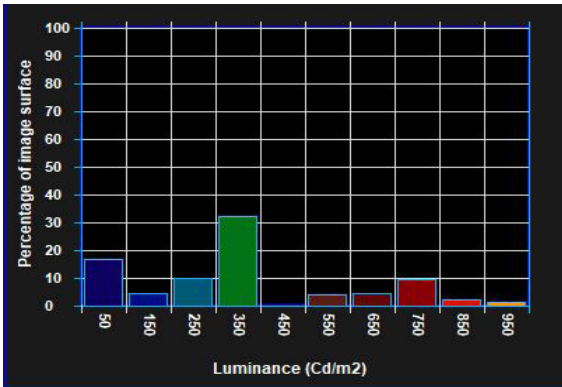


Figura 47 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario D4, con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.



Producido por Aftab Alpha y el autor.

- Valor de luminancia promedio: 460,75 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia máximo: 4945,77 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia mínimo: 3,08 cd/m<sup>2</sup>
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 92,23%

Figura 48 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario D4.

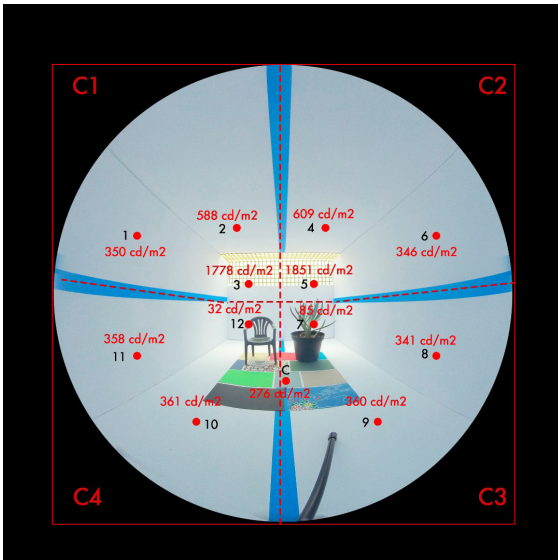


Figura 49 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario D4. Producido por Aftab Alpha y el autor.

El análisis de contrastes sobre los puntos de referencia 3 y 5 expone el nivel de luminancia directamente sobre la entrada de luz, pero según el software Aftab Alpha, hay un grado mayor que llega casi a los 5000 cd/m<sup>2</sup>.

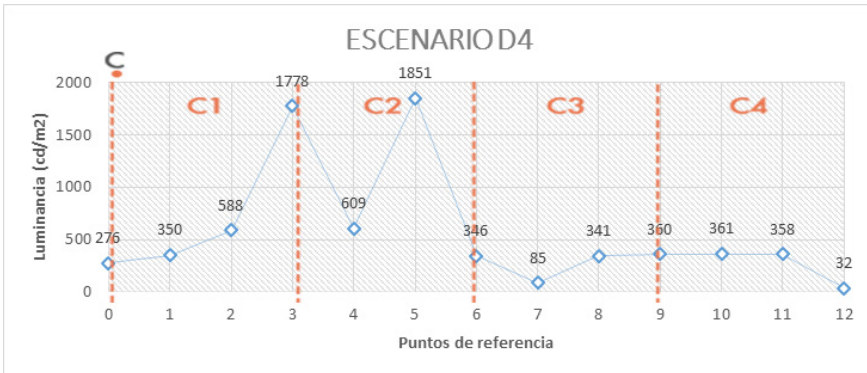
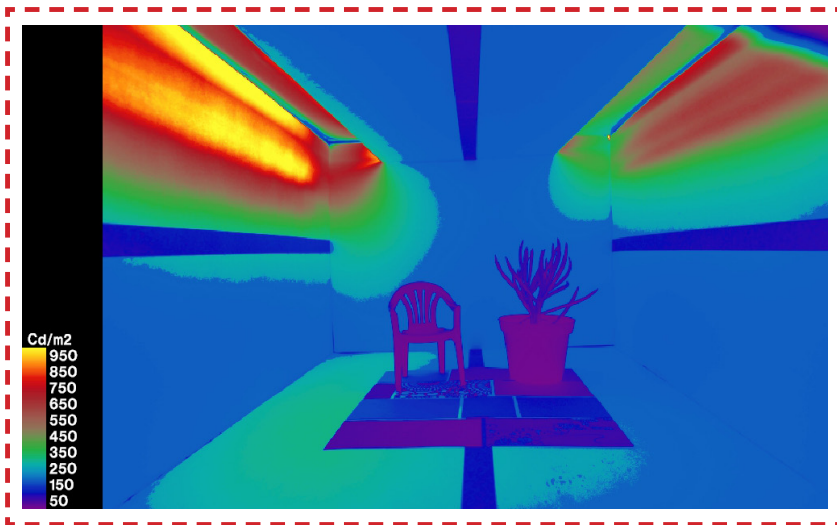


Tabla 6 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

### ESCENARIO E5

Para la escena E5 se asume la escala de luminancia que va de 0-1000 cd/m<sup>2</sup> pues esta escena mantiene unas condiciones de luz bajas y controladas, aun así, se alcanza a definir una marca de posible deslumbramiento en la parte superior izquierda del escenario, demarcada tal vez por la incursión solar del momento de la foto (11:36am), en donde el sol se encontraba acostado hacia el oriente 23° aproximadamente del punto más alto de la esfera celeste (mirar capítulo de Los escenarios).



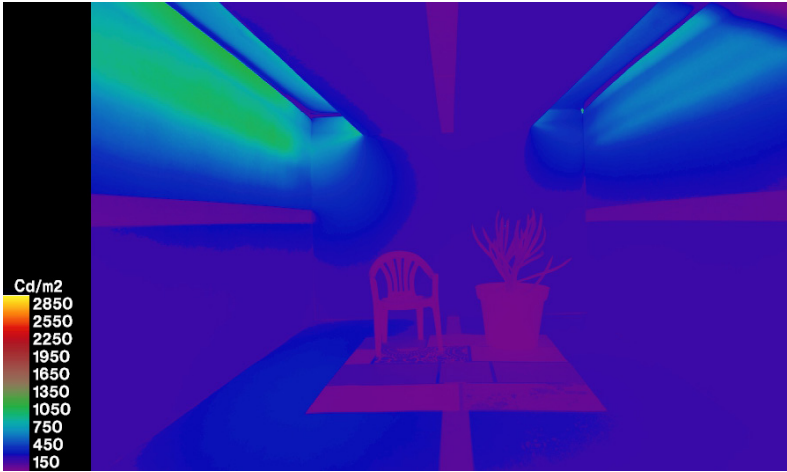
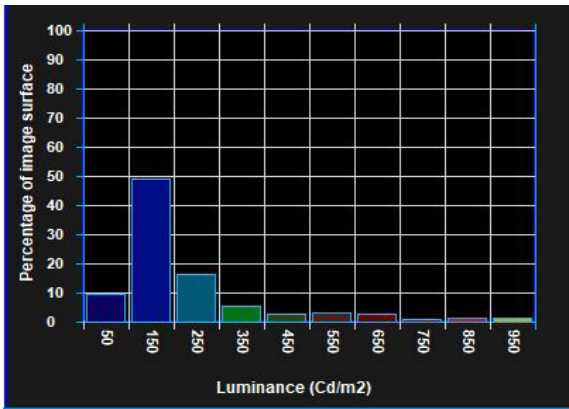


Figura 50 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario E5, con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.



Producido por Aftab Alpha y el autor.

- Valor de luminancia promedio: 272,69  $\text{cd/m}^2$
- Valor de luminancia máximo: 1315,29  $\text{cd/m}^2$
- Valor de luminancia mínimo: 4,45  $\text{cd/m}^2$
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 99,39%

Figura 51 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario E5.

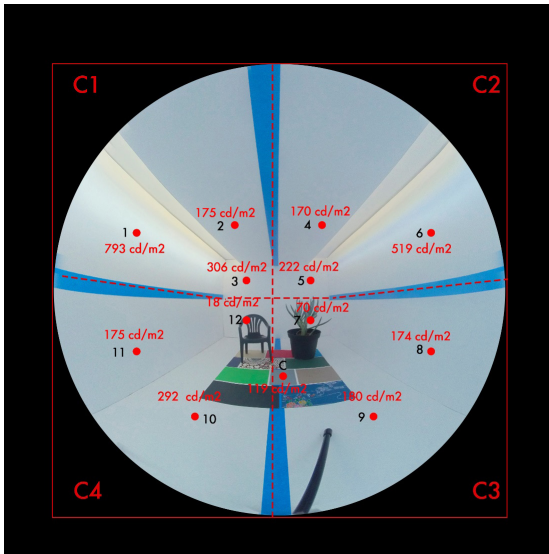


Figura 52 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario E5. Producido por Aftab Alpha y el autor.

Sobre el análisis de contrastes de los puntos de referencia del escenario E5, se visualiza un pico de alto contraste, pero aun así, los valores se mantienen concentrados en un rango que según Aftab Alpha, no supera las 1315,29 cd/m<sup>2</sup>, aunque dentro de los 12 puntos de referencia se distinga un rango más cerrado (1:44). A pesar de que aparecen valores altos de luz, la luminancia promedio es de tan solo 272,69cd/m<sup>2</sup>, identificando este escenario como el escenario menos iluminado de todos.

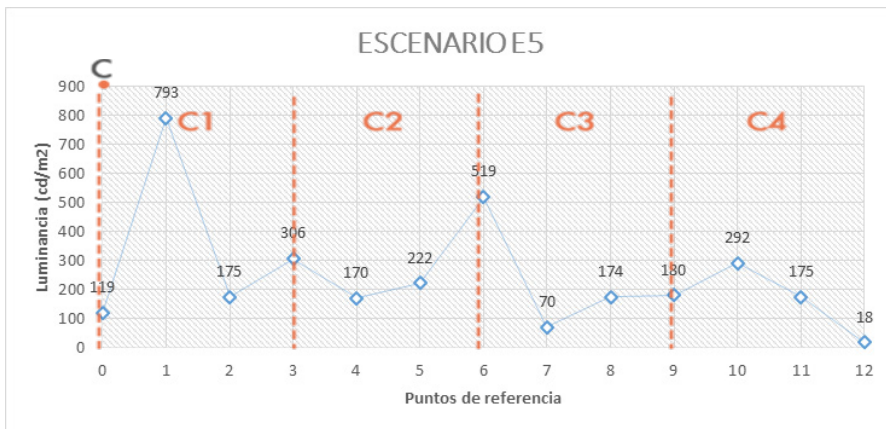


Tabla 7 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

## ESCENARIO F6

El escenario F6, al igual que el escenario C3, permite el contacto con el exterior, haciendo de esta escena otro resultado interesante por el vínculo exterior y la diversidad de colores que muestra el mapa de falso color, caracterizando un escenario que aparenta contener altos contrastes.

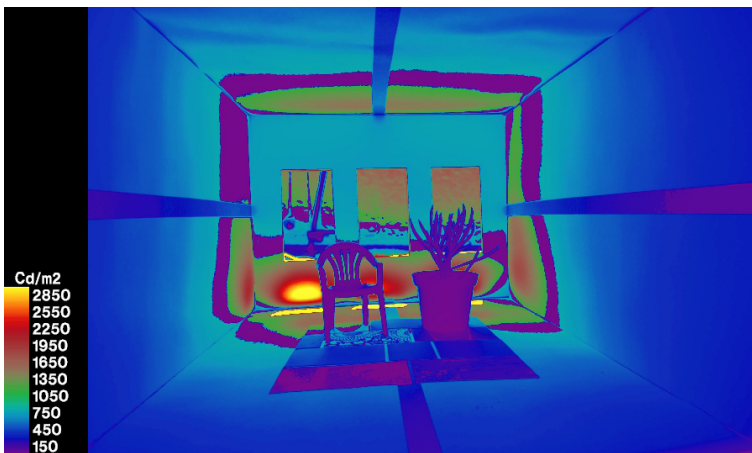
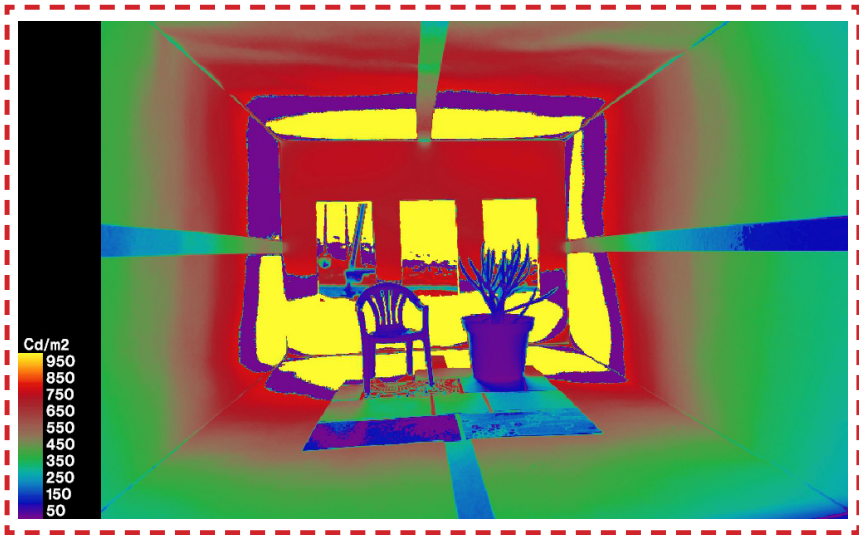
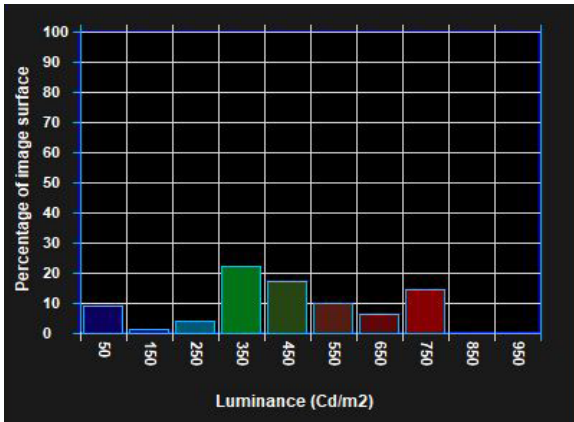


Figura 53 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario F6, con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.



- Valor de luminancia promedio: 552,87 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia máximo: 16743,66 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia mínimo: 6,79 cd/m<sup>2</sup>
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 90,27%

Figura 54 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario F6.

Producido por Aftab Alpha y el autor.

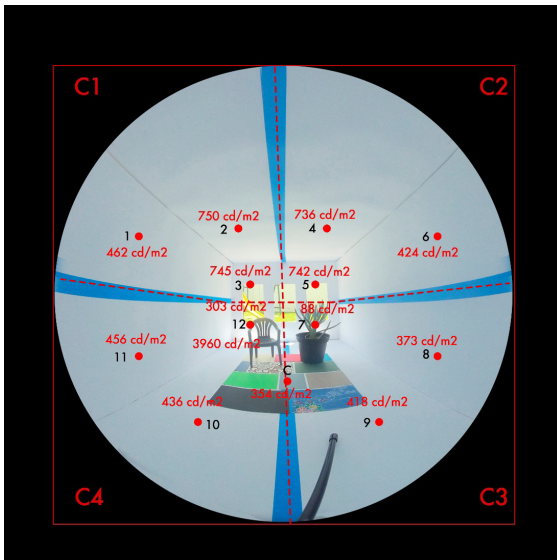


Figura 55 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario F6. Producido por Aftab Alpha y el autor.

Posterior a interpretar los niveles de luminancia que produce Aftab Alpha, se da cuenta de que el promedio, aunque controlado, lanza niveles altos de luz, que para decirlo de otro modo, denotan un escenario diverso lumínicamente pero en un rango controlado de varianza estándar de iluminación.



