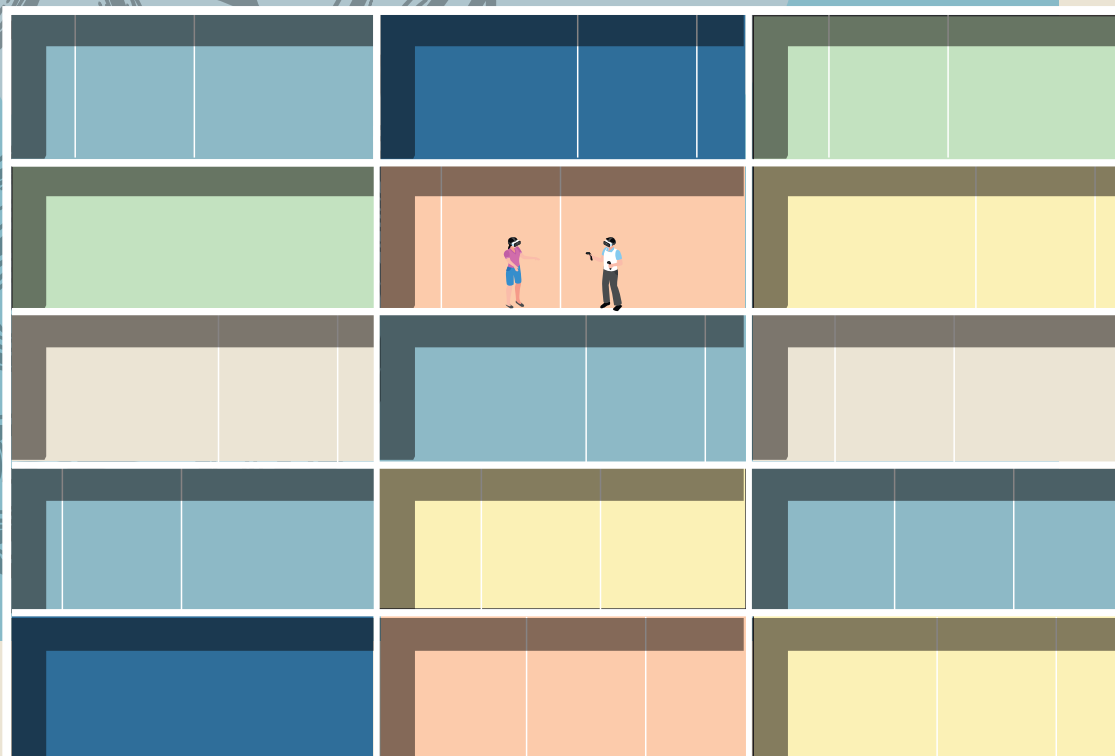


# NEURO ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia  
Fundada en 1951



Artículo Investigación Académica

Diana Fernanda Hidalgo Mendoza  
Nicol Valentina Mayorga Herrera

# CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

METODOLOGÍA

DIAGNÓSTICO

PARTICIPANTES

MEDICIONES Y  
CO-VARIANTES

DESARROLLO  
ESTRATEGIAS

RESULTADOS

APLICACIÓN RVI



# Estrategias Neuroarquitectónicas Para El Diseño De Espacios Educativos Multisensoriales: Un Enfoque En El Desarrollo y Aplicación RVI

*Diana Fernanda Hidalgo Mendoza  
Nicol Valentina Mayorga Herrera*

Facultad de Arquitectura, Universidad La Gran Colombia, Bogotá

**Resumen:** La investigación propone el desarrollo de estrategias neuroarquitectónicas de diseño, partiendo de base teórica, experiencia y estudio arquitectónico en espacios educativos de la Universidad la Gran Colombia, a través de encuestas y caracterización de las aulas educativas existentes. Las proposiciones están fundamentadas en neuroarquitectura implementadas en escenarios multisensoriales creados con software de modelado y realidad virtual inmersiva. Finalmente, se mide en estudiantes la experiencia con el uso de encuestas que serán contrastadas con resultados inicialmente recolectados en trabajo de campo; esto para generar una conclusión y confirmar si es posible que la neuroarquitectura aplicada en escenarios educativos pueda promover un entorno propicio para el desarrollo integral de los estudiantes.

**Palabras clave:** neurociencia, arquitectura, cognición, sentidos, arquitectura sensible, espacio educativo, RVI, 3D, multisensorial.

## **Neuroarchitectural Strategies for Multisensory Educational Space Design: Focus on Development and RVI Application**

**Abstract:** The research proposes the development of neuroarchitectural design strategies, based on theoretical basis, experience and architectural study in educational spaces of the Gran Colombia University, through surveys and characterization of existing educational classrooms. The propositions are based on neuroarchitecture implemented in multisensory scenarios created with BIM technology and immersive virtual reality. Finally, the experience in students is measured with the use of surveys that will be contrasted with results initially collected in field work; this to generate a conclusion and confirm if it is possible that neuroarchitecture applied in educational settings can promote an environment conducive to the comprehensive development of students.

**Keywords:** neuroscience, architecture, cognition, senses, sensitive architecture, educational space, RVI, 3D, multisensory.

## INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las personas y la cognición son facultades influenciadas por las experiencias que reconocen los sentidos. De acuerdo con (Corbusier, 1977) La arquitectura se ha construido históricamente abarcando el espíritu, la mente humana y las sensaciones, en edificios tales como lo son templos, catedrales y mausoleos. También el autor comenta que, aunque las emociones y la arquitectura se originan de un vínculo ineluctable, son rasgos y cualidades que se han olvidado hoy.

Es entonces, la arquitectura una ciencia que abarca el espacio construido con el que a diario nos cruzamos, compartiendo experiencias físicas y mentales. Esta disciplina abarca una responsabilidad de un entorno construido sensible que aporta a estructuras nerviosas, memoria y percepción de las personas.

Asimismo, la neurociencia según (Blanco, 2014) es una disciplina que abarca el estudio del cerebro, la mente y psiquis comprendiendo y analizando el comportamiento del sistema nervioso en el ser humano. Se habla de neuroarquitectura cuando ambos componentes, neurociencia y arquitectura, se enlazan para proporcionar al perceptor cambios de comportamientos resultantes de neuronas estimuladas por medio de los sentidos que experimentan espacios arquitectónicos multisensoriales.

La arquitectura experimenta un desarrollo moderno en el proceso histórico de la revolución industrial. Según (Foucault, 1975) el filósofo Jeremy Bentham plantea estrategias espaciales panópticas atribuidas a la prisión Middlesex, el propósito del filósofo es vigilar y por medio de la percepción espacial generar sensaciones de control, dominio y disciplina.

Este desarrollo moderno se aplica a escenarios laborales, académicos y hospitalarios. Impactando hoy día en los espacios educativos que conservan este modelo obsoleto, inculcando así en los estudiantes sensaciones de vigilancia, castigo y control. Para (Foucault, 1975) esta connotación arquitectónica se convierte en un mecanismo de dominación social que se mantiene en la memoria de las personas, evoluciona en cada generación y hay quienes lo transforman en un control sutil modernizado.

La discusión sobre el panóptico y su conexión con el espacio se desenvuelve en la teoría de la arquitectura y el entorno construido, también existe, una teoría fundamental sobre la relación humana con el medio ambiente. Hay cuatro teorías principales que revelan la relación, a saber, la teoría integral, la teoría de la estimulación, la teoría del control y la configuración del comportamiento.

Los espacios educativos hacen parte del crecimiento sostenible de una sociedad, la importancia de diseñar y construir edificios académicos que promuevan el desarrollo cognitivo es fundamental para la función espacial y psicológica, activando la estructura cerebral Hipocampo<sup>1</sup>. De acuerdo con (Olivares Hernández et al., 2015) el aprendizaje y la memoria son conductas que el sistema nervioso central analiza a partir de estructuras cerebrales como el Hipocampo, una parte del cerebro que además de estimular la memoria también se encarga de producir nuevas neuronas que coordinan funciones cognitivas.

Las estrategias de diseño en espacios educativos son un aspecto clave para el desarrollo y el bienestar de los estudiantes. La neuroarquitectura es una disciplina que combina la arquitectura y la sinapsis del entorno físico e impacto cerebral que influye en el comportamiento humano. Su aplicación en espacios educativos puede tener un impacto significativo en el aprendizaje, la concentración, la creatividad y la salud mental de los estudiantes.

En la ciudad de Bogotá en gran parte, las aulas de clase en los centros educativos aún no aplican los principios de neuroarquitectura. Es necesario desarrollar estrategias de diseño que integren la neurociencia y la arquitectura para espacios. Por lo tanto, es fundamental aplicar estrategias de diseño que integren principios para mejorar la experiencia educativa y promover un entorno propicio para el desarrollo integral de los estudiantes.

Es en este contexto que, partiendo de la necesidad de tener espacios educativos funcionales diseñados bajo conceptos neuroarquitectónicos, se

desarrolla la presente investigación teniendo por objetivo desarrollar estrategias de neuroarquitectura y aplicar en un modelo de escenario educativo realidad virtual inmersiva para crear un entorno educativo multisensorial.

## METODOLOGÍA

El objeto de estudio nace de la problemática educativa actual en la ciudad de Bogotá, puesto que las aulas de clase en la mayoría de los centros educativos aún no aplican principios de neuroarquitectura, lo que deriva en estudiantes. Por lo cual, se busca proponer estrategias de diseño que integren la neurociencia y la arquitectura en escenarios académicos y así, mejorar la experiencia educativa promoviendo un entorno propicio para el desarrollo integral de los estudiantes.

La realización de esta investigación da comienzo con el diagnóstico y caracterización de espacios por medio de levantamientos, fotografías, análisis documental, lumínico y encuestas a estudiantes. Posteriormente, se elaborará una matriz morfológica para obtener 12 posibles soluciones de diseño, las cuales se modelarán y renderizarán con uso de softwares SketchUp y Enscape, esto para evaluar aspectos morfológicos, también, las variaciones serán evaluadas mediante encuestas dirigidas a muestreo opinático que aportará a la selección de prototipo final de diseño para aplicarse mediante la experiencia de realidad virtual inmersiva

Finalmente, el muestreo opinático evaluará la experiencia de la inmersión mediante encuestas que determinarán si las estrategias en el escenario académico final aplicado en neuroarquitectura es óptimo para los estudiantes e influye en su bienestar y confort que radica en el aprendizaje.