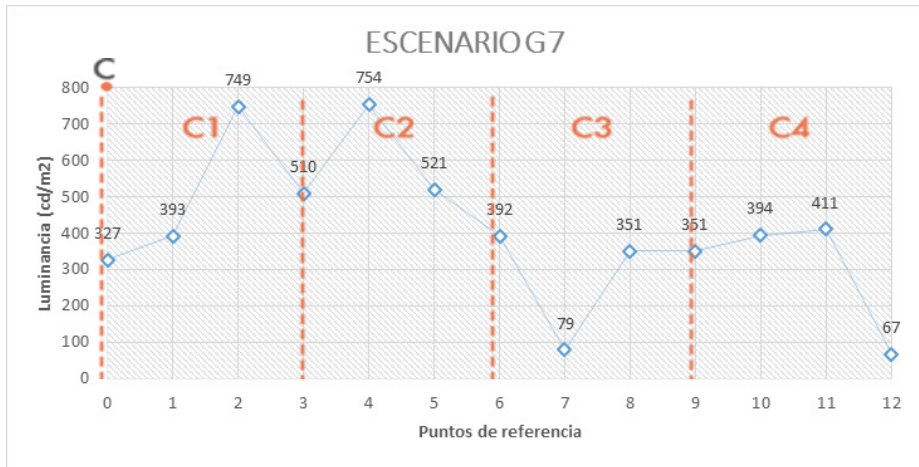


Tabla 8 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

### ESCENARIO G7

El escenario F7, como el escenario B2 y el D4, es un escenario que suaviza muchísimo los efectos extremos de luz, mitigando posibles deslumbramientos, pero homogenizando tanto el ambiente, que tiene el riesgo de volverse lumínicamente monótono. Así como en las escenas C3, D4 y F6, esta escena presenta manchas de “desbordamiento lumínico”, diagnosticando nuevamente un error de cámara que surge, coincidentalmente con todas las escenas en donde el lente puede apuntar a objetivos de altos niveles de iluminación, como si esto quemara los rangos que se acercan a los niveles altos de luz.

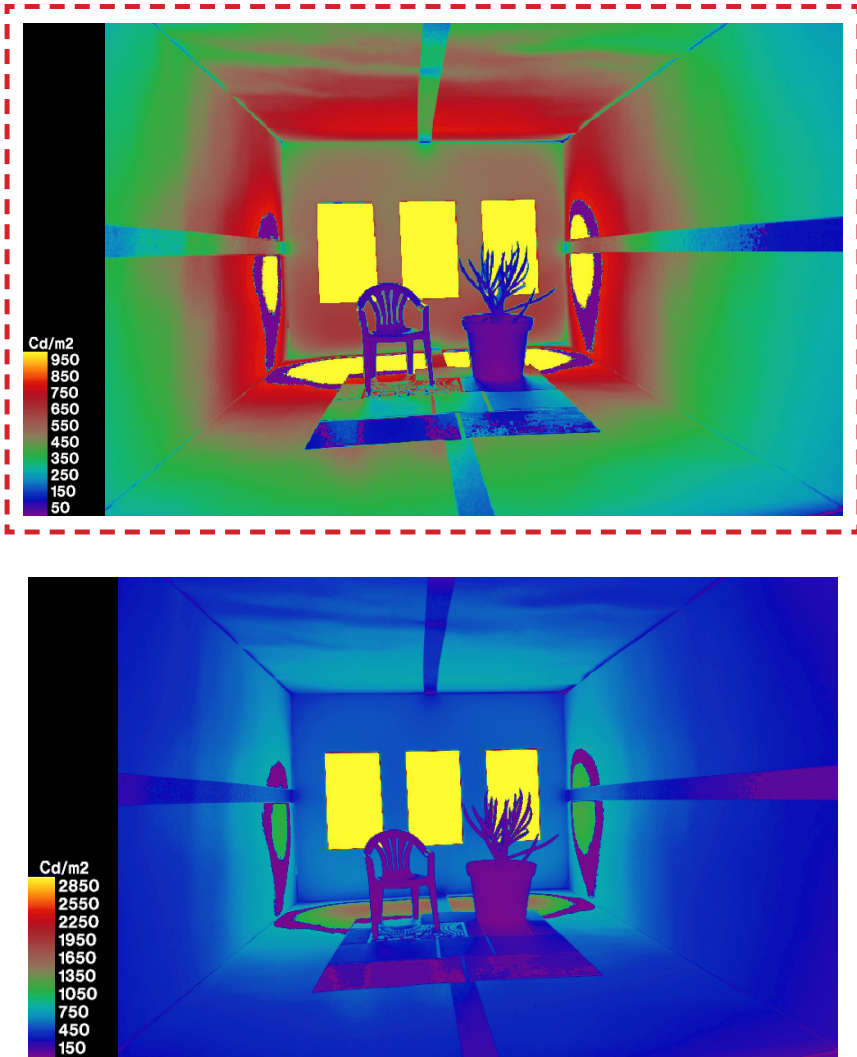
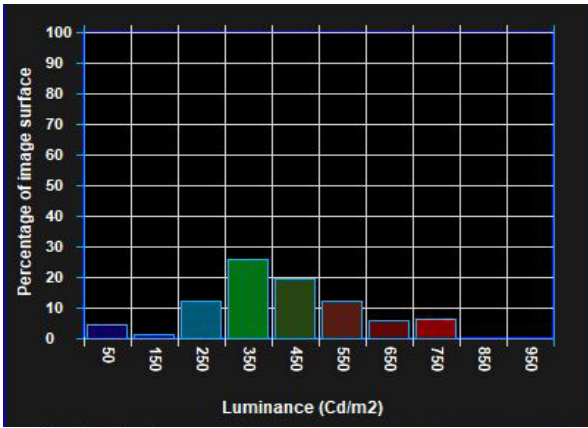


Figura 56 – Mapa de color representando los diferentes niveles de luminancia en el escenario G7, con distintas escalas de convención. Producido por Aftab Alpha y el autor.



Producido por Aftab Alpha y el autor.

- Valor de luminancia promedio: 575,57 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia máximo: 5164,15 cd/m<sup>2</sup>
- Valor de luminancia mínimo: 6,9 cd/m<sup>2</sup>
- Porcentaje total de área de luminancia identificada: 94,67%

Tabla 9 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

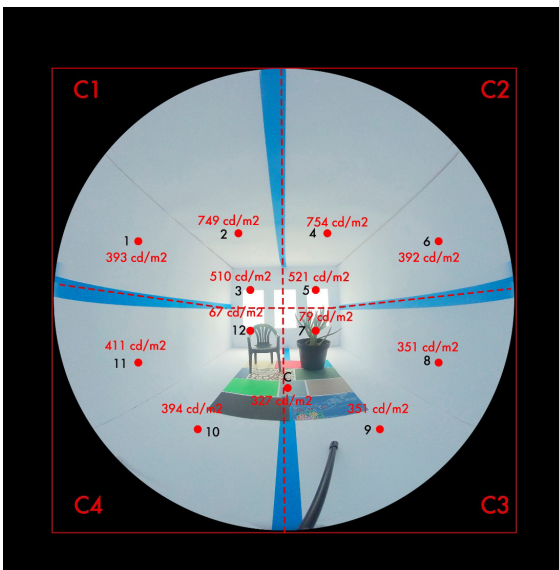


Figura 57 – Porcentaje de área por Niveles de luminancia capturados en el escenario G7. Figura 58 – Referencia de luminancias en 12 puntos del escenario G7. Producido por Aftab Alpha y el autor.

El análisis de contraste por puntos de referencia deja ver un promedio de puntos muy concentrados, pero el diagnóstico de Aftab Alpha tira niveles mayores que los que pudieron registrar los puntos de referencia, haciendo de esta teoría de contrastes algo que puede obtener otra perspectiva y mayor profundidad, aun así, este escenario se ubica como el escenario con menor contraste de todos (1:11).

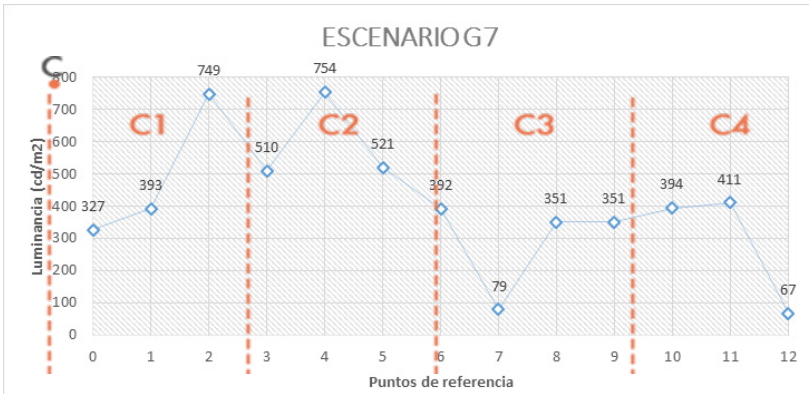


Tabla 9 – Presentación de puntos de referencia de luminancias reconocidas en la imagen anterior.

### RESULTADOS DE PERCEPCIÓN DE PREFERENCIAS:

Por medio del recurso de la realidad virtual se extrajeron datos de preferencia abierta a través de la experiencia inmersiva, presentando en los resultados a continuación, una mirada simple de las variaciones entre las imágenes cuantitativas y las calificaciones de los sujetos.

Posterior a la evaluación e identificación de valores del desempeño lumínico se observa la distribución de las respuestas para cada escenario en un panorama que permita identificar promedio total, diferencia y desviación estándar, suministrando información para determinar la precisión y escalando proporciones de valor.

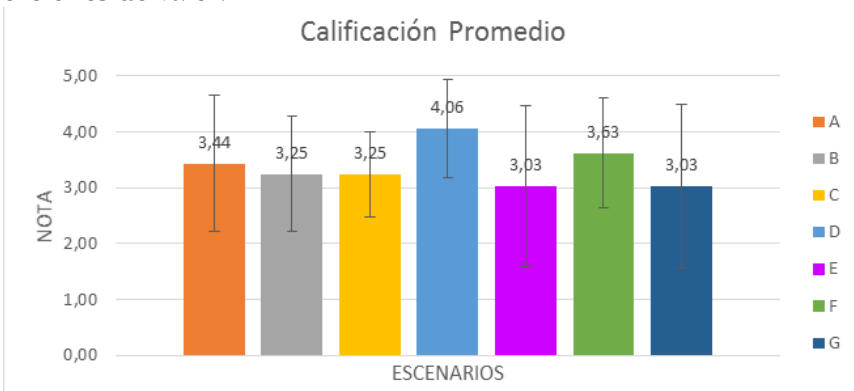


Figura 59 – Resultado de calificación promedio de Escenarios con Desviación Estándar

El anterior gráfico nos presenta la calificación total promedio de todos los escenarios, distinguiendo uno de otro escenario por diferencias que se mantienen en un rango de un poco más del 20%. El escenario mejor calificado fue el D4, con una calificación promedio de 4,06 y una desviación estándar de 0,88, otorgando veracidad a la variabilidad de su calificación en común.

Puesto	Calificación	Escenario
<b>P1</b>	4,06	<b>D4</b>
<b>P2</b>	3,91	<b>B2</b>
<b>P3</b>	3,63	<b>F6</b>
<b>P4</b>	3,44	<b>A1</b>
<b>P5</b>	3,25	<b>C3</b>
<b>P6</b>	3,03	<b>G7</b>
<b>P7</b>	3,03	<b>E5</b>

*Tabla 10 – Orden de mejor a peor calificado con resultados del promedio total*

En el segundo puesto aparece el escenario B2, con una calificación de 3,91 y una variación estándar de 1,03, seguido del escenario F6, con variación estándar de 0,98. El cuarto mejor calificado es el escenario A1 con 3,44, pero con una desviación estándar de 1,22, hace que este promedio quede muy abierto. De quinto lugar queda el C3, con la variación estándar más cerrada en 0,76 y los últimos dos puestos son para G7 y E5 respectivamente, con una variación estándar alta que desempata el último lugar, otorgando el puesto de peor calificado al escenario G7. Para representar mejor estos resultados, se presenta a continuación cada escenario con una barra que equivale al total de sus calificaciones en orden y dimensión.

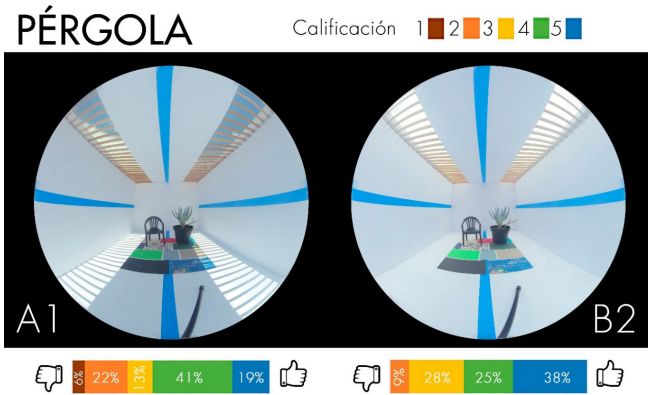


Figura 61 – Presentación de escenarios A1 y B2 (% de calificación). Producción del autor.

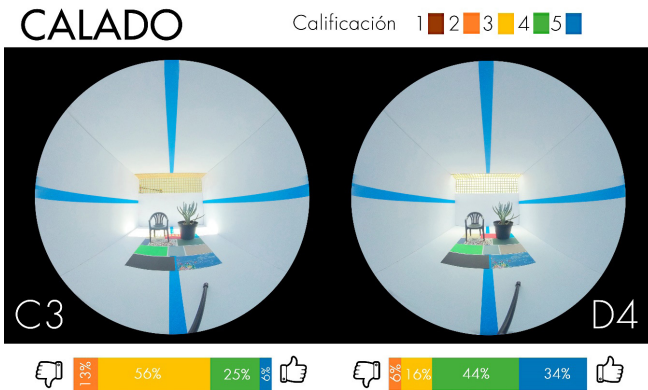


Figura 62 – Presentación de escenarios C3 y D4 (% de calificación). Producción del autor.

### CIELO DESCOLGADO

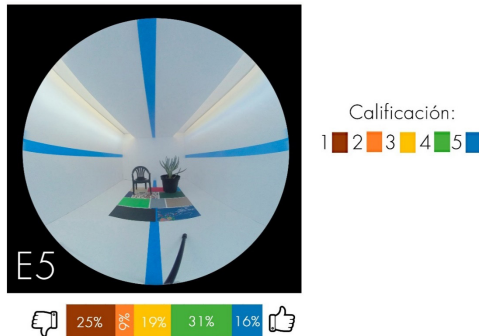


Figura 63 – Presentación del escenario E5 (% de calificación). Producción del autor.

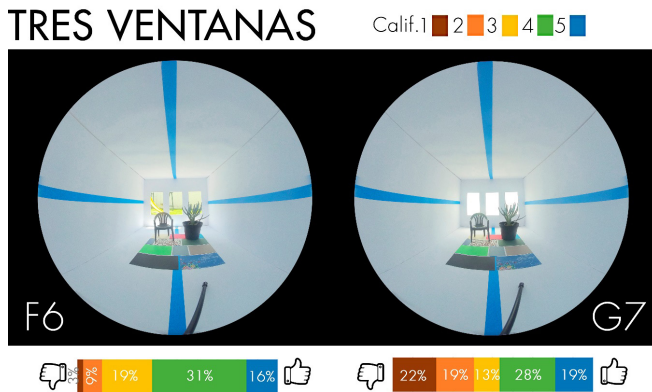


Figura 64 – Presentación de escenarios F6 y G7 (% de calificación). Producción del autor.