Figura 1: Implementación RVI



<sup>1</sup> "Es la parte del cerebro que más se vincula con la memoria: adquisición de la nueva información, codificación, consolidación, formación de relaciones espaciales y la transferencia de lo almacenado en la memoria a corto plazo, a la de largo plazo" (Herrera Cardozo, 2019)



## RESULTADOS

Comenzaremos por la caracterización de espacios educativos aplicando análisis documental científico y normativo, también, encuestas a estudiantes de salones caso estudio ubicados en la Universidad La Gran Colombia. Seguidamente, se desarrolla un conjunto de directrices y estrategias de diseño neuroarquitectónico aplicables a espacios educativos que serán aplicados a variaciones para determinar 12 posibles soluciones con uso de matriz morfológica y software SketchUp y Enscape que conduzcan la solución final de diseño mediante el uso de evaluación técnica ponderada y así finalmente, evaluar producto final a través de la percepción de realidad virtual inmersiva que será transmitida por medio de entrevistas en muestreo opinático del salón I106.

### *CARACTERIZACIÓN DE LAS AULAS EDUCATIVAS EN LA UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA*

Para abordar la problemática de manera integral, inicialmente se establecieron los criterios de evaluación del entorno educativo a utilizarse en el desarrollo de la presente investigación. Posteriormente, se detallaron los instrumentos empleados en la observación de las aulas seleccionadas como casos de estudio: **C203, D202, F401 e I106**. Esta observación se basó en un registro fotográfico que no solo sirvió para documentar visualmente el entorno, sino también como punto de partida para la realización del levantamiento dimensional (2D), el estudio lumínico en cada aula y la creación de modelos tridimensionales (3D) para cada salón. Esta fase diagnóstica estuvo centrada en capturar la configuración espacial, evaluar la iluminación y analizar la distribución de elementos clave en las aulas.

### ***Criterios de Evaluación***

En el proceso de evaluación de las aulas educativas, es fundamental considerar diversos criterios que conforman el entorno físico y sensorial en el cual se desarrolla el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estos criterios abarcan aspectos vitales que influyen de manera directa en la experiencia educativa, permitiendo comprender y valorar la calidad y funcionalidad del espacio educativo en su totalidad. A continuación, se detallarán y explorarán dichos criterios, analizando su importancia en la creación de entornos propicios para el aprendizaje y el bienestar.

### *Condiciones Ambientales*

#### ***Iluminación Natural***

Valora la calidad y eficacia de la iluminación natural en el aula, factores esenciales que influyen en el bienestar y la adecuada visibilidad durante las actividades educativas. Para esta evaluación, se analiza la presencia, tamaño y distribución de ventanas considerando la rotación del sol en horario matutino. Además, se examina la uniformidad en la intensidad de la luz en el espacio y se evalúa cómo esta se aprovecha en función de la disposición estratégica del mobiliario y la distribución inteligente de las áreas de trabajo.

#### ***Ventilación***

Evalúa la circulación de aire en el aula con el objetivo de garantizar un ambiente fresco y saludable, contribuyendo al confort y bienestar óptimos de los estudiantes. Para esta evaluación, se considera la presencia y ubicación de ventanas y puertas que faciliten la ventilación natural, así como la existencia y eficacia de sistemas de ventilación mecánica. Además, se examinan posibles fuentes de contaminación y se evalúa la distribución de la ventilación para asegurar una adecuada circulación del aire en diversas zonas del aula.

#### ***Vegetación***

Valora la presencia de vegetación en el aula y su impacto en el ambiente y bienestar general de los estudiantes. Se examina la existencia de plantas y vegetación en macetas u otros sistemas dentro del espacio, así como su ubicación estratégica en relación con su capacidad para mejorar la estética y contribuir positivamente al ambiente educativo.

### *Estimulación Sensorial*

#### ***Iluminación Artificial***

Analiza la calidad y distribución de la iluminación artificial en el aula, garantizando que sea suficiente y adecuada para el desempeño de actividades educativas. Se evalúa la intensidad luminosa proporcionada por las fuentes artificiales y la uniformidad de esta en todo el espacio.

#### ***Color***

Examina la elección de colores en el aula y cómo afectan la estimulación visual y emocional de los estudiantes. Se verifica que los colores elegidos estén alineados con los principios de la psicología del color,

### *Textura*

Se evalúa la variedad de texturas presentes en las superficies del aula, considerando cómo estas interactúan con el propósito y naturaleza del espacio educativo. Asimismo, se examina si dichas texturas contribuyen a generar una experiencia sensorial enriquecedora para los estudiantes.

### *Olor*

Evalúa la presencia de olores en el aula para determinar si se proporciona un ambiente olfativo agradable que favorezca una experiencia de aprendizaje óptima. Se busca identificar la fuente o fuentes del olor en el aula y comprender si estos afectan positiva o negativamente el bienestar y la concentración de quienes ocupan el espacio educativo.

### *Distribución Espacial*

#### *Mobiliario*

Analiza la disposición y elección del mobiliario en el aula para garantizar comodidad y funcionalidad en el espacio. Se examina si el mobiliario está diseñado de manera ergonómica, asegurando la comodidad y una postura adecuada durante las actividades educativas. Asimismo, se evalúa la funcionalidad y versatilidad del mobiliario, analizando su capacidad para adaptarse a diversas metodologías de enseñanza y a las diferentes actividades educativas. En adición, se observa si el mobiliario está distribuido de manera óptima para aprovechar eficientemente el espacio disponible en el aula.

#### *Distancia del Tablero*

Evalúa la distancia apropiada entre el mobiliario y el tablero para garantizar una visibilidad óptima y fomentar la participación de los estudiantes. Se analiza si la separación entre los asientos y el tablero es adecuada para lograr una visión óptima, sin sacrificar la movilidad necesaria para la interacción efectiva con el tablero. Además, se verifica si desde cualquier posición en el aula se tiene una buena visibilidad y un ángulo de visión adecuado hacia el tablero.

### *Aforo*

Evalúa la capacidad máxima de estudiantes que el aula puede albergar para asegurar un espacio adecuado y seguro. Se examina la cantidad máxima de personas que el aula puede albergar sin comprometer la seguridad ni la comodidad,

garantizando también la disponibilidad de espacio individual por estudiante y una adecuada circulación y accesibilidad en diferentes áreas del aula.

### *Materialidad*

#### *Espesor de Muros*

Se evalúa si el espesor de los muros cumple con las normativas y estándares de seguridad estructural, además de verificar si dicho espesor contribuye de manera adecuada al aislamiento térmico y acústico en el aula.

#### *Material Constructivo*

Se evalúa la calidad y durabilidad de los materiales de construcción, asegurando que cumplan con las normativas y estándares de construcción y seguridad. Además, se verifica si los materiales utilizados cumplen con criterios de sostenibilidad y eco-eficiencia, promoviendo así un enfoque responsable en la elección y uso de materiales en la construcción.

#### *Acabado Interior*

Se analiza la calidad, estética, durabilidad y resistencia de los acabados frente al uso y desgaste diario, considerando su capacidad para mantenerse en óptimas condiciones. Asimismo, se examina la facilidad de mantenimiento y limpieza de los acabados, garantizando un entorno higiénico y bien conservado con esfuerzo mínimo. Por último, se evalúa si los acabados interiores se adecuan al diseño arquitectónico y funcionalidad del aula.

### *Cubierta*

Evalúa la solidez y estabilidad estructural de la cubierta para asegurar su funcionalidad y seguridad, proporcionando un refugio seguro y resistente. Además, evalúa la capacidad de la cubierta para prevenir filtraciones de agua u otros elementos, asegurando un espacio seco y seguro en todo momento. También, se analiza si la cubierta contribuye a la iluminación natural y si se integra de manera armoniosa con el diseño arquitectónico y la estética del aula.

### *Vidrio*

Evalúa la calidad del vidrio en términos de transparencia y claridad visual para asegurar una óptima iluminación natural en el aula. Además, analiza el grado de contribución al aislamiento.

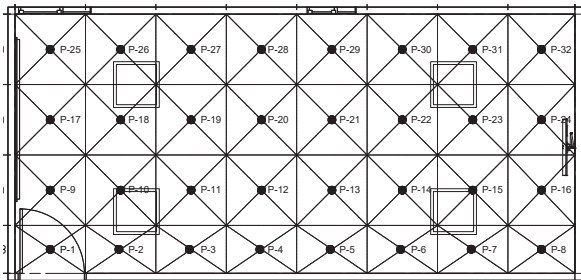
Térmico y acústico del espacio educativo, considerando la eficiencia energética. Se examina también la resistencia y seguridad del vidrio para prevenir riesgos de roturas o accidentes, garantizando un entorno seguro. Por último, se evalúa si el uso de vidrio se integra de manera armoniosa con el diseño arquitectónico y espacial del aula, buscando garantizar la cohesión estética y funcional en el entorno educativo.

**Aislamiento Acústico**

Evalúa la eficacia del aislamiento acústico en reducir el ruido proveniente de áreas adyacentes y en absorber el ruido interno, evitando así la reverberación excesiva. El objetivo es garantizar un ambiente tranquilo y propicio de acuerdo con normativas y estándares establecidos en cuanto al control del sonido, generando un entorno de aprendizaje con condiciones acústicas óptimas que favorezcan la concentración y el bienestar de los estudiantes.

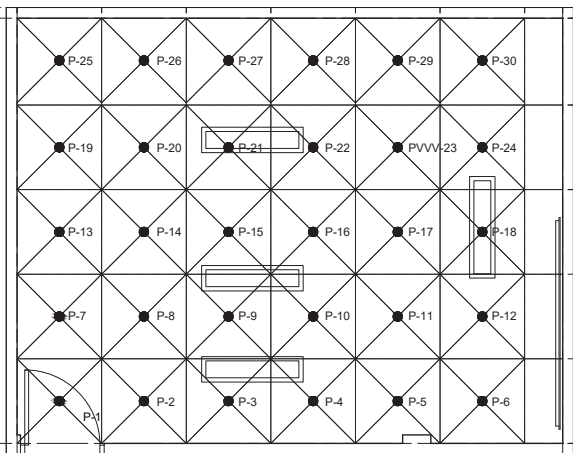
**Levantamientos y Análisis lumínico**

Figura 2: Levantamiento 2D Salón F401



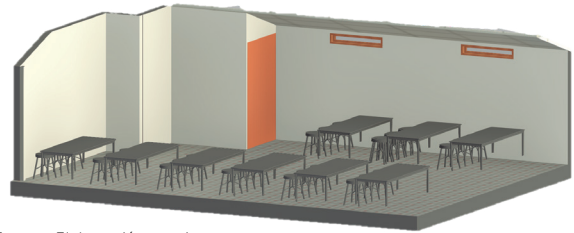
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Levantamiento 2D Salón C203