Para distinguir las diferencias que tienen los escenarios por su enumeración, se generó un diagrama de enumeración promedio que permite visualizar rápidamente, el panorama de cada uno de los escenarios y todos a la vez, describiendo gráficamente el número de frecuencias en que los escenarios fueron elegidos en cada puesto (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7), siendo P1 el preferido y P7 el menos preferido. Esta parte de la evaluación permitió visualizar mejor la brecha de preferencias de iluminación por enumeración. Se presenta a continuación:

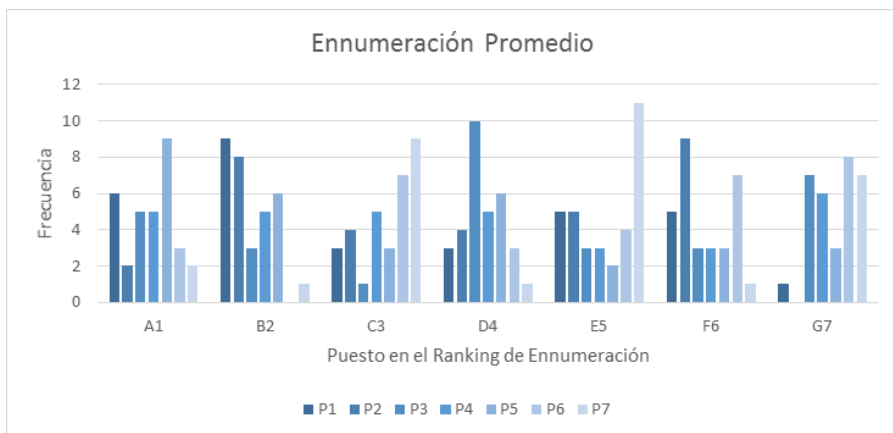


Tabla 11 – Resultado de enumeración promedio de los Escenarios otorgada por el Panel de Expertos

Los resultados que presenta el gráfico nos muestran las frecuencias en que los distintos escenarios fueron elegidos en cada uno de los lugares, presentando los siguientes resultados:

Puesto	Escenario	Calificación
<b>P1</b>	<b>B2</b>	3,91
<b>P2</b>	<b>F6</b>	3,63
<b>P3</b>	<b>D4</b>	4,06
<b>P4</b>	<b>C3</b>	3,25
<b>P5</b>	<b>A1</b>	3,44
<b>P6</b>	<b>G7</b>	3,03
<b>P7</b>	<b>E5</b>	3,03

Tabla 12 – Orden de mejor a peor enumerado con resultados promedio del total

La entrevista se mantuvo alineada de forma que los evaluadores dieran una nota sin visualizar la totalidad de los escenarios, de modo que la enumeración pudiera vincular estas calificaciones previamente otorgadas, aun así, se vislumbró cierta falta de coherencia en los primeros lugares de ambos panoramas de calificación (calificación y enumeración). Esta pequeña incoherencia se presenta en un gráfico a continuación:

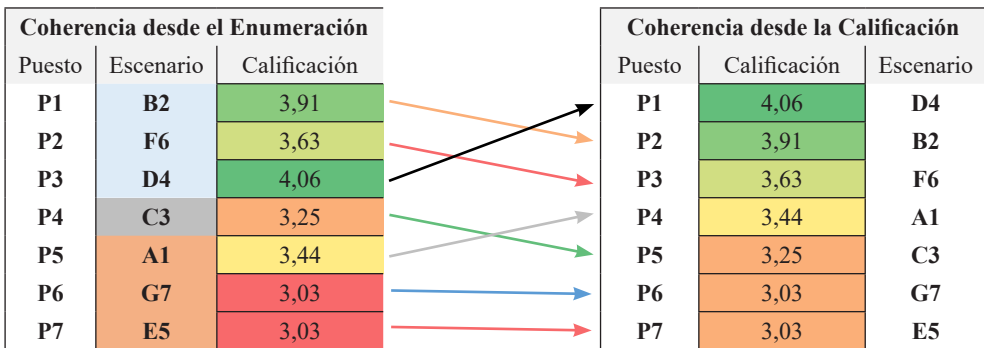


Tabla 13 – Gráfica de coherencia entre calificación y coherencia. Producción del autor



Medir la coherencia desde ambos tipos de valoración (calificación y enumeración) nos permite sacar las siguientes conclusiones para corroborar la veracidad y el sentido del proceso metodológico:

- El que quedó en primer puesto por Enumeración, quedó de segundo por Calificación
- El que quedó de primer puesto por Calificación, quedó de tercero por Enumeración
- El último puesto de Calificación y Enumeración, coincidió

**RELACIÓN DE RESULTADOS:**

A continuación, se presenta la recopilación de los datos técnicos y perceptivos de los 7 escenarios, resumiendo en tablas la tabulación de información para dar un panorama que permita un entendimiento integrador de esta metodología. La siguiente tabla es la recopilación de la identificación de 13 puntos de referencia en cada escenario, como una de las estrategias que tuvo el proceso metodológico para entender mejor la información:

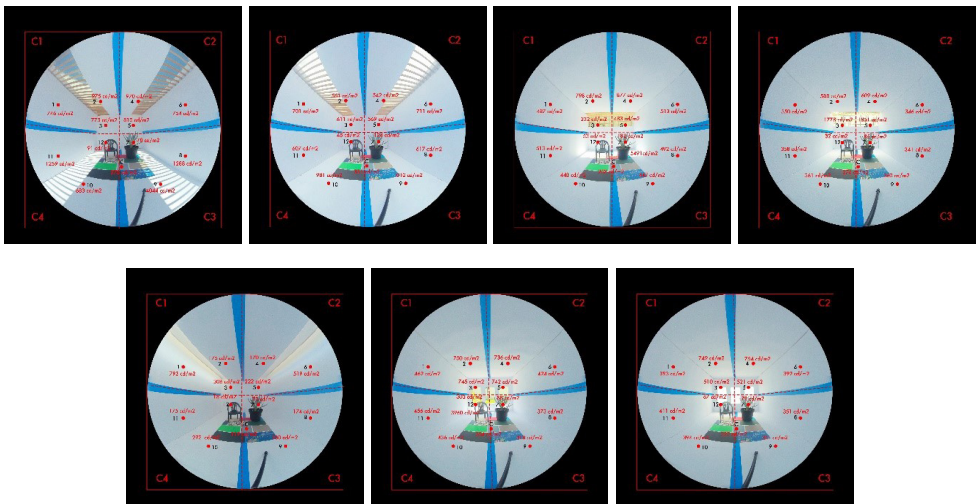


Figura 65. Fotografías con la identificación de 13 puntos de referencia para tomar Luminancia

PUNTOS	Luminancia (cd/m <sup>2</sup> )						
	A1	B2	C3	D4	E5	F6	G7
Pto. C: 0	275	331	258	276	119	354	327
1	746	701	487	350	793	462	393
2	975	551	798	588	175	750	749
3	773	611	232	1778	306	3960	510
4	970	542	877	609	170	736	754
5	810	569	5491	1851	222	742	521
6	754	711	513	346	519	424	392
7	78	124	182	85	70	88	79
8	1288	617	492	341	174	373	351
9	4044	1010	447	360	180	418	351
10	683	981	448	361	292	436	394
11	1259	607	513	358	175	456	411
12	91	48	53	32	18	303	67
Contraste Mín/máx.	1	1	1	1	1	1	1
	52	21	104	58	44	45	11

Tabla 14 – Recopilación de puntos de referencia de luminancias en todos los escenarios.

Esta tabla de referencias no se consideró muy útil, dado que el programa evaluado no exigía cantidades específicas de luz, entonces la identificación de puntos puede reemplazarse por un promedio de valores máximos, mínimos y promedios. Sin embargo, esta estrategia puede ser útil para evaluar lugares que tengan requisitos de distribución lumínica específicos, siendo una estrategia eficiente para distinguir luminancia en distintos objetivos espaciales.

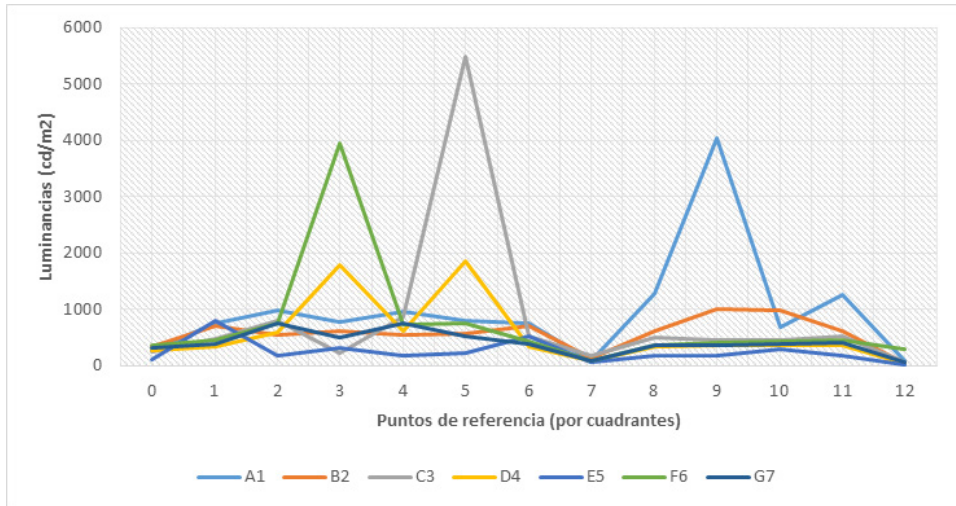


Tabla 15 – Gráfica de integración de todos los puntos de referencia de luminancia de los 7 escenarios. Producción del autor.

En la superposición de las luminancias de todos los escenarios se exponen tres picos mayores en los escenarios C3 (punto 5), A1 (punto 9) y F6 (punto 3), distinguiendo aquellos con mayor contraste de todas las escenas. Justo estos tres escenarios son los que cuentan con el efecto de luz directa, vinculando la posibilidad de deslumbramiento por acceso de radiación directa excesiva al interior del espacio. Para el resto de escenarios se mantiene un rango medianamente concentrado en los valores inferiores a 1000cd/m<sup>2</sup>, exceptuando por los escenarios D4 (puntos 3 y 5) y B2 (puntos 9 y 10) que sobresalen de los demás. Estos escenarios corresponden a la Pérgola y los Calados con luz difusa, dos tipologías que se ven más expuestas a una subida de radiación por la exposición cenital de entrada de luz.

Para comprender mejor las preferencias de cada escenario se construye el siguiente gráfico de barras que permite proporcionar la totalidad de las calificaciones por escenario según las frecuencias de su calificación, reconociendo cromáticamente la proporción de todas las notas de valor en un panorama que muestra todos los escenarios, comprendiendo mejor la causa de la desviación estándar que se expone en gráficas previas.

Se notan otros datos, como que los escenarios B2, C3 y D4 no tuvieron ninguna calificación en 1, o que ninguna proporción se repite, distinguiendo la diferencia de percepciones del efecto de luz generadas en los evaluadores.

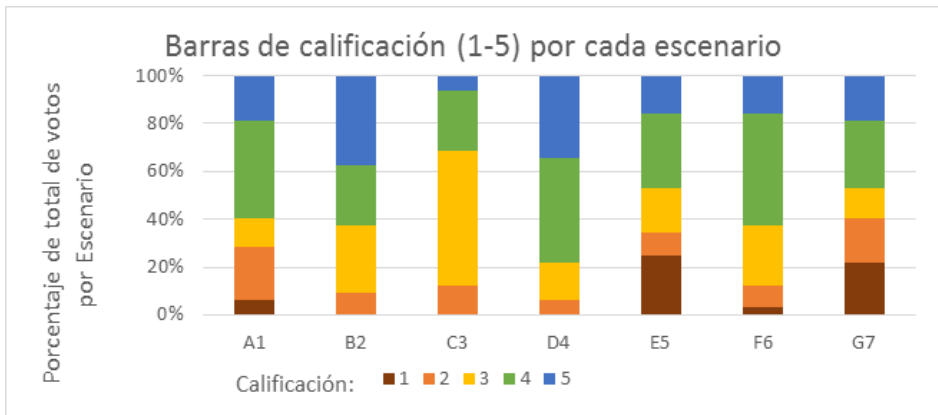


Tabla 16 – Gráfica de integración de las barras de calificación para cada escenario

Las figuras 66 y 67 son parte de una gráfica relevante e interesante, pues presentan la integración de datos de luminancia promedio, máxima y mínima que construye el software Aftab Alpha, a partir de la metodología presentada anteriormente, en contraste con la calificación y puesto promediado en el que resultó cada escenario, vinculando en una sola gráfica ambos panoramas para poder comprender el trasfondo del proceso de esta investigación.

En cuanto a comparación de luminancia sobre todos los escenarios, se distingue que hay la luminancia promedio se mantiene en un rango relativamente cercano, sobresaliendo el escenario A1 con un promedio alto de  $884,08 \text{ cd/m}^2$ , y el escenario E5 con un promedio bajo de  $272,69 \text{ cd/m}^2$ .

En cuando a contrastes entre los valores de luminancia mayores y los promedios, aparecen las diferencias más notables, especialmente en los escenarios con entrada de luz directa, sacando picos de luz tan altos, que amplía la paleta de colores falsos que identifica la diversidad de cantidad de luz por escenarios. No sobra mencionar que los dos primeros escenarios tienen una escala cromática que representa de  $0-3000 \text{ cd/m}^2$ , el resto tiene una escala de  $0-1000 \text{ cd/m}^2$ .

El escenario más veces postulado con el primer lugar de preferencia es el B2, presentando un contraste entre el valor máximo de luminancia y el promedio de 1:4, consolidando este escenario como el que tiene el contraste más bajo. Este mismo escenario es el segundo mejor calificado de todos.

Por otro lado, el escenario mejor calificado que es el D4, que tiene un contraste entre el valor máximo y el promedio de 1:11, manteniéndose bajo relativamente. Este escenario quedó postulado en tercer lugar de preferencia por el Panel de Expertos.

Una de las sorpresas o ambivalencias de este ejercicio, es que el escenario que quedó en segundo lugar del ranking de preferencias es el escenario F6. Este tiene el contraste más alto (1:30) de todos los escenarios. Uno de los motivos de su preferencia puede tener que ver con el contacto que este escenario permite con el exterior, además de que es el escenario que más se parece a un espacio residencial, respaldando la teoría de la percepción que se expone en el marco conceptual es cierta, pues finalmente las experiencias personales de los evaluadores pueden influir sus preferencias.

INTEGRACIÓN de Calificación, Enumeración y Luminancia Promedio, mínima y máxima

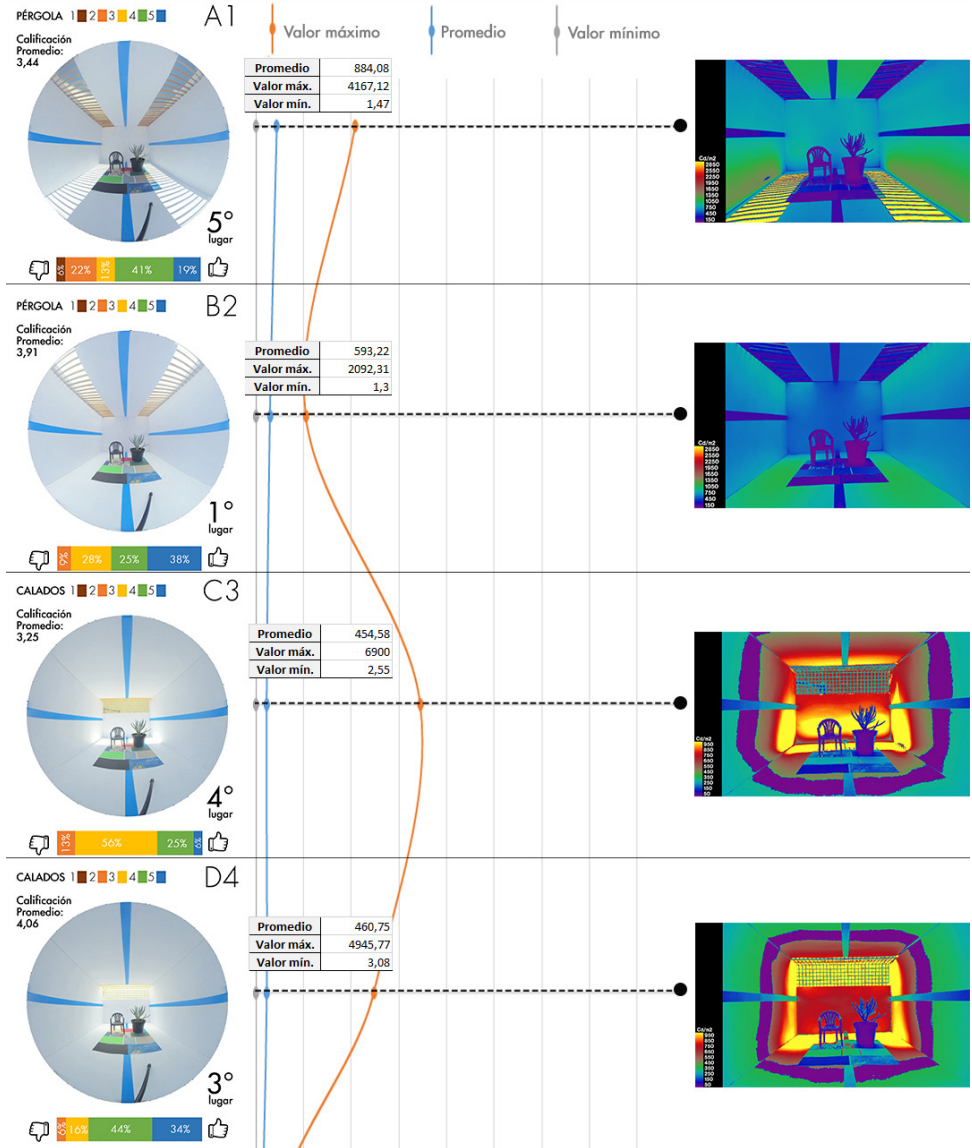


Figura 66 – Integración de datos de luminancia promedio, máximo y mínima, en contraste con la calificación y enumeración por preferencia otorgada por el Panel de Expertos. Escenarios A1, B2, C3 y D4. Producción del autor.