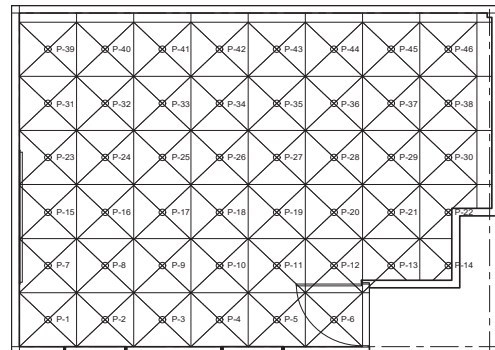
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4: Levantamiento 3D Salón D202



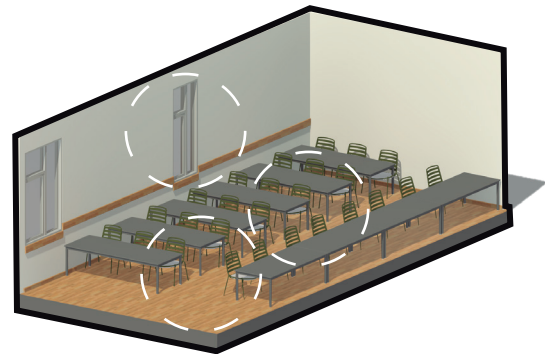
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Levantamiento 2D Salón D202



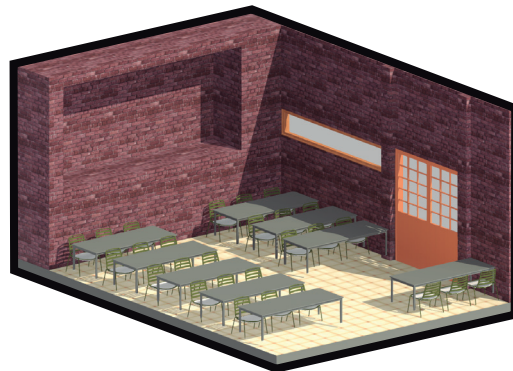
Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Levantamiento 3D Salón F401



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Levantamiento 3D Salón I106



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Análisis lumínico Salón I106

PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	BLOQUE D						
	DIA			PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	DIA		
	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)		ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)
P1	0,8	0,0	399,8	P16	0,8	0,0	398,5
P2	0,8	0,0	401,7	P17	0,8	0,0	385,7
P3	0,8	0,0	411,2	P18	0,8	0,0	384,7
P4	0,8	0,0	460,6	P19	0,8	0,0	405,9
P5	0,8	0,5	380,7	P20	0,8	0,0	411,2
P6	0,8	0,4	362,4	P21	0,8	0,0	381,5
P7	0,8	0,0	372,8	P22	0,8	0,0	380,5
P8	0,8	0,0	379,6	P23	0,8	0,0	378,8
P9	0,8	0,0	390,4	P24	0,8	0,0	399,5
P10	0,8	0,0	380,2	P25	0,8	0,0	388,4
P11	0,8	0,2	410,2	P26	0,8	0,0	396,3
P12	0,8	0,2	397,5	P27	0,8	0,0	385,4
P13	0,8	0,0	388,0	P28	0,8	0,0	384,7
P14	0,8	0,0	404,5	P29	0,8	0,0	388,5
P15	0,8	0,0	387,8	P30	0,8	0,0	375,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Análisis lumínico Salón D202

PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	BLOQUE F						
	DIA			PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	DIA		
	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)		ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)
P1	0,8	57,0	199,8	P17	0,8	57,7	279,6
P2	0,8	29,9	266,5	P18	0,8	44,9	342,7
P3	0,8	25,6	235,0	P19	0,8	22,1	279,8
P4	0,8	1,0	150,2	P20	0,8	26,1	178,2
P5	0,8	15,9	168,0	P21	0,8	36,9	199,7
P6	0,8	15,7	247,1	P22	0,8	4,5	292,1
P7	0,8	14,1	297,0	P23	0,8	9,9	337,0
P8	0,8	11,7	215,8	P24	0,8	4,5	205,0
P9	0,8	44,3	222,4	P25	0,8	229,8	204,2
P10	0,8	35,8	343,6	P26	0,8	33,0	294,4
P11	0,8	21,2	233,2	P27	0,8	7,4	245,0
P12	0,8	16,5	125,6	P28	0,8	19,5	159,7
P13	0,8	13,7	189,5	P29	0,8	150,0	152,8
P14	0,8	13,9	303,8	P30	0,8	26,9	255,5
P15	0,8	11,1	333,6	P31	0,8	4,1	301,0
P16	0,8	8,9	246,9	P32	0,8	2,9	198,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Análisis lumínico Salón F401

PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	BLOQUE C						
	DIA			PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	DIA		
	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)		ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)
P1	0,8	0,9	110,7	P16	0,8	0,5	264,2
P2	0,8	1,2	261,9	P17	0,8	0,2	196,7
P3	0,8	0,4	302,5	P18	0,8	0,0	285,1
P4	0,8	0,2	174,1	P19	0,8	0,8	130,0
P5	0,8	0,0	105,5	P20	0,8	0,9	315,8
P6	0,8	0,0	83,9	P21	0,8	0,8	372,4
P7	0,8	3,6	142,8	P22	0,8	0,6	221,9
P8	0,8	3,0	349,5	P23	0,8	0,3	174,0
P9	0,8	1,0	399,7	P24	0,8	0,0	208,7
P10	0,8	0,2	219,1	P25	0,8	0,6	98,1
P11	0,8	0,0	161,0	P26	0,8	0,5	227,7
P12	0,8	0,0	176,6	P27	0,8	0,7	249,7
P13	0,8	1,5	138,6	P28	0,8	0,6	154,8
P14	0,8	1,6	339,7	P29	0,8	0,5	113,4
P15	0,8	1,1	378,3	P30	0,8	0,2	101,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Análisis lumínico Salón C203

PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	BLOQUE I						
	DIA			PUNTOS DE IDENTIFICACIÓN	DIA		
	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)		ALTURA SOBRE EL PISO (m)	TARDE (AM)	NOCHE (PM)
P1	0,8	0,5	221,9	P16	0,8	0,0	311,2
P2	0,8	0,8	174,0	P17	0,8	0,0	286,7
P3	0,8	0,8	208,7	P18	0,8	0,0	315,2
P4	0,8	0,5	98,1	P19	0,8	0,0	311,7
P5	0,8	0,3	227,7	P20	0,8	0,0	273,8
P6	0,8	0,3	249,7	P21	0,8	0,0	271,4
P7	0,8	0,4	311,2	P22	0,8	0,0	317,8
P8	0,8	0,4	286,7	P23	0,8	0,0	205,0
P9	0,8	0,4	325,2	P24	0,8	0,0	204,2
P10	0,8	0,4	284,9	P25	0,8	0,0	294,4
P11	0,8	0,5	312,2	P26	0,8	0,0	245,0
P12	0,8	0,4	348,9	P27	0,8	0,0	159,7
P13	0,8	0,0	232,9	P28	0,8	0,0	164,2
P14	0,8	0,0	227,7	P29	0,8	0,0	163,1
P15	0,8	0,0	249,7	P30	0,8	0,0	162,0

Fuente: Elaboración propia

Se nota que en el aula **D202**, específicamente en el punto P5 según el levantamiento 2D, la iluminación natural es escasa y en su mayoría se registra un valor de 0 lx. Esta situación se debe a la falta de aberturas en el aula que permitan el ingreso de luz natural. Durante la jornada nocturna, se identifica que el punto con la iluminación artificial más intensa es P4, registrando un valor de 460,6 lx, el cual no cumple con los estándares mínimos de luminancia según la normativa NTC 4595 de 2020.

Se evidencia que en el punto P25 del aula **F401** la iluminación natural es más intensa con un valor de 229,8 a 0.80 m sobre el nivel del suelo. Es importante destacar que este salón recibe mayor cantidad de luz natural entre los espacios estudiados, pero aun así no cumple con los requerimientos mínimos de iluminación que establecen 400 lx. Durante la jornada nocturna, el punto P15 registra el mayor valor con 333,6 lx, sin embargo, no corresponde con la luminancia mínima para espacios educativos según la NTC 4595 2020.

Durante la jornada diurna en el aula **C203** se puede apreciar que en el punto P7, según el levantamiento 2D, la iluminación natural es considerablemente mayor, registrando 174,1 lx. En la jornada nocturna, se observa que el punto con la iluminación artificial más intensa es P9, alcanzando un valor de 399,7 lx. A pesar de tener el valor más alto, no cumple con los requisitos mínimos de luminancia establecidos para espacios educativos según la normativa NTC 4595 de 2020.

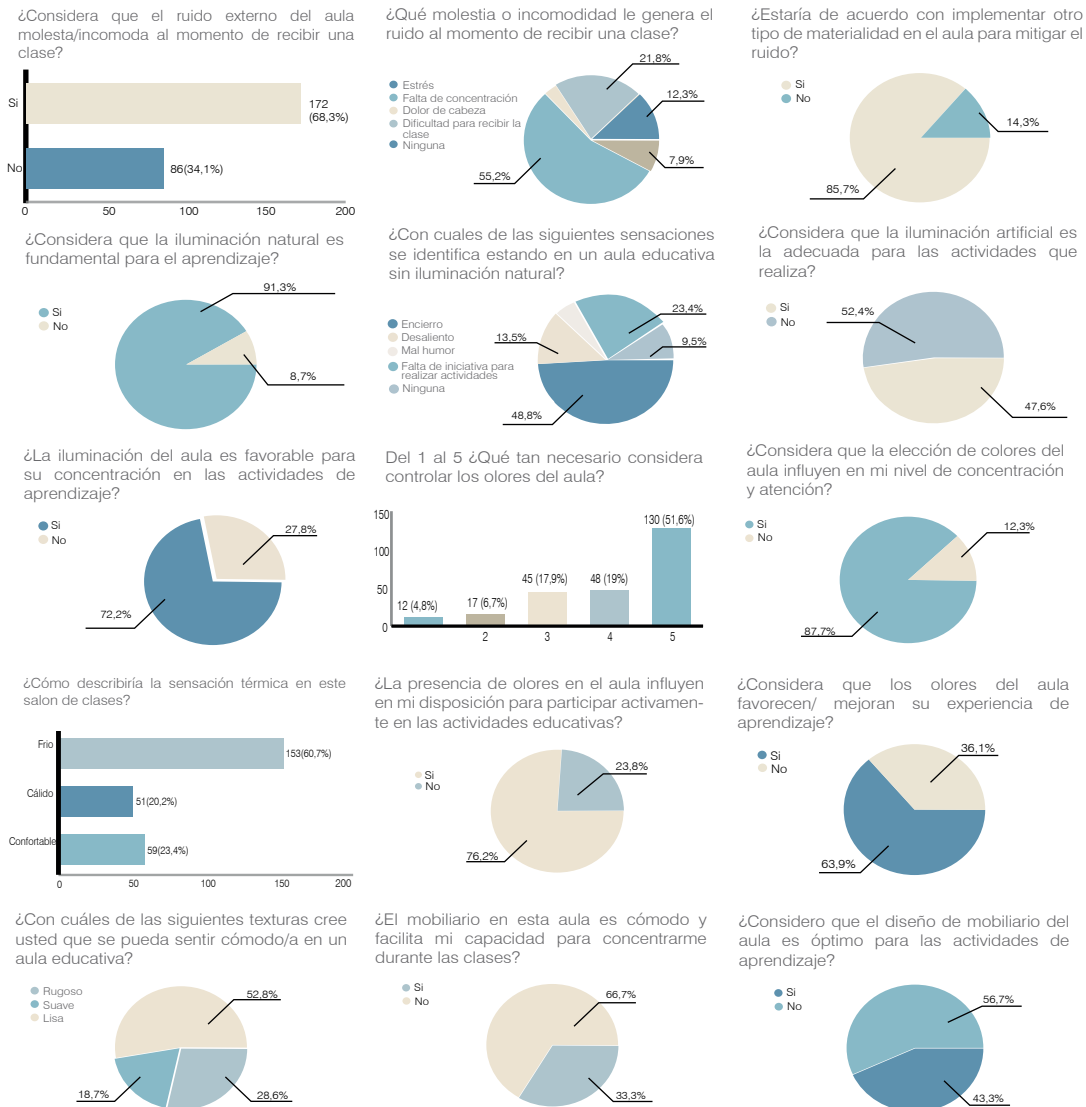
Se observa que en el aula **I106** en el punto P2 y P3, de acuerdo con el levantamiento 2D, hay mayor iluminación natural con 0,8 de luminancia a 0.80 m sobre nivel del suelo. Sin embargo, el resto del salón se encuentra en oscuridad, excepto en los puntos de acceso por donde entra una mínima cantidad de luz natural. Durante la jornada nocturna, el punto de mayor iluminación artificial es P12, aunque no cumple con los estándares mínimos de luminancia para espacios educativos establecidos por la NTC 4595 vde 2020.

### Encuestas a muestreo estratificado en salones caso de estudio

Se aplicó la encuesta a un total de 252 estudiantes pertenecientes a la Universidad La Gran Colombia. El propósito principal de esta encuesta fue de naturaleza exploratoria y estuvo enfocado en evaluar la percepción que los estudiantes tienen acerca de los criterios neuroarquitectónicos aplicados en los salones que se tomaron como caso de estudio. La encuesta incluyó preguntas específicas diseñadas para indagar la opinión de los estudiantes sobre varios aspectos de los salones de estudio, como la distribución del espacio, la iluminación, la disposición del mobiliario, los colores y otros elementos relevantes desde la perspectiva de la neuroarquitectura.

Los resultados de la evaluación indican que una parte sustancial de los estudiantes, aproximadamente el 68%, experimenta molestias o incomodidades debido al ruido externo durante las clases. La falta de concentración se destaca como la molestia más común, afectando al 55.2% de los estudiantes. Además, se resalta la crucial importancia de la iluminación natural, ya que el 91.3% de los encuestados la percibe como fundamental. Por otro lado, preocupa la percepción del mobiliario, ya que el 66.7% de los estudiantes no lo encuentra cómodo. En resumen, estos hallazgos subrayan la vital importancia de abordar aspectos clave como el ruido, la iluminación, el mobiliario y la estética en el diseño de entornos educativos para mejorar la experiencia de aprendizaje y el bienestar general de los estudiantes.

Figura 8: Resultados de encuestas de diagnóstico





## Identificación de necesidades neuroarquitectónicas en el entorno educativo

La información obtenida a través del análisis de resultados y conclusiones de encuestas realizadas a 252 estudiantes se enriqueció con datos recopilados mediante observación directa en los salones de estudio seleccionados, así como con estudios lumínicos y levantamientos 2D y 3D. Estos conjuntos de datos se procesaron de manera integral y se presentaron de manera concisa en una tabla resumen. Esta tabla resume la identificación de las necesidades neuroarquitectónicas que servirán como base para determinar las directrices y el diseño de los 12 escenarios inmersivos. Con este proceso, se da por concluida la fase de diagnóstico físico-espacial.