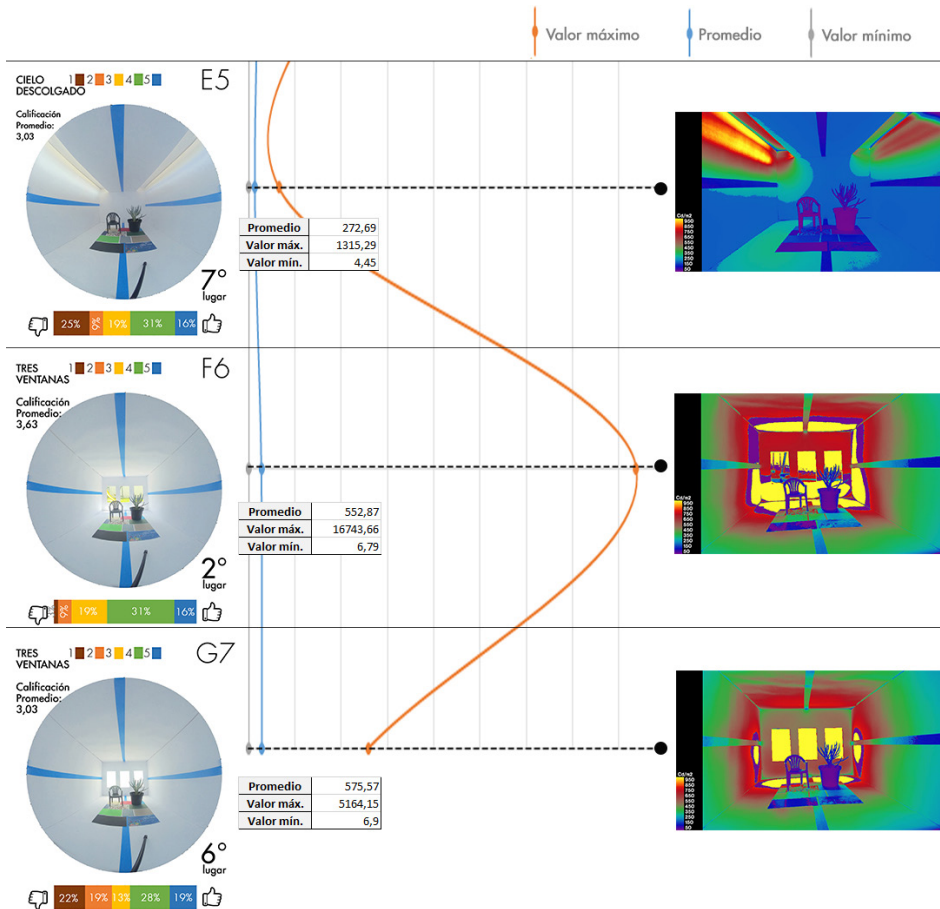


Figura 67 – Integración de datos de luminancia promedio, máximo y mínima, en contraste con la calificación y enumeración por preferencia otorgada por el Panel de Expertos. Escenarios E5, F6 y G7. Producción del autor.

Por otro lado, los escenarios menos preferidos por calificación y contraste (G7 y E5) tienen contrastes bajos. 1:9 y 1:5 respectivamente, desconfigurando la idea dentro de la investigación, de que a menor contraste mayor preferencia. Una teoría de la explicación a estos resultados como los escenarios menos preferidos, tiene que ver con la monotonía del ambiente lumínico, y mas que nada, la falta de contacto con el exterior, pues a pesar de la presencia de luz, los evaluadores manifestaron sentirse significativamente atraídos por aquellos espacios en donde percibían las fuentes de luz.

## TENDENCIAS:

La tabla a continuación distingue por etnografía y perfil profesional las diferentes calificaciones promedios de la población de evaluadores que participaron en la entrevista de este proyecto de investigación, permitiendo identificar diversidad desde su énfasis, enfoque, estado de visión, género e incluso edad. Aunque la cantidad de personas encuestadas (32) no es representativa, la separación de estos datos por segmentación permite observar algunas tendencias, principalmente en la lectura de preferencias diversas que representan tan solo siete escenarios, diversificando el panorama que objetiviza el placer visual dentro del entendimiento de la percepción como rama subjetiva que requiere de la experiencia para enmarcar su predicción.

Escenarios y valores A		PÉRGOLA		CALADO		CIELO DESC.	TRES VENTANA- NAS	
		B	C	D	E	F	G	
<b>Illuminancia externa</b>	Lx	128900	119699	127700	128500	123000	130600	127300
<b>Transmitancia de luz</b>	%	2%	3%	2%	2%	1%	3%	3%
<b>Illuminancia</b>	Lx ©	2982	3569	2785	2976	1283	3819	3529
<b>Luminancia</b>	cd/m2 ©	277	331	258	276	119	354	327
<b>Contraste</b>	</> C	52	21	104	58	44	45	11
Edad: 20-29	66%	3,33	3,8	3,14	4,19	3,14	3,47	3,09
Edad: 30-55	34%	3,64	4,09	3,45	3,82	2,82	3,91	2,91
Género: Femenino	47%	3,73	4,07	3,4	3,8	2,8	3,73	3
Género: Masculino	53%	3,18	3,76	3,12	4,29	3,24	3,53	3,06
Estado Visión: Ve bien	56%	3,28	3,72	3,11	3,94	2,72	3,44	2,67
Est. Visión: Miopía y/o Astigmatismo	44%	3,64	3,67	3,43	4,21	3,43	3,86	3,5
Arquitectos	88%	3,46	3,96	3,32	4,04	3,07	3,71	3,25
Ingenieros	13%	3,25	3,5	2,75	4,25	2,75	3	1,5
Bioclimática	50%	3,63	3,88	3,06	4,31	3,75	3,63	3,06
Diseño	50%	3,25	3,94	3,44	3,81	2,31	3,63	3

Tabla 17– Recopilación de valores técnicos y preferencias por tendencias. Producción del autor.



Esta tabla presenta datos promedios de calificación que más que resultados finales, son un medio de representación del proceso metodológico, para la visualización y el entendimiento de las variables técnicas en contraste con la calificación perceptual, construyendo una gráfica de enfoques integrados de análisis que permitirán explotar la metodología como fuente valiosa de información.

## **DISCUSIÓN**

### **Posturas Metodológicas**

Aunque los resultados de este trabajo de investigación son un diagnóstico descriptivo de una asociación de variables distintas, el propósito final se concentra en reconocer las preferencias del individuo, identificando cuantitativamente las respuestas que podrían mejorar la experiencia lumínica de un tipo de usuario.

Varios estudios han discutido la importancia del efecto perceptivo de la luminancia para la el ser humano, pero el tramo de entendimiento de la percepción de preferencia lumínica es un camino que apenas comienza a alinear sus pasos científicos, tejiendo procesos de investigación que abordan diferentes panoramas y recursos de una era con tecnologías cada vez más avanzadas.

Las proporciones de luz que recomiendan las distintas métricas son una herramienta clave para la articulación de componentes de la luz en el proceso proyectual y operación de un edificio, pero es en los procesos de investigación en donde surgen las metodologías que apoyaran finalmente la práctica. Las proporciones de luminancia se basan en promedios que se reconocen dentro de un campo visual. Esto significa que las diferencias relativas entre las luminancias de un espacio completo no se toman en consideración. La luminancia promedio podría representar un campo de visión con luminancias muy suaves y en un campo de visión con una ventana y luminancias variables, podría darse el caso de que la luminancia promedio sea la misma en ambos, pero se espera que tengan efectos muy diferentes en los sujetos.

Un aspecto de valor que hizo falta asumir en este trabajo de investigación fue el entendimiento de la luz solar desde su naturaleza dinámica, pues este es un recurso en constante movimiento, un factor de gran peso para la influencia sobre las percepciones del ser humano, que permite el vínculo de la humanidad con el tiempo, el exterior y otros fenómenos naturales que influyen enormemente en la percepción personal y que este proyecto de investigación no alcanzó a mencionar.

Mientras que la iluminación natural tiene un fuerte impacto en la salud humana y el bienestar, y una asociación (subjetiva) innegable con el deleite emocional y la calidad percibida de un espacio, también es altamente dinámica y de naturaleza variable. Hay que reconocer, que la captura de ambientes de luminancia y su valoración perceptual, ya atendía a suficientes variables del fenómeno físico y personal para una investigación. Esta es una apreciación que queda como proyecto a analizar en un futuro cercano a nivel personal.

En otros aspectos que abstrae la captura estática de iluminación, varios autores han realizado pruebas que reconocen la importancia de la distribución de la luminancia en un espacio (Wymelenberg & Inanici, 2014; Alrubaih et al., 2013; Cuttle, 2015), coincidiendo en la conclusión que dice que la distribución de luminancias en un espacio es un factor importante para la satisfacción del usuario y las percepciones del brillo.

En cuanto a la metodología, es importante hablar de varios aspectos, comenzando por la realidad virtual. Los hallazgos junto con la movilidad que ofrece la tecnología de la realidad virtual son alentadores para una amplia gama de posibles aplicaciones a través de la experiencia visual, sin embargo, al tener unos lentes de gama económica que no contaban con pantalla propia sino con la pantalla del celular, podrían distinguir rangos de luz limitados, haciendo de la veracidad de la experiencia virtual a la real, algo por pulir.

El tamaño de la muestra (32 participantes) de la entrevista fue adecuado para detectar efectos (medianos a grandes), pero limitando la identificación de un efecto de pequeña magnitud. Sin embargo, tal efecto, sería desapercibido ante algo perceptible a simple vista de un observador, y por lo tanto, es poco probable que afecte los hallazgos generales y la usabilidad del método experimental propuesto.

Es importante tener en cuenta que estos hallazgos no se pueden generalizar a otros parámetros sin un contexto premeditado y una mayor investigación de las medidas a evaluar.

## Fundamentación teórica y autores de referencia

### MARCO TEORICO

El marco teórico de la presente investigación comprende el fenómeno físico de la luz, y algunos términos importantes e ideas base para el contexto técnico de la metodología expuesta.

#### La luz natural como fenómeno físico

La luz visible es una región del espectro electromagnético cuyas ondas tienen una longitud de onda que va desde el violeta (380 nm), al rojo (780 nm). Esta pequeña región del espectro es la energía que percibe el ojo humano y nos permite ver los objetos: el espectro visible (IDAE., 2005).

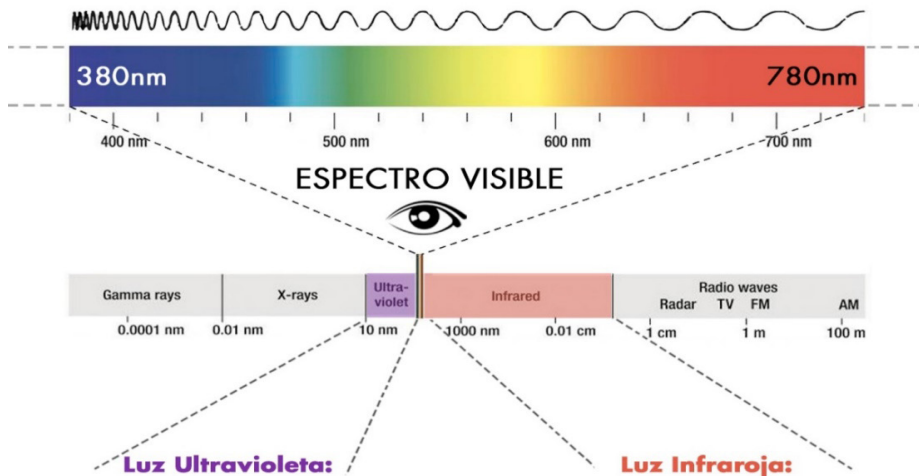


Figura 3 – El fenómeno físico de la luz. Producción del autor

La luz natural es entonces una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible y más, proporcionando además de energía, visibilidad, con un rendimiento de colores perfecto, variaciones de intensidad, nitidez y distribución de luminancias, que enriquecen las características de los objetos y los espacios que ilumina.

La disponibilidad y características de la luz natural dependen de la latitud, condiciones meteorológicas, época del año y del momento del día. Es sabido que la cantidad de luz natural recibida en la tierra varía con la situación, la proximidad a las costas o tierra adentro. Además el clima y la calidad del aire también afectan la intensidad y duración de la luz natural. De ahí que, según los climas, la luz natural pueda ser predecible o muy impredecible.

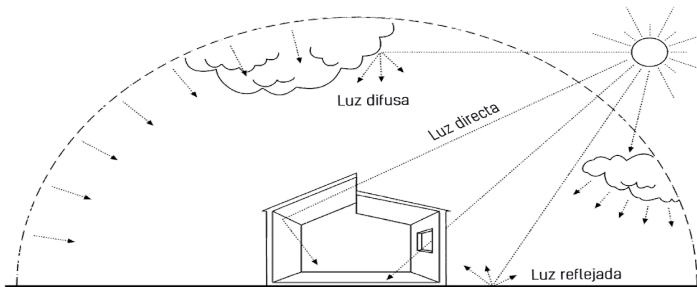


Figura 4 – Formas de la luz. Producción original de Francis D.K. Ching

La luz natural consta de tres componentes:

- El haz de luz directo, procedente del sol.
- La luz difusa, en la cual la fuente exacta no puede ser vista como en el caso de un día nublado y que es dispersada por refracción y/o reflexión.
- La luz procedente de reflexiones, resultado del cambio de dirección de una onda magnética, que al estar en contacto con la superficie de un cuerpo, no es absorbida por el mismo.

Usar la luz natural como fuente de iluminación de tareas diversas, requiere medidas especiales para manejar esta fuente cambiante dinámicamente (IDAE., 2005). Para complementar la teoría adoptada en este trabajo de investigación se presentan algunos conceptos para entender mejor el fenómeno de la luz.

## Iluminancia

La iluminancia es un término que describe la medición de la cantidad de luz cayendo (iluminando) y expandiéndose en una superficie determinada. La iluminancia se refiere a un tipo específico de medición de luz, siendo la medida fotométrica más utilizada para cuantificar la luz de los espacios. Su unidad es el Lux (lx). Según el SI equivale a la iluminación de una superficie que recibe el flujo luminoso normal y uniforme con la intensidad de 1 lumen/m<sup>2</sup> (C. Reinhart, 2014, p. 79).

$$\text{Iluminancia} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Área}} \quad \text{Unidad (Iluminancia)} = \text{Lux} = \text{lumen /m}^2$$

La iluminancia puede ser evaluada sobre superficies horizontales o verticales según la variable que se desee analizar. Para temas de distribución lumínica se utilizan planos de trabajo o superficies de piso a diferentes alturas y para factores humanos se evalúan planos verticales a la altura visual del observador (Giraldo, 2018).

## Luminancia

La fotometría define la luminancia como la densidad angular rectangular y superficie del flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada. Alternativamente, también se puede definir como la densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección dada (Schiffman, 2011).

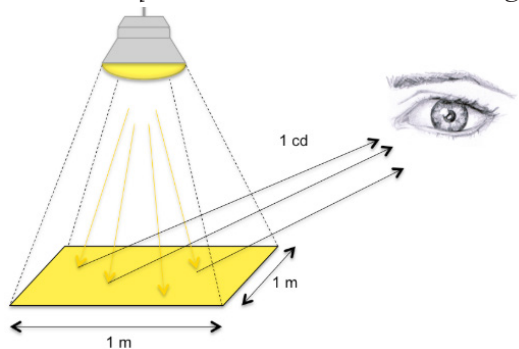


Figura 5 – Representación de la luminancia. Imagen recuperada de internet: <http://www.efectoled.com/blog/que-es-la-luminancia/>

La luminancia, también conocida como *brillo luminoso*, indica cuánta energía luminosa puede ser percibida por el ojo humano, considerando este término relevante en la percepción sensorial, pues podría ser el equivalente psicológico del fenómeno, vinculando la luz que percibe el ser humano de su entorno exterior, con su propia experiencia de luz en el espacio (Pinto, Martín-sánchez, & Martín-sánchez, 2012).

La diferencia de *brillo*, entre las superficies iluminadas y sombreadas, contribuye a nuestra comprensión de la espacialidad. Además, la distribución espacial de la luz también es extremadamente importante para la espacialidad, pero también la orientación y la atmósfera (Fontenelle, 2008).

El ojo humano se puede adaptar a distintos niveles de luminancia, pero requiere de un determinado tiempo para adaptarse a cada variación de nivel (Boyce, 1981). La luminancia se puede medir con un luminancímetro, que traduce el brillo fotométrico a una corriente eléctrica proporcional a este. La unidad SI para luminancia es candela/metros cuadrados ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

## Contacto con el exterior



Figura 6 – Pintura “Muchacha a la ventana”, Salvador Dalí (1925)

La interacción del ser humano con el espacio exterior a través de las aberturas de un espacio es un objeto fuerte de estudio, no solo por la distancia del enfoque y la variabilidad de la imagen percibida, sino por la percepción de placer que representa la visualización del paisaje en el ser humano, influyendo características positivas del comportamiento de los ocupantes y vinculando el espacio interior con las condiciones exteriores.

El fototropismo es el movimiento de ciertos organismos como respuesta al estímulo de la luz (Yela, 1995), respaldando la tendencia involuntaria del ojo humano para dirigir la mirada hacia las fuentes de luz,

razón por la cual, el contacto con el exterior es una herramienta para generar campos visuales de interés y renovación mental para las personas al interior de un espacio (Giraldo, 2018).

## Campo Visual

El campo visual es entendido como la porción del espacio medida en grados, que se percibe manteniendo fijos la cabeza y los ojos (Panero & Zelnik, 1996). Cuando la visión se hace con ambos ojos se cruzan campos de visión, conformando el campo binocular, alcanzando una amplitud de  $60^\circ$  en cada dirección (NTC, 2010). Otras fuentes exponen el campo visual estático en un ángulo de  $180^\circ$  en la panorámica horizontal y  $120^\circ$  en la panorámica vertical, dentro de estos límites el objeto visual o campo central se limita a  $2^\circ$  y el entorno inmediato es de  $40^\circ$  aproximadamente (Tilley, 1993); los colores aunque depende de la situación, empiezan a desaparecer entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$  de la línea visual (Panero & Zelnik, 1996).

Sin embargo, en los últimos años se habla sobre campo visual dinámico, entendiendo que el comportamiento de la mirada no es fijo, ni se direcciona solo a una superficie de trabajo, por lo tanto, el ojo trabaja a diferentes distancias focales (Quevedo, Aznar-Casanova, Merindano & Solé, 2010).

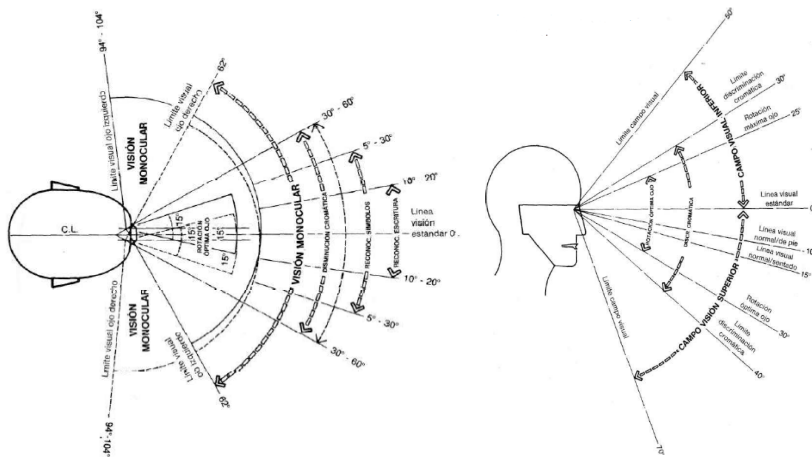
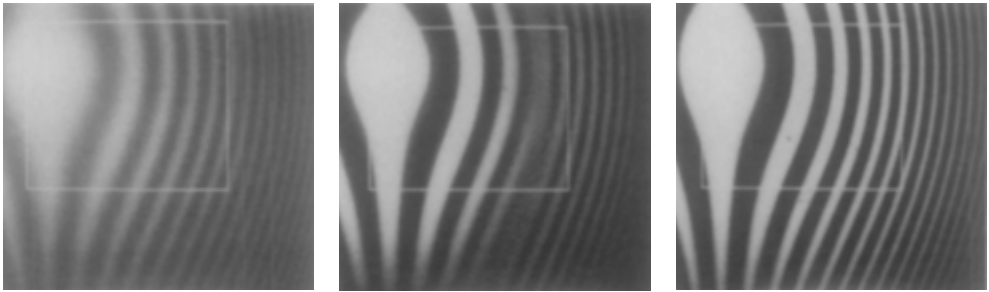


Figura 7 – Extraída del libro: *Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores. Estándares antropométricos* (Panero & Zelnik, 1996).

### Contraste:

El contraste mide la disminución relativa de la luminancia en una imagen. Está altamente correlacionado con el gradiente de intensidad. Puede definirse local o globalmente (Beghdadi & Negrate, 1988). El contraste es la diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de una superficie o un objeto (Guasch, Forster, Ramos, Hernández & Smith, 1998).



*Figura 8 - Diferencias de contraste en una imagen con vista superior de un terreno simulado – Extraída de la investigación: Contrast enhancement technique based on local detection of Edges (Beghdadi & Negrate, 1988)*

El proceso de visual es una combinación de dos sistemas: el sistema óptico y el sistema de interpretación. Este último tiene un proceso que comienza en la retina, donde comienza nuestra interpretación de la luz (Fontenelle, 2008). Un panorama completo de una escena iluminada, se nota vastamente enriquecido por sus factores de contraste, principalmente por la paleta de información que este fenómeno nos puede dar, no solo en diferencias de luz sino en la profundidad, y forma del espacio y en los filtros y la ubicación de la fuente de luz.



## MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual, comprende la historia del diseño de la luz como el contexto que explica el valor y la ruptura de los enfoques de luz analizados en este proyecto de investigación. Posteriormente expone la luz desde lo cualitativo, lo cuantitativo y la trayectoria científica para esta articulación de miradas.

### Historia del diseño de la luz

Desde tiempos remotos, la domesticación de la luz ha sido un reto para la humanidad, resolviendo a través su entendimiento, la posibilidad de adquirir visibilidad y calor al interior de los espacios que refugian a los seres humanos de la intemperie. Hemos transformado gradualmente nuestro hábitat y modo de vida, comprendiendo en la envolvente arquitectónica, una forma de poder controlar el entorno físico que nos rodea (Saint-Gobain & Vieille, 2016).

Han sido varios los ejemplos en la arquitectura de la jerarquía de la luz como variable esencial: Los edificios religiosos articulan delicadamente su arquitectura con el movimiento de la luz del sol, haciendo una alegoría a lo “divino” por medio de la iluminación, los patios romanos aprovecharon la incursión solar como recurso primordial para iluminar estratégicamente los espacios, la arquitectura moderna destacó la utilización del “muro cortina”, que trabaja como continuidad del espacio donde la luz penetra y rebota por todo el espacio de forma uniforme, entre otros casos en donde la arquitectura es definida en gran medida por la luz (Castillo Martínez de Olcoz, 2005).

En la trayectoria de la luz en la historia de la arquitectura, la representación de la luz en el espacio se mantiene como testigo inefable del desarrollo de nuestra evolución, exponiendo en el esquema siguiente, un resumen de como con las exploraciones de la historia, filtran su trayectoria con embudos cada vez más precisos según el contexto social, cronológico y el campo de acción, explotando aspectos dinámicos de la luz como el movimiento y las percepciones técnicas, pero mecanizando procedimientos que anteriormente mantenían la proyección de la luz vinculada a la experiencia sensible del diseñador.



Figura 9 – Línea de tiempo de la luz en la arquitectura– Imagen construida por el autor

Dentro de la línea de tiempo del desarrollo de la luz, la industrialización de finales del siglo XVIII marcó el inicio de un gran cambio en el modo de vivir de la gente. Nuevos materiales de construcción, nuevas fuentes de energía y la invención de la electricidad dieron cabida a los sistemas de iluminación artificial, acrecentando el deseo de controlar mejor los fenómenos físicos que determinaban un espacio (Saint-Gobain Ilustraciones, & Vieille, 2016).

A principios del siglo XX el confort en interiores y el bienestar pasan a ser temas concretos a tener en cuenta, disponiendo del mundo científico para enriquecer los enfoques que tiene la iluminación natural al interior de los espacios. Las investigaciones de la luz y el ser humano se vuelven cada vez más relevantes y comunes en el medio científico, como el enfoque biológico de la luz natural en la salud (Boyce, 1981; Li, Cheung, Cheung, & Lam, 2010; Kleindienst & Andersen, 2012), los efectos no visuales de la luz en el ser humano (Linhart & Scartezzini, 2011; Konis, 2016), la influencia de la luz natural en la percepción de los objetos y el espacio (Cuttle, 2015; Kynthia, Chamilothori. Jan, Wienold. Marilyn, 2016), y la eficiencia energética a través de la iluminación natural respondiendo al confort humano (Esquivias Fernández, Moreno, & Fernández Expósito, 2014; Linhart & Scartezzini, 2011; Mardaljevic et al., 2009), entre otros., promoviendo una era de descubrimientos valiosos para el mundo del diseño de la iluminación natural.

La influencia de la luz en la arquitectura se puede considerar desde dos perspectivas básicas. La del arte y la ciencia, la emoción y la cantidad, la espiritual y la terrenal. Castillo de Martínez de Olcoz, nos enseña en su investigación *El sentido de la Luz*, que estos roles se han entrelazado, pero desde la era de la Ilustración comenzaron a separarse y a ser campos que se entienden distintos; y en esa separación, se perdió una comprensión holística del papel de la luz.

La relación entre luz y arquitectura es equiparable a la relación luz-hombre, entendiendo la arquitectura como una prolongación humana que viste y protege al hombre de las fuerzas de la naturaleza. Existe una dependencia fuerte por la energía eléctrica que ha transformado los hábitos de vida y así mismo, interferido con los ciclos vitales. El hecho de disponer de la electricidad para el desarrollo de la arquitectura, fue un acto decisivo en la ruptura del entendimiento de la luz natural en los procesos de diseño, especialmente en el contexto moderno que busca unificar los rangos que cuantifican la percepción de calidad (Castillo Martínez de Olcoz, 2005).

No solo la iluminación artificial afectó en gran medida las formas de diseñar en relación con los fenómenos naturales, y especialmente con la iluminación del sol, sino la masificación que advino con la era posterior a la industrialización, en donde la adquisición de bienes y aumento de la capacidad financiera de gran parte de la población (Dabat, A., 2009), estimuló la demanda de la propiedad y así mismo la construcción de edificios masivamente, obligando a los ejecutores de este gremio a desatender detalles esenciales para la relación de un espacio con su entorno.

La suma de estos factores históricos aporrecó el hilo que nos permitía vincular la luz como expansión de la energía del sol, como un enlace básico que antecedía el entendimiento del hombre. Es entonces la evolución y el crecimiento de la sociedad el filtro de nuevas manifestaciones que no deberían sesgar la relación básica que tiene el hombre con el mundo natural.

## La luz desde lo cualitativo

### El arte

La luz ha sido un elemento esencial, no solo en fenomenología ambiental, sino en la arquitectura y el arte. Para la era del renacimiento (1300 – 1600DC), el mundo del arte redescubre la luz en su composición artística para destacar elementos específicos, representando emociones e intenciones trascendentales a través de técnicas como el claroscuro o el expresionismo alemán (Castillo Martínez de Olcoz, 2005)

La representación de la luz ha sido una preocupación constante de los artistas para conseguir crear una sensación de realidad, pintores como Goya, Rembrandt y Vermeer nos presentan el universo infinito que pueden crear los distintos contrastes de luz y sombra en el arte, consolidando grandes composiciones de iluminación para crear percepciones de realidad, misterio, deseo, y básicamente para vincular emocionalmente al espectador.

Vermeer, es uno de los artistas que mejor juega con la iluminación; en sus obras introduce la luz a través de las ventanas, dejando el resto de la estancia en penumbra, vinculando al artista holandés con la posibilidad de haber estado familiarizado con la ciencia óptica de su época. Las pinturas de Vermeer producen una sensación de profundidad que posibilita que el motivo se vuelva transparente, que las cosas existan por sí mismas, sin necesidad de ser miradas. Se evita pues destacar la figura o motivo para crear una ilusión de profundidad o perspectiva, y en vez de ello se prima la presencia por encima de la representación. La que solo puede dar la luz natural (Roa, J., 2011).

Rembrandt, reconocido como uno de los artistas más conocedores de la luz en el arte, consigue una definición dramática de luces y sombras en sus obras, que en los retratos otorgaba calidad de profundidad, otorgando la sensación de una suavidad en las texturas que en la completud de la escena se vuelve casi agresiva por su realidad atmosférica y la inquietante potencia de la luz por encima de la mera representación.

Goya, aparece más tarde como un artista experimentado en el uso de la luz, dominante y ambicioso, entendiendo la luz de forma casi científica, como lo fue también para Caravaggio y Velázquez, “presente en la esencia de

sus obras” (Mena, M. 2012). En su obra *Los fusilamientos en la montaña del Príncipe Pío*, Goya logró tal comunicación de la luz, que la hace ver cruel y represiva, como un símbolo que se funde con la experiencia que representaba la guerra de la independencia española para la época (1808), otra muestra del poder que tiene la luz en la percepción profunda del ser.



Figura 10 - 'Los fusilamientos en la montaña del Príncipe Pío', Francisco de Goya, 1814.

### **La percepción:**

Cuando se trata de análisis de iluminación, muchos expertos consideran que la calidad de la luz solo se puede abstraer de aspectos físicos y aplican sus principios a realizar mediciones. A menudo basan sus ideas en un nivel de luz numérico y escalado, discutido en cantidad de lux o  $\text{cd}/\text{m}^2$ , que puede ser comparado y detectado por instrumentos. Sin embargo, si se mira más profundamente la relación del ser humano con la luz, comprende un campo más complejo, pues la energía que se puede medir no es tan confiable y comparativa como nuestros sentidos (Fontenelle, 2008).

Como se presentó en el capítulo anterior, la luz es una fuente de sensaciones diversas que alimentan significativamente cualquier experiencia,

bien sea con el espacio, con otras personas o con la sensibilidad que nos conecta con el mundo de formas difusas y aun, desconocidas.

La percepción es un proceso simple que estimula, y en el estímulo está la información. Según la perspectiva ecológica de Gibson, actualmente existen teorías modernas para las que la interacción con el entorno no sería posible en ausencia de un flujo informativo constante, al que se denomina percepción (James J. Gibson, 1979).

La percepción puede definirse como el conjunto de procesos y actividades relacionados con la estimulación que alcanza a los sentidos, mediante los cuales obtenemos información respecto a nuestro hábitat, las acciones que efectuemos en él y nuestros propios estados internos, entendiendo la percepción de un individuo desde lo subjetivo, lo selectivo y lo temporal (Vernon, 1979):

- Es **Subjetiva**, ya que las reacciones a un mismo estímulo varían de un individuo a otro. Ante un estímulo visual, se derivan respuestas. Una imagen puede significar distintas cosas para unos individuos, dependiendo de sus necesidades en ese momento, de su cultura y sus experiencias.
- La condición de **Selectiva**, es consecuencia de la naturaleza subjetiva de la persona que no puede percibir todo al mismo tiempo y selecciona su campo perceptual en función de lo que desea percibir.
- Lo **Temporal**, es debido a que la percepción es un fenómeno a corto plazo. La forma en que los individuos llevan a cabo el proceso de percepción evoluciona a medida que se enriquecen las experiencias, o varían las necesidades y motivaciones de los mismos.

Dicha temporalidad permite al diseñador cambiar la percepción del usuario sobre el espacio mediante la variación de cualquiera de los elementos que conforman un espacio. La usabilidad del espacio se considera como la habilidad del usuario para reconocer en el espacio las funciones que le permitan llevar una tarea o disposición con éxito, pero la experiencia, le otorga una visión más amplia, observando la interacción completa del individuo con

el ambiente, así como los pensamientos, sentimientos y percepciones que resultan de esa interacción (Tom Tullis, 2008).

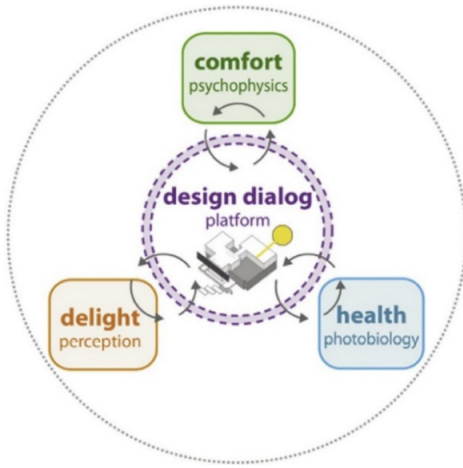
Todas las percepciones que tenemos, son el resultado de nuestra experiencia. Finalmente, y aunque la percepción es un enfoque difícil de comprender, se toma en cuenta que la presentación de escenarios simples, será una de las estrategias claves para que a interpretación de las preferencias quede concentrada en aspectos medibles. Además se da cuenta que es necesario guiar las percepciones de las personas que puedan participar de la evaluación de la metodología.

### **Lo humano**

La luz diurna dinámica y la iluminación artificial controlada pueden afectar no solo las distintas condiciones físicas medibles en un espacio, sino también instigar y provocar diferentes estados de ánimo y experiencias visuales. Debido a la luz, es posible percibir diferentes atmósferas en el mismo entorno físico, constituyendo un elemento fundamental para el diseño de espacios y, por lo tanto, jugando un papel importante en la discusión de la calidad en la arquitectura (Fontenelle, 2008).

El confort visual va mucho más allá del simple hecho de ser capaces de ver lo suficientemente bien como para poder llevar a cabo una tarea. Poder describir el efecto de luz plenamente, requiere analizar muchos aspectos, como su fuente, su distribución, su intensidad, tono y color. Ser capaces de controlar los niveles de luz es también clave para el confort visual, tanto la escasez como el exceso de luz pueden provocar malestar. Un fuerte contraste o grandes cambios en los niveles de luz, pueden causar estrés y fatiga, ya que el ojo humano está adaptándose constantemente a los niveles de luz (Saint-Gobain et al., 2016).

La visión es el sentido primario a través del cual experimentamos los espacios y la luz es el medio que nos permite percibir la arquitectura, la forma, la textura y el color (Baker & Steemers, 2013). En las últimas décadas, las investigaciones recientes se han concentrado en enfoques alternativos para evaluar la luz, especialmente en estos tres temas, como métricas de rendimiento principales del enfoque humano:



- *Confort*
- *Bienestar o potencial de la salud*
- *Placer visual*

Figura 11 – Efectos de la luz no visuales. Recuperado de la investigación: *Unweaving the human response in daylighting design*, Marilyne Andersen, 2015.

## CONFORT

No hay una definición universal de confort, ya que se trata de un tema relativamente complejo, aun así, hoy en día existe un consenso importante al señalar varios factores como claves para diseñar entornos visualmente confortables, como la disposición de vista al exterior, y de luz natural en cantidad suficiente, la distribución uniforme y una buena combinación de luz natural y artificial (Saint-Gobain et al., 2016).

Entender las actividades que se realizarán al interior del espacio ayuda a concretar los niveles de luz que se necesitarán para sentir confort en la ejecución de dicha actividad. Incluso la estética de los espacios o los materiales de los acabados, afectan la percepción que tengamos de la luz en los espacios, haciendo del proceso de diseño confortable, un camino un tanto más complejo.

## BIENESTAR

Los aspectos biológicos de la luz natural están relacionados al sistema de órganos, tejidos y a funciones bioquímicas del cuerpo, como el órgano visual y los fotorreceptores del ojo, a temperatura del cuerpo, la regulación de las hormonas de cortisol, la melatonina y los ritmos circadianos (Van Bommel & Van del Beld, 2004).



Los aspectos fisiológicos corresponden a la percepción de los órganos de los sentidos para captar señales que permitan al cerebro, establecer a través de estímulos comparaciones de diferentes interacciones con el ambiente. En este caso los ojos perciben información a través de la luz y se traduce en respuestas visuales, motrices o mentales, algunas de estas percepciones pueden ser magnitudes cuantificables en forma directa y otras susceptibles de ser evaluadas desde lo cualitativo (Giraldo, 2018).

## **PLACER**

En el marco de la investigación, la percepción de placer visual se ha salido de la línea objetiva, puesto que en el caso de una valoración de este enfoque al interior de un espacio, los resultados podrían estar influidos por múltiples factores, como por ejemplo, la tarea a realizar (Yarbus AL, 1967), el contexto (Torralba A, et al., 2006), o factores individuales como el nivel de cansancio del participante o la presencia de enfermedades conocidas y desconocidas (Andersen, 2015).

La percepción de luz es incuestionablemente un aspecto importante del rendimiento visual y la sensación de agrado; el placer que genera una buena iluminación, vincula al usuario rápidamente con el espacio que lo rodea, estimulando la vista, despertando la sensación psicológica de bienestar, generando gusto o agrado, disponiendo de información para notar otros fenómenos, como la sensación térmica, y hasta incentivando a la creatividad o la permanencia extendida, siendo en cualquier caso la luz un medio para mejorar exponencialmente cualquier lugar, pactando las formas en que se experimenta el espacio, con las percepciones de placer en el lugar.

Algunas investigaciones han demostrado recientemente que las variaciones de la intensidad de la luz permiten comprender mejor la disposición de un lugar, afectando directamente la sensación de agrado o de conexión con cualquier lugar (Chamilothori, Wienold, & Andersen, 2018; Report, 2011).

## La luz desde lo cuantitativo

Sin lugar a dudas, la luz natural es una de las variables esenciales del proyecto arquitectónico, y ha despertado la necesidad de comunicar y poder calcular sus niveles al interior de los espacios. Esto ha dado lugar a la cuantificación de luz como un método clave para los procesos de diseño, facilitando la creación de múltiples herramientas para predecir los niveles de luz natural en los edificios. (Iversen et al., 2013).

El Sistema Internacional de Unidades, abreviado SI, es el sistema de unidades que se usa en casi todo el mundo, para unificar y comunicar cuantitativamente fenómenos físicos fundamentales. El SI surgió para dar coherencia a una gran variedad de subsistemas de unidades que dificultaban el comercio y la transferencia de resultados de mediciones, basados en artificios y medidas particulares, definidos sin mayor rigurosidad científica. En Colombia se establece progresivamente la implementación del Sistema Internacional de Unidades en la Ley 1480 del 2011 (Estatuto de Protección al Consumidor), haciendo más eficiente y competitiva la industria nacional.

En 1979, en la 16° Conferencia General de Pesas y Medidas, se define oficialmente la *Candela* como la intensidad luminosa, en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es de  $1/683$  watt por esterorradián.

Aunque la cuantificación del fenómeno de la luz ha consolidado un panorama más claro y preciso para las decisiones sobre la calidad de los espacios, el presente trabajo es una apuesta para enriquecer enfoques no medibles del mismo campo de investigación, acercando las variables técnicas a la preferencia perceptual.

## Lo técnico

El panorama técnico de la luz se presenta en este trabajo de investigación desde dos puntos de vista. El primero, es la luminancia como fenómeno que interactúa directamente con la percepción de la vista; y el segundo, es el contraste como efecto capaz de dinamizar la escena lumínica y relacionarla entre sí como un solo panorama que distingue el campo visual.

Las investigaciones que se han expuesto en este trabajo hablan del análisis de luz en imágenes, desde dos tipos de medidas que son comúnmente utilizadas para cuantificar la luminancia y el contraste: una que dependen de medidas globales e integra toda la escena para un panorama completo, y otra que dependen de medidas locales para identificar puntos de referencia precisos. Las medidas globales con mayor frecuencia se basan en dos puntos únicos de brillo y oscuridad extremos, teniendo en cuenta la diferencia en los valores de luminancia máximos y mínimos. Otros métodos tienen en cuenta los valores medios de luminancia en lugar de los extremos, y la desviación estándar. Si bien estas medidas de luminancia y contraste proporcionan un único valor comprensible, no pueden predecir con eficacia el contraste entre dos imágenes que varían en composición, respaldando la idea de partir de una imagen estática para mayor precisión tanto en identificación de variables como en evaluación de preferencia de iluminación.

Aunque existe una gama de métodos, todavía hay poco consenso sobre cómo producir un solo número que represente la percepción de luz y contraste de una imagen a través de píxeles localizados o valores de vecindario. Por otro lado, un solo número es una medida compacta que se puede comparar con experimentos subjetivos, que a menudo producen otro valor único de las encuestas de ocupantes (Rockcastle & Andersen, 2014).

### **Modo de Alto Rango Dinámico (HDR)**

Con el advenimiento de la imagen HDR, se ha hecho posible producir fotografías y representaciones digitales con un rango más amplio de datos de luminancia que capturan con mayor precisión una escena desde el punto de vista de un ocupante (Newsham GR, Richardson C, Blanchet C, Veitch JA, 2005), permitiendo la cabida a nuevas interpretaciones de la medición de la luz reflejada en los espacios a través de fotografías que capturan una escena de manera instantánea desafiando la variabilidad del fenómeno natural con la incursión solar y los cambios climáticos, y filtrando la captura de escenas de mayor interés.

Existen cámaras de rango dinámico alto para el mercado profesional, pero son muy costosas. Una solución más asequible para fotografías de alto rango dinámico (HDR) es combinar múltiples fotografías tomadas con distintos

tiempos de exposición en formato **RAW** o **CR2**, que junto con un software diseñado para el integrar imágenes LDR, como Aftab Alpha. Las imágenes HDR resultantes se pueden calibrar contra la luminosidad puntual. Mediciones tomadas en el momento de la captura de imágenes para producir mapas de luminancia (Inanici, 2006). Esta solución se vuelve un método atractivo para los investigadores debido a su bajo costo relativo en comparación con el uso de sensores comúnmente usados para rectificar medidas de fenómenos de la luz, puesto que los recursos para construirlo están ampliamente disponibles (Cámara profesional + Fotoreceptor + Software Aftab Alpha).

Los archivos **CR2** (Canon Raw Version 2) ofrecen un formato de imagen **RAW** utilizado por las cámaras Canon. Dicho formato almacena información del sensor directamente en el dispositivo de almacenamiento. No puede visualizarse fácilmente como un archivo JPG o PNG. Las imágenes almacenadas en formatos RAW pueden editarse en el proceso de postproducción con mucho mayor detalle y una pérdida de calidad menor. En cambio, la edición de archivos JPG u otros formatos de imagen reduce la calidad considerablemente. Las imágenes CR2 no están preparadas para imprimirse directamente y no pueden modificarse sin un programa editor de mapa de bits. Las imágenes RAW son equivalentes a una versión digital de los negativos fotográficos.

Las imágenes RAW tales como las del formato CR2 son procesadas por un conversor específico en una amplia gama interna de color antes de convertirse a un formato de archivo fácil de imprimir, enviar, cargar y descargar. Los colores de las imágenes RAW tales como las contenidas en los archivos CR2 se graban en 12 o 14 bits y utilizan una compresión sin pérdida. El formato CR2 surgió tras el formato CRW que Canon utilizaba en sus modelos 350D, 1D, G9 y 20D. Los archivos CR2, basados en el formato de archivo TIFF, pueden tratarse de forma similar y fueron compatibles con diversos programas (CANON, 2012).

El mayor aporte de la imagen HDR dentro de este tema de investigación es la cuantificación de la percepción de la luz, con la correlación de factores como el tamaño de la vista, la luminancia promedio y la diversidad de luminancia con la percepción por tendencias.

Cuando se adapta en el rango fotópico, el ojo humano puede detectar niveles de luminancia en un rango de  $10(\log)8$  y con 106 niveles de resolución (Boyce, 1981). Las tecnologías convencionales de captura y visualización de imágenes, sin embargo, no concuerdan con la capacidad de resolución del sistema visual humano. Un monitor de pantalla de cristal líquido (LCD) convencional puede presentar niveles de luminancia de hasta  $300 \text{ cd/m}^2$ , con solo 256 niveles de luminancia distintos. Afortunadamente, existen tecnologías para aumentar el rango dinámico tanto para la captura de imágenes como para la visualización (Veitch, 2016).

Jennifer A Veitch, nos presenta en su investigación *Research matters: HDR making Strides*, tres experimentos usando pantallas HDR. Esta integración de pruebas, pone en contraste tres evaluaciones de percepción de la luz por medio de distintos medios, comparando dos versiones de pantallas HDR, con una versión de imagen convencional, en contraste con el escenario real (ubicado en el mismo edificio donde se realizaron las fotografías), calificando lo que vieron en cuatro escalas semánticas diferenciales (tenue – brillante, no uniforme – uniforme, desagradable – agradable, deslumbrante – no deslumbrante), exponiendo finalmente que las percepciones en HDR tuvieron una desviación estándar mínima en relación con los escenarios reales, y en contraste con las imágenes convencionales, a continuación se presenta un cuadro resumen resultado de la evaluación de dos de los escenarios (Veitch, 2016).

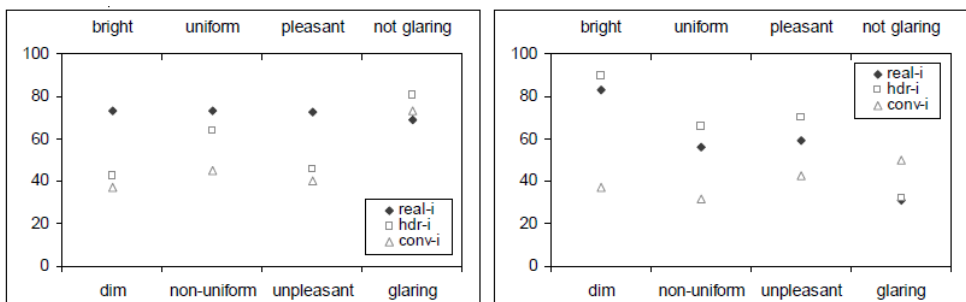


Figura 13 – Recuperada de la investigación *Research Matters: HDR making strides* (Veitch, 2016)

Este experimento, respalda la precisión que se puede lograr para la evaluación de percepción de luz por medio de la fotografía HDR, en contraste con la experiencia dentro de un espacio real, presentando un marco teórico sólido para la elección del modo HDR como punto de partida de valoración.

Dentro de las investigaciones se encontraron componentes importantes para tener en cuenta en la construcción de imágenes HDR, entre ellas un concepto emergente conocido como *desbordamiento luminoso* (Jakubiec, 2015), una condición donde el rango dinámico de la fotografía HDR es menor que la verdadera gama luminosa de la realidad visual. Específicamente, *desbordamiento luminoso* es un concepto importante para los investigadores de confort visual a ser conscientes de como reducciones de luminancia pico reducirá medidas derivadas del contraste, el componente directo de iluminación imagen calculada y la gama de valores previstos detectados por indicadores de malestar visual (A, K, M, & A, 2016)

Otro ejemplo de investigación con el recurso de la fotografía digital en modo HDR, fue el de Rockcastle y Andersen, quienes presentaron en el 2013, a través de fotografías, una estudio que relaciona las variables de tiempo y contraste de la luz natural al interior de un espacio, haciendo visible a través de una cámara y un temporizador, configuraciones diversas y efímeras de la luz y la sombra en un ambiente interior (Rockcastle & Andersen, 2013), obteniendo múltiples referentes científicos que han confiado en este método para capturar aspectos de luz dentro de un marco práctico y fiel a la realidad.

## **Aftab Alpha**

Aftab Alpha es un software basado en Python que utiliza algunos comandos Radiance para crear y analizar imágenes HDR basadas en puntos referidos de luz de una escena real fotografiada.

Dado que todas las cámaras normales tienen limitaciones en cuanto a que no pueden capturar un amplio rango dinámico de luminancia de una escena real, este software permite armar una secuencia de fotos LDR (bajo rango dinámico) capturadas de forma manual con distintos tiempos de exposición y diafragma para crear una imagen HDR (alto rango dinámico) que incluye todo el rango.

El software construye rápidamente mapas de color que proporcionan información de la luz en las superficies del espacio capturado por medio de la fotografía digital, optimizando la lectura de datos técnicos a través de una imagen con valores de luminancia ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) o iluminancia ( $\text{lx}$ ) referenciados por convenciones de color.

Además de las herramientas de calibración de cámara, ensamblaje HDR y análisis HDR, el software tiene algunas otras herramientas útiles, como la interfaz *Evalglare* para realizar la evaluación del deslumbramiento para las imágenes HDR importadas y también la página de creación de diagramas de sol *Sunpath* (MIRI., 2012).

Existen varios softwares que ensamblan fotos LDR para crear una imagen HDR, los más conocidos son Photosphere, WebHDR, wxfalsecolor, hdrscope y Aftab Alpha. Las técnicas de mapeo de luminancia proporcionan mucha más información sobre un entorno luminoso que un número limitado de mediciones. Sin embargo, existe la necesidad de determinadas técnicas prácticas y adecuadas para el análisis de datos que puedan usarse para analizar rápidamente la información y proporcionar retroalimentación útil para las decisiones de diseño de iluminación y estrategias de control.

### **Investigaciones actuales en torno a ambos enfoques**

Cuando se investigan los efectos de la iluminación sobre las impresiones perceptivas de un ambiente interior, el entorno virtual debe corresponderse con datos fotométricos precisos. Aunque en la última década se ha realizado un número considerable de investigaciones para comparar y validar métodos que apunten a combinar preferencia y técnica de la luz, los métodos existentes encontrados, que cuentan con la inmersión del usuario dentro del entorno virtual son realmente pocos (Chamilothori et al., 2018).

Algunos hallazgos en investigaciones que han estudiado la evaluación de la percepción de la luz natural, son consistentes en señalar que los ocupantes parecen preferir ambientes luminosos, no uniformemente iluminados con cierta diversidad de luminancia (Parpairi, Baker, Steemers, & Compagnon, 2002; Wymelenberg & Inanici, 2014).

En este orden de ideas este trabajo de investigación considera construir una serie de escenarios que puedan representar efectos de luz en un grado controlado pero que se diferencia estratégicamente entre escenas por su porcentaje de abertura, su distribución de luz y su efecto de luz, influyendo en la percepción de preferencia por tendencias que permitan entender el punto de vista de los evaluadores en cada uno de los escenarios. A continuación, se argumenta desde lo científico los métodos adoptados en este trabajo para lograr una articulación de miradas en torno a la luz al interior de ambientes arquitectónicos.

### **Métodos de calificación subjetiva**

El interés por relacionar variables y superponer sus componentes, le da apertura a nuevas perspectivas del mundo científico. Las exploraciones del siglo XXI entorno al entendimiento de la luz natural y su impacto en el ser humano adquieren relevancia, reconociendo el tema de la percepción visual como un factor clave a la hora de valorar la calidad lumínica de un espacio, aun así, no ha habido hasta el momento gran exploración de los medios de cuantificación de la luz desde un enfoque perceptivo, que abarque la integración de recursos que mejoren la valoración detallada y en el caso perceptivo, desde una experimentación inmersiva, para alcanzar un mayor grado de refinamiento.

La oportunidad de conectar recursos de representación técnica y cuantitativa con la identificación de marcos preferenciales de los usuarios en torno a la valoración de efectos de la luz es amplia y competitiva dentro de los procesos proyectuales, validando cada vez más la experiencia del usuario como objetivo principal.

Para las investigaciones del comportamiento subjetivo, varios teóricos se han ingeniado modelos de medición que se centran en el concepto o la percepción de individuos, determinando datos que por otros medios serían difíciles de alcanzar, como las *Escalas de Likert* o el *Diferencial Semántico*; estos métodos han sido desarrollados como un medio de visualización que busca representar gráficamente las diferentes connotaciones asociadas a una percepción, concentrada en una palabra para diferentes individuos.



Los estudios han demostrado que la luz natural al interior de los espacios, tiene un impacto significativo en el comportamiento de los ocupantes de un edificio, y viceversa. En el 2008, Cetegen, Veitch y Newsham relacionaron en una investigación la luminancia promedio con la ligereza percibida, y la diversidad de luminancia con el interés visual, aprovechando las imágenes digitales en modo HDR para correlacionar factores cuantitativos con la percepción de la satisfacción lumínica de los ocupantes a partir de fotos en 2D y lo establecido en sus encuestas (Cetegen D, Veitch JA, Newsham GR, 2008).

Han sido pocos los estudios que abordan los impactos de la distribución de luz natural en el campo visual de un ocupante, Parpairi et al., (2002) propone mediciones espaciales para cuantificar la diversidad de vistas. Sus hallazgos revelaron una relación entre las calificaciones de mayor preferencia por los escenarios de gran diversidad luminosa medida (Parpairi et al., 2002).

Otros estudios han utilizado algoritmos genéticos para predecir las preferencias de los ocupantes hacia la luminancia y la uniformidad promedio dentro de un entorno simulado, como un render (Newsham GR, Richardson C, Blanchet C, Veitch JA, 2005). Aunque estos hallazgos son consistentes al señalar que los ocupantes parecen preferir ambientes brillantes, iluminados de forma no uniforme con cierta diversidad de luminancia (Wymelenberg & Inanici, 2014; Parpairi et al., 2002), ninguno de estos estudios abordó la cuestión desde la experiencia inmersiva que le permite al evaluador controlar sus movimientos y ampliar el panorama de evaluación.

La primera es un experimento que utiliza la realidad virtual para recopilar evaluaciones subjetivas de escenas arquitectónicas iluminadas con luz natural, intentando identificar, cuantificar o predecir los impactos perceptivos de la luz natural en las personas, a través de un algoritmo que predice la preferencia del usuario por distintos escenarios que exponen el desempeño lumínico (Rockcastle et al., 2017), reconociendo en un sistema métrico otras variables como el agrado, el interés y la complejidad.

La segunda investigación aunque sigue priorizando la percepción de preferencias del usuario como base de la exploración, está más concentrada en una evaluación que identifique la diferencia de percepciones entre la experiencia inmersiva de un escenario real y la experiencia inmersiva de

un escenario virtual (Chamilothori et al., 2018), facilitando la secuencia de pasos a seguir a la hora de recrear una experiencia inmersiva y adaptarla en el ejercicio de valorar preferencias fieles a las experiencias humanas reales.

La mayoría de investigaciones analizadas utilizaron la entrevista, encuesta o el cuestionario oral como medio clave para recopilar las percepciones de la gente. Siendo uno de los métodos principales métodos de recopilación de datos y conformando una alternativa útil y sencilla para fines prácticos (Cetegen D, Veitch JA, Newsham GR, 2008). La recopilación de estos datos se ha analizado desde la propuesta estructural que se desea proyectar en la persona entrevistada.

En el presente trabajo, se propició que a la hora de hacer las entrevistas por realidad virtual, los evaluadores manifestaran su estado para dirigir su disposición a un momento confortable, y que de esta manera, se pudieran concentrar principalmente en los efectos de luz. Inclusive se consideró usar audífonos para desconectar al evaluador del mundo exterior, pero por facilidades técnicas esta idea se descartó. Con cada personaje evaluado se contó con un espacio tranquilo y silencioso para hacer la encuesta de realidad virtual, como su casa o su espacio de trabajo. En general, todos manifestaron sentirse bien antes y después de hacer la entrevista, manteniendo en lo posible, la toma de medidas subjetivas, de una manera agradable y donde los evaluadores se sintieran a gusto.

## **Realidad Virtual**

Una barrera importante en la aceleración del conocimiento en este campo es la dificultad de controlar la variación de las condiciones luminosas en los estudios experimentales. Aunque la luz del día se identifica como uno de los factores impulsores en el diseño arquitectónico (Zumthor 2006; Holl y otros 2011), actualmente no existen métodos que nos permitan visualizar y evaluar la dinámica y la complejidad de la luz del día en el espacio, reproduciendo verdaderamente la experiencia del usuario, excepto cuando este espacio esté terminado y construido. Sin embargo, usar entornos reales para investigar la percepción humana es complejo en cuanto a parámetros y recursos, mientras que la investigación de la iluminación natural se enfrenta al problema particular de las condiciones que cambian con el tiempo, como

el clima y el cielo (Bülow-Hübe 1995; Newsham y otros 2010; Chamilothoni et al., 2018)

Para acercarse a resolver esta limitante, aparece una de las herramientas más novedosas de los últimos tiempos, con el aprovechamiento de la Realidad Virtual como alternativa en estudios que investigan los efectos de la composición de la luz del día sobre la percepción subjetiva del espacio virtual, mostrando de forma práctica y a través de un modelo o una fotografía, distribuciones de patrones de luz diurna (Chamilothoni et al., 2018; Rockcastle et al., 2017; Musca & Stott, 2017).

Hasta ahora, los usos más visibles de la realidad virtual en la arquitectura han sido la comunicación entre el arquitecto y el cliente, y muchos clientes han encontrado que tales demostraciones inmersivas representan una gran mejora en la comprensión del propósito de diseño de sus arquitectos (Musca & Stott, 2017).

Según Rockcastle, Chamilothoni y Andersen, personajes que han estado ahondando en el tema durante la última década, muy pocos estudios han utilizado una pantalla de realidad virtual inmersiva en la investigación de impresiones de iluminación (Heydarian et al., 2016). Ellas demostraron en su estudio *An Experiment in Virtual Reality to Measure Daylight* (Rockcastle et al., 2017) que el rendimiento del usuario en la identificación de objetos, la velocidad de lectura y la comprensión en un espacio, era similar en un entorno real, comprobando la eficiencia del método en la percepción de experiencia inmersiva, su eficacia como recurso de comunicación de la luz y la oportunidad de promover un medio que sigue siendo experimental, pero que parece muy prometedor para su uso como sustituto de entornos reales en la investigación.

### **Articulación de enfoques**

El recurso de la luz natural, como fenómeno de gran influencia en el campo del diseño, implica una cantidad de impactos en el hombre, que se vuelve un objetivo de investigación en múltiples perspectivas. Los arquitectos entienden la importancia de la luz natural también en su capacidad para generar una atmósfera, revelar el diseño, dibujar una coreografía de la geometría y la luz, dar textura a los volúmenes construidos o añadir cierta dinámica a

un ambiente monótono (Andersen, 2015); en otras palabras, la luz permite mejorar el interés visual que finalmente proporciona placer emocional.

Han surgido algunas medidas para tratar de cuantificar la “calidad de la luz” mediante la identificación de una relación entre el brillo, contraste y preferencia de los ocupantes (Newsham et al., 2005; Cheung & Chung, 2008; Wymelenberg & Inanici, 2014; Parpairi, Baker, Steemers, & Compagnon, 2002), aportando índices que pueden proveer recursos a la práctica proyectual, pero que en el campo de acción, no se ven reflejados en los procesos de diseño arquitectónico. Esto puede ser por falta de conocimiento o de practicidad, haciendo que la cuantificación de lo cualitativo sea una apuesta arriesgada, y que debe ser comunicada desde la claridad y la practicidad de su función, haciendo que estos procesos tengan mayor relevancia en la ejecución proyectual de la iluminación en el campo real.

Es entonces evidente, que las pruebas experimentales del método de valoración perceptiva son un reto para el diseño y la construcción, pues estos campos buscan resultados prácticos y objetivos, abriendo una puerta a la adecuación de entornos sustitutos de los espacios reales diurnos en experimentos que investigan la percepción a través de la experiencia.

Este trabajo introduce la realidad virtual como un método novedoso para articular enfoques, siendo este el recurso de numerosas investigaciones que se han valido de él para la evaluación subjetiva de la iluminación (Chamilothori et al., 2018; Heydarian et al., 2015; Musca & Stott, 2017; Rockcastle et al., 2017) comprendiendo la experiencia visual como un lenguaje atractivo y simple que se puede ejecutar fácilmente.

No sobra tener en cuenta aquello que Kynthia Chamilothori menciona en una de sus investigaciones, pues dice que “La idea es que la realidad virtual debe apoyar, no reemplazar, la intuición del arquitecto”, manteniendo este recurso como un medio que debe ser bien interpretado. El objetivo es ayudar a la arquitectura a desarrollarse más allá de lo puramente visual en algo más fenomenológico. La comprensión de las respuestas fisiológicas de las personas podría avanzar enormemente nuestra comprensión de cómo la arquitectura influye en la percepción y el comportamiento humanos.

Articular los enfoques del usuario y el diseñador resulta esclarecedor, cuando consideramos el impacto positivo que ofrece la realidad virtual para comunicar la preferencia del ocupante. Abordar la luz desde lo cualitativo y cuantitativo puede dar apertura a otros panoramas, que vinculan incluso a diversas profesiones que no están directamente emparentadas con la construcción o la academia, entendiendo los desarrollos de conocimiento de la luz natural en sentidos transversales a la arquitectura, multiplicando el entendimiento de más profesionales que intervienen en la construcción de las ciudades y que gracias a un recurso del lenguaje de comunicación visual, pueden anteponer la calidad de los ambientes iluminados con luz natural.

La interacción de los factores de evaluación debería estar ligada al sentido común del arte de proyectar, favoreciendo siempre la comodidad ambiental, el uso racional de energía y la viabilidad de recursos, encontrando a través de múltiples enfoques de la arquitectura, una exploración inteligente para relacionar a las comunidades con su entorno, e integrar todos los puntos a los que es tangente el habitar.

Más allá de su complementariedad en el apoyo a un marco de rendimiento de iluminación natural unificado, los dos modelos propuestos con respecto a los efectos no visuales y la luz del día perceptual incorporan aspectos altamente innovadores por sí mismos. El modelo de respuesta a la luz, representa un primer intento de describir funcionalmente el mecanismo subyacente de los efectos directos no visuales, que promete ser un nuevo enfoque para apoyar el diseño de iluminación saludable una vez que se hayan llevado a cabo nuevas investigaciones para refinar y validar el modelo propuesto (Amundadottir et al., 2013).

## Conclusiones

Este documento introdujo un estudio experimental que utiliza las escenas inmersivas de Fotografía HDR para la identificación de cantidades y distribución lumínica al interior de varios espacios, y la valoración de percepciones de preferencias a través de la experiencia inmersiva que proporciona la realidad virtual de los mismos. El motivo de recoger datos objetivos y subjetivos, permitió introducir una relación de enfoques en la investigación de la luz natural desde la perspectiva del ser humano, enriqueciendo otras miradas en los procesos de diseño y explorando otras alternativas para la comunicación de intenciones espaciales desde la experiencia.

Durante la identificación de valores de luminancia, se notó que una distribución de luminancia no uniforme hace que un espacio genere cierto interés en los profesionales con énfasis en diseño, pero que aquellos espacios con distribución homogénea y contrastes bajos, fueron preferidos por los profesionales con énfasis bioclimáticos, respaldando tal vez, la idea de que unos buscan el deleite visual de los espacios y los otros, la calidad controlada de los niveles de luz. Esta es una hipótesis que puede analizarse con mayor profundidad, sin embargo, es una conclusión interesante que surge durante el proceso de valoración.

Uno de los beneficios de usar imágenes para juicios de apariencia es un mayor control sobre la escena; cada participante puede ver exactamente la misma imagen. Tanto la realidad virtual en HDR como la fotografía digital conformando el HDR permitieron visualizar unas condiciones cercanas a la realidad, demostrando que existen formas asequibles de representar fenómenos visualmente como herramientas valiosas para la comunidad de diseño iluminación en la arquitectura.

A pesar de que no se pudo construir una idea contundente que correlacionara la luminancia con la preferencia, se distinguen variables de peso para las calificaciones de preferencia en los espacios, tales como que la homogeneidad de luz en los espacios interiores tiene buen grado de preferencia dentro del panel de expertos, siempre y cuando se pueda visualizar el origen de luz dentro de la escena. Las escenas que permitieron el contacto con el exterior despertaron cierto grado de interés, atribuyendo al escenario F6 la

segunda posición de preferencia por su vínculo con el entorno a altura del espectador. La percepción del encierro que generaron escenarios como el E5 o el G7 sobresalió por las bajas calificaciones de preferencia, además, los evaluadores manifestaron que se sentían en “un manicomio, o un consultorio”, aludiendo a una sensación de angustia por sentirse encerrados.

La comparación de clasificaciones subjetivas de siete escenas con la identificación cuantitativa y técnica de la luz, permitió vincular calificaciones según el perfil del evaluador, encontrando tendencias parecidas entre oficinas, o calificaciones altas y bajas en común entre colegas de énfasis, respaldando la idea del entorno influyendo sobre la percepción del profesional.

Uno de los alcances proyectados de este trabajo fue promover una mirada inversa del proceso de diseño, comenzando desde el usuario final del problema y diseñando al revés para identificar qué aspectos de diseño y parámetros cuantitativos pueden afectar en su percepción del lugar. Es pues una conclusión reconfortante, evidenciar que este método es una herramienta eficiente para identificar preferencias visuales del ser humano, aunque estas preferencias estén influenciadas por demasiadas variables. Esta valoración de preferencias por percepción puede conformar los efectos de luz y otros atributos que podrán enriquecer los espacios construidos, dirigiendo a un objetivo más claro en la forma geométrica de las aberturas, del espacio, incluso de sus acabados interiores y su orientación.

Mientras que algunos estudios anteriores han utilizado imágenes rectangulares en 2D para capturar emociones de la percepción de la luz, este es el primer estudio de tipo valorativo-perceptivo en contraste con identificativo-técnico, que utiliza el enfoque virtual inmersivo en contraste con la fotografía en modo HDR, para la recolección de datos de naturalezas diferentes.

Finalmente se resumieron las conclusiones así:

- Aunque se comprobó que la identificación de aspectos técnicos y la valoración de preferencias lumínicas no tiene asociación lineal, se distinguieron preferencias en escenas con iluminación homogénea en dónde se pudiera hacer contacto con el exterior de los ambientes.
- Esta metodología permite identificar preferencias cuantitativamente, más no parametrizar tendencias.

- Aunque no existe correlación entre valoración de enfoques, se encontraron tendencias cuantitativas parecidas entre calificaciones de evaluadores provenientes del mismo lugar, o valoraciones altas y bajas en común entre colegas de énfasis, respaldando la teoría de la influencia del entorno sobre la percepción del profesional.
- La valoración de preferencias se enmarca de formas diversas y subjetivas, en algunos casos los evaluadores complementaron el contexto de su experiencia inmersiva preguntando por el tiempo, el clima y la compañía, haciendo compleja la homogenización de experiencias de evaluación.
- Esta metodología es útil en casos en donde el diseñador o investigador quiera identificar preferencias cualitativas de forma técnica, ya sea para fines del proceso de diseño o para profundizar en los aspectos “placenteros” o “emocionales” que hay detrás de determinadas cantidades y distribuciones de luz en un espacio que pueda ser fotografiado.
- Es probable que el factor que más influyó en la valoración perceptiva de la metodología fue el diseño de la abertura más que el efecto de luz, vinculando la mirada del espectador con el contacto exterior o no, jugando con texturas y simetrías que pudieron distraer el propósito real del ejercicio.
- Esta metodología se puede replicar fácilmente, teniendo conocimiento de las variables y controlando los factores de valoración.

## **PERSONALES:**

El objetivo general de este ejercicio es ensayar un método de valoración que articula aspectos técnicos y perceptuales de la iluminación natural en ambientes interiores, pero finalmente el alcance era conocer y reconocer otros universos de la perspectiva como un medio para enriquecer mi propia visión.

Trazar un método para vincular lo cualitativo y lo cuantitativo en la iluminación es un tema interesante de investigación que se ha abordado infinitas veces, pero desde el campo laboral personal del autor, acercar la percepción humana a los procesos técnicos, permite enlazar la figura



profesional del diseñador con el usuario, enriqueciendo procesos mecánicos de humanidad.

Asociar interpretaciones de los efectos de la luz, trazando una opción para vincular rangos cuantitativos y preferencias, promueve el desarrollo de nuevos modos de entender la iluminación natural en torno a las preferencias humanas y le ofrece al mundo científico una metodología que conecte unidades de medida de formas simples con el propósito final de disminuir la brecha del lenguaje entre enfoques de iluminación natural.

## RECOMENDACIONES

La presente investigación presenta varias limitaciones que al mismo tiempo, permitieron enmarcar los alcances y el desarrollo de esta. El ensayo de un método para vincular enfoques distintos en una cantidad limitada de espacios con determinadas características y una sola orientación, puede limitar las conclusiones a un marco muy cerrado. Todavía sigue vigente la necesidad de identificar los parámetros físicos apropiados para evaluar la cantidad de luz natural en diversos casos de estudio.

Por otro lado se reconocen limitaciones por la precisión de la medición de luminancia, teniendo en cuenta que se tomaron las medidas con un Luxómetro y no con Luminancímetro, y que el mercado ofrece herramientas más precisas pero difíciles de conseguir por presupuesto elevado.

Las exposiciones se tomaron de lento a rápido a partir de los 4 seg. Inanici recomienda que estas velocidades se tomen cada mitad de tiempo de exposición, multiplicando la cantidad de capturas así: 4s, 2s, 1s, 1/2s, 1/4s, 1/8s, 1/15s, 1/30s, 1/60s, 1/125s, 1/250s, 1/500s, 1/1000s, 1/2000s, 1/4000s, 1/8000s (A et al., 2016).

Por cuestiones de tiempo, el número de capturas conseguidas en el presente trabajo de investigación fue de 1/8 de cada próxima exposición, capturando solo 7 tomas con distinta exposición por escena, asumiendo la curva de error que esto puede generar como parte de un proceso práctico, sin embargo, se recomienda que para una próxima investigación se puedan tomar las 16 capturas por escena que sugiere Inanici.

Otro aspecto a reconocer de la metodología es que la evaluación de luminancias con la experiencia inmersiva fue realmente de 180°, puesto que se le solicitó a los participantes mirar hacia el costado de la abertura, distinguiendo tan solo en las escenas HDR 2D, una dirección del campo de visión de 120°, limitando los alcances del recurso 360 de las gafas de realidad virtual a la mitad. Además se identifica que la costura entre la mirada norte y la sur de la fotografía 360 y el trípode que queda visible, puede generar dificultad para sentirse realmente al interior de este espacio, despertando duda o influenciando la toma de valoraciones.

La investigación *Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments* (Chamilothori et al., 2018) identificó en su investigación que existen algunas limitaciones por percepciones que no permiten la experiencia inmersiva en la realidad virtual, como la posible incomodidad térmica o auditiva que se podría sentir fuera de la escena virtual, teniendo en cuenta que esta solo está dirigida a responder a la vista, haciendo de las respuestas, como lo respalda también la teoría de la percepción, una suma de una cantidad incontrolable de factores que estimulan e influyen en la respuesta de preferencia.

Estas apreciaciones encontradas en otros trabajos de investigación incentivan la importancia de realizar este trabajo de investigación, como una oportunidad para estudiar, analizar y revalorar la experiencia del usuario con la luz natural en el proceso de diseño, pero también sus conclusiones son asimiladas desde la incertidumbre de la simulación de una verdadera experiencia de luz natural.

Un estudio de Van der Spek y Houtkamp (2008), que induce a la simulación de una enfermedad, descubrió que la evaluación de las dimensiones ambientales de la excitación y el placer se veía afectada por la incomodidad física de los participantes; un hallazgo relevante para el uso de la realidad virtual como herramienta de investigación empírica, enfatizando la necesidad de un análisis multicriterio para la adecuación de la realidad virtual como un sustituto de entornos reales.

Algo que si es posible comprobar es que la realidad virtual brinda una oportunidad rápida y sencilla de comunicar información espacial y los efectos de los fenómenos visuales en el ambiente, pero no sobra explorar con mayor

profundidad el estudio de todos los sentidos que despierta el placer visual y la percepción de la luz en el ser humano. El universo de los estímulos que impactan la experiencia de los espacios, es una oportunidad increíble de afiliarse con los hábitos de una población objetiva y enriquecer su calidad de vida desde lo más intangible como es su percepción de sentirse bien.

Es importante reconocer que las variables que hacen parte de este experimento de valoración son diversas y es complejo controlar que las percepciones se enmarquen únicamente en lo lumínico, haciendo un poco complejo la asociación de factores cualitativos y cuantitativos, aun así, el proceso y los resultados que pudieron evidenciar las gráficas, son un recurso interesante que puede tener múltiples análisis. Aquí se evidencian los que el autor identificó de su interés.

Es difícil establecer un umbral bidireccional que vincule percepciones de preferencias con aspectos técnicos, debido a diversos enfoques conocidos de la percepción (selección, temporalidad e interpretación), pero construir una asociación de estos valores permite reconocer un mundo de nuevas posibilidades en el proceso proyectual de espacios iluminados con luz natural.

Las entrevistas se realizan a arquitectos y diseñadores como parte de un gremio que aplica, interactúa y proyecta desempeño lumínico al interior de un espacio. La delimitación del sistema puede ser subjetiva cuando el análisis es realizado por un solo juez o actor, esto no indica que no sean válidos los criterios definidos, no obstante el juicio de expertos y la interacción grupal reducen la vaguedad y la ambigüedad del análisis, lo que permite determinar los criterios esenciales para la evaluación y establecer las relaciones de influencia o dependencia entre ellos. Se recomienda que para un uso futuro de esta metodología, los evaluadores sean los usuarios objetivos que permitan afinar los resultados para producto enmarcado en productos de interés.

El desarrollo futuro de este enfoque inmersivo centrado en la percepción del ser humano, puede ayudar a los diseñadores a comprender los impactos de la luz natural en las evaluaciones subjetivas de ambientes interiores. Se necesita una muestra más amplia de espacios arquitectónicos, sujetos y condiciones del cielo en estudios futuros para validar aún más la generalización de estas medidas en una amplia gama de condiciones espaciales y antecedentes de ocupantes.

Finalmente se resumieron las recomendaciones así:

- La metodología asume datos específicos para un ensayo de valoración práctico y controlado en una maqueta. Es por esto que se recomienda que para el momento de la reproducción de esta metodología, el investigador o diseñador conozca y dirija cada variable, de manera que el resultado sea lo más cercano a la realidad.
- La metodología puede replicarse en espacios construidos, siempre y cuando se lleve un seguimiento de las condiciones de luz exterior para poder valorar distintos escenarios con parámetros iguales.
- Se recomiendan sensores de medición de buena calidad, excelente factura en maqueta (en caso de realizar la metodología sobre un prototipo) y elegir un día con cielo despejado para minimizar varianzas irregulares en los resultados.
- Aunque el juicio de expertos y la interacción grupal reducen la vaguedad y la ambigüedad del análisis de valoración perceptivo, se recomienda que para un uso futuro de esta metodología, los evaluadores sean los usuarios objetivos o perfiles de estudio de interés.
- Se recomienda almacenar de forma ordenada los datos conseguidos, de modo que la tabulación y verificación de resultados entre variables se pueda dar de forma verás y práctica.

## Referencias Bibliográficas

- A, J., K, V. den W., M, I., & A, M. (2016). Accurate Measurement of Daylit Interior Scenes using HDR Photography, (2006), CIE (International Commission on Illumination) 201.
- Alrubaih, M. S., Zain, M. F. M., Alghoul, M. A., Ibrahim, N. L. N., Shameri, M. A., & Elayeb, O. (2013). Research and development on aspects of daylighting fundamentals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 494–505. <https://doi.org/10.1016/j.RSER.2012.12.057>
- Andersen, M. (2015). Unweaving the human response in daylighting design. *Building and Environment*, 91, 101–117. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.014>
- Baker, Nick; Steemers, K. (2013). *Dayligh Design of Buildings*.
- Beghdadi, A., & NEGRATE, A. L. (1988). Contrast Enhancement Technique Based on Local Detection of Edges, 1–13. Retrieved from file:///C:/Users/sergeiu/OneDrive/Documents/Papers/ Contrast Enhancement Technique Based on-1988-10-28.pdf%5Cnpapers://b6c7d293-c492-48a4-91d5-8fae456be1fa/Paper/p11842
- Boyce, P. R. (1981). *Human Factor in Lighting* (Third Edit).
- Castillo Martínez de Olcoz, I. J. (2005). El sentido de la luz. Ideas, mitos y evolución de las artes y los espectáculos de luz hasta el cine. *Departament de Disseny I Imatge*.
- Chamilothori, K., Wienold, J., & Andersen, M. (2018). Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments. *Leukos*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/15502724.2017.1404918>
- Cheung, H. D., & Chung, T. M. (2008). A study on subjective preference to daylit residential indoor environment using conjoint analysis. *Building and Environment*, 43(12), 2101–2111. <https://doi.org/10.1016/j.BUILDENV.2007.12.011>
- Cuttle, C. (2015). *Lighting design: A perception-based approach*. *Lighting Design: A Perception-Based Approach*. <https://doi.org/10.4324/9781315756882>

- Esquivias Fernández, P. M., Moreno, D., & Fernández Expósito, R. M. (2014). Ahorro Energético Y Confort Lumínico: La Protección Solar En El Paradigma De La Arquitectura Actual. *Greencities*, (Edición), 17. Retrieved from <http://igc.malaga.eu/opencms/export/sites/igc/galeria-descargas/b5ee1242-c934-11e7-80be-005056935053/21.-Ahorro-energetico-y-confort-luminico.pdf>
- Evans, J. M. (2007). The Comfort Triangles: A New Tool for Biocliatc Desgin, (September), 315.
- Fontenelle, C. V. (2008). The importance of lighting to the experience of architecture - the lighting approach in architectural competitions, (December).
- Giraldo, V. (2018). Ensayo metodológico para la evaluación simultanea de suficiencia lumínica, probabilidad de deslumbramiento y efectos no visuales en la salud con iluminación natural en oficinas, 1–172.
- Hernández, L. I. (2010). Teoría del Análisis Cualitativo del Espacio Geográfico. México: “Espacio Geográfico”, Revista Electrónica de Geografía Teórica.
- Heydarian, A., Carneiro, J. P., Gerber, D., & Becerik-gerber, B. (2015). Immersive virtual environments , understanding the impact of design features and occupant choice upon lighting for building performance. *Building and Environment*, 89, 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.038>
- IDAIE., C. C. (2005). *Guía Técnica Aprovechamiento de la Luz Natural de Edificios*.
- Iversen, A., Roy, N., Hvass, M., Jørgensen, M., Christoffersen, J., Osterhaus, W., & Johnsen, K. (2013). *Daylight calculations in practice*.
- James J. Gibson. (1979). The Ecological Approach to Visual Perception.
- Kynthia, Chamilothori. Jan, Wienold. Marilyne, A. (2016). Daylight patterns as a means to influence the spatial ambience : a preliminary study ., (September).
- Linhart, F., & Scartezzini, J. L. (2011). Evening office lighting - visual comfort vs. energy efficiency vs. performance? *Building and Environment*, 46(5), 981–989. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.002>

- Mardaljevic, J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*, 41(3), 261–283. <https://doi.org/10.1177/1477153509339703>
- Musca, T., & Stott, R. (2017). *Cómo la realidad virtual está ayudando a los investigadores a entender la fenomenología detrás de la luz en la arquitectura*. Retrieved from <https://www.archdaily.com/879817/how-vr-is-helping-researchers-understand-the-phenomenology-behind-light-in-architecture>
- Newsham, G. R., Richardson, C., Blanchet, C., & Veitch, J. A. (2005). Lighting quality research using rendered images of offices. *Lighting Research & Technology*, 37(2), 93–112. <https://doi.org/10.1191/1365782805li132oa>
- Panero, J., & Zelnik, M. (1996). Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores. Estándares antropométricos. *Zhurnal Eksperimental'noi I Teoreticheskoi Fiziki*, 321. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Parpairi, K., Baker, N. V., Steemers, K. A., & Compagnon, R. (2002). The Luminance Differences index: A new indicator of user preferences in daylight spaces. *Lighting Research & Technology*, 34(1), 53–66. <https://doi.org/10.1191/1365782802li030oa>
- Pinto, G., Martín-sánchez, M., & Martín-sánchez, M. T. (2012). Sistema Internacional de Unidades : resumen histórico y últimas propuestas, 108, 236–240.
- Report, S. (2011). Perceptual spatial analysis of colour and light.
- Rockcastle, S., & Andersen, M. (2013). Annual Dynamics of Daylight Variability and Contrast, 9–23. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5233-0>
- Rockcastle, S., & Andersen, M. (2014). Measuring the dynamics of contrast & daylight variability in architecture: A proof-of-concept methodology. *Building and Environment*, 81, 320–333. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2014.06.012>
- Rockcastle, S., Chamilothoni, K., & Andersen, M. (2017). An Experiment in Virtual Reality to Measure Daylight-Driven Interest in Rendered Architectural Scenes. *Building Simulation*, 2577–2586.

- Saint-Gobain, E. B., Ilustraciones, S., & Vieille, T. (2016). AMBIENTE EN INTERIORES Y BIENESTAR El comic de Saint-Gobain sobre Multi-Confort.
- Salazar, J. H., & Gonzalez, A. (2012). La luz natural en la arquitectura. *Ude-lar*, 1–35.
- Schiffman, H. (2011). La Percepción Sensorial. *Limusa Wiley*, 240.
- Tom Tullis, B. A. (2008). Measuring the user experience.
- Veitch, J. A. (2016). Research Matters : HDR making strides Research Matters : HDR making strides NRCC-52663, (January 2009).
- Vernon, M. D. (1979). *Psicología de la percepción* (Ediciones). Buenos Aires.
- Wymelenberg, K. V. A. N. D. E. N., & Inanici, M. (2014). A Study of Luminance Distribution Patterns and Occupant Preference in Daylit Offices A Study of Luminance Distribution Patterns and Occupant Preference in Daylit Offices, (May).
- Yela, M. (1995). La estructura de la conducta. Estímulo, situación y conciencia. <https://doi.org/10.4270/ruc.2010216>