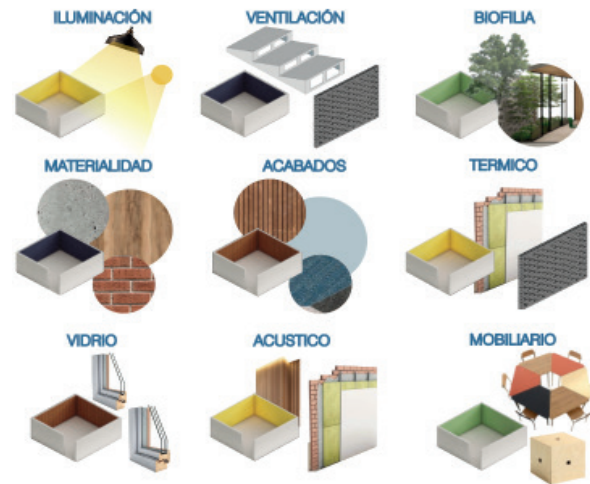
Tabla 5: Identificación necesidades neuroarquitectónicas

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
<b>Condiciones Ambientales</b>	
Iluminación Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incorporar y posicionar vanos estratégicamente (ventanas, tragaluces) para aumentar la entrada de luz natural y evitar sombras excesivas.</li> </ul>
Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asegurar la presencia adecuada de ventanas o sistemas de ventilación eficientes para una buena circulación del aire.</li> <li>Establecer una relación adecuada entre la superficie total de ventanas y el área del aula para garantizar una ventilación óptima.</li> </ul>
Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrar espacios verdes o áreas con vegetación para promover un ambiente más natural y agradable.</li> <li>Seleccionar plantas adecuadas que sean de fácil mantenimiento e hipoalérgicas.</li> </ul>
<b>Estimulación Sensorial</b>	
Iluminación Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalar sistemas de iluminación ajustables y adecuados que proporcionen diferentes niveles de intensidad según las necesidades.</li> <li>Optar por iluminación que no genere sombras duras ni deslumbramiento para garantizar un ambiente visualmente cómodo.</li> </ul>
Color	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar una paleta de colores adecuada, considerando preferencias y psicología del color.</li> <li>Emplear colores que ayuden a diferenciar zonas y áreas específicas dentro del espacio educativo.</li> </ul>
Textura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrar variedad de texturas en superficies y elementos de mobiliario para estimular el sentido del tacto y crear un ambiente sensorialmente enriquecedor.</li> </ul>
Olor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener un ambiente libre de olores desagradables e introducir aromas naturales suaves que promuevan la concentración y el bienestar.</li> </ul>
<b>Distribución Espacial</b>	
Mobiliario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar mobiliario ergonómico y versátil que se ajuste a las necesidades de los estudiantes, permita diversas configuraciones y garantice una correcta circulación en el espacio.</li> </ul>
Distancia al tablero	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponer el mobiliario y los asientos de manera que todos los estudiantes tengan una visibilidad adecuada al tablero y al docente.</li> </ul>
Aforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer un aforo óptimo, garantizando que haya suficiente espacio para acondicionar a todos los estudiantes de forma cómoda y segura.</li> </ul>
<b>Materialidad</b>	
Espesor de muros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar espesores adecuados que proporcionen aislamiento térmico y acústico, asegurando un ambiente interior confortable.</li> </ul>
Material constructivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elegir materiales de construcción duraderos, seguros y sostenibles que cumplan con estándares de calidad y seguridad para espacios educativos.</li> </ul>
Acabado interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar acabados interiores que sean fáciles de mantener, limpiar y que contribuyan a una atmósfera agradable y propicia para el aprendizaje.</li> </ul>
Cubierta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñarla con materiales resistentes y aislantes que protejan de las condiciones meteorológicas adversas y regulen la temperatura interior.</li> <li>Asegurar que pueda drenar eficazmente el agua de lluvia y evite filtraciones, manteniendo un ambiente seco y seguro en el interior.</li> </ul>
Aislamiento acústico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar materiales que proporcionen un buen aislamiento acústico para reducir el ruido y favorecer un entorno de estudio tranquilo.</li> </ul>
Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrar vidrios adecuados que maximicen la entrada de luz natural y, de ser posible, que cuenten con tratamientos para controlar la radiación solar y mejorar la eficiencia energética.</li> </ul>

## ESTRATEGIAS NEUROARQUITECTÓNICAS

Considerando la normativa, investigación y diagnóstico de las aulas caso de estudio se desarrollaron estrategias de diseño neuroarquitectónico aplicables a entornos educativos con el objetivo de plantear alternativas prácticas y de fácil implementación, con la posibilidad de una aplicación progresiva, en espacios ya existentes, y como línea guía para futuros proyectos en el ámbito educativo.

Figura 9: Estrategias neuroarquitectónicas planteadas



## IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS EN REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA

### Matriz Morfológica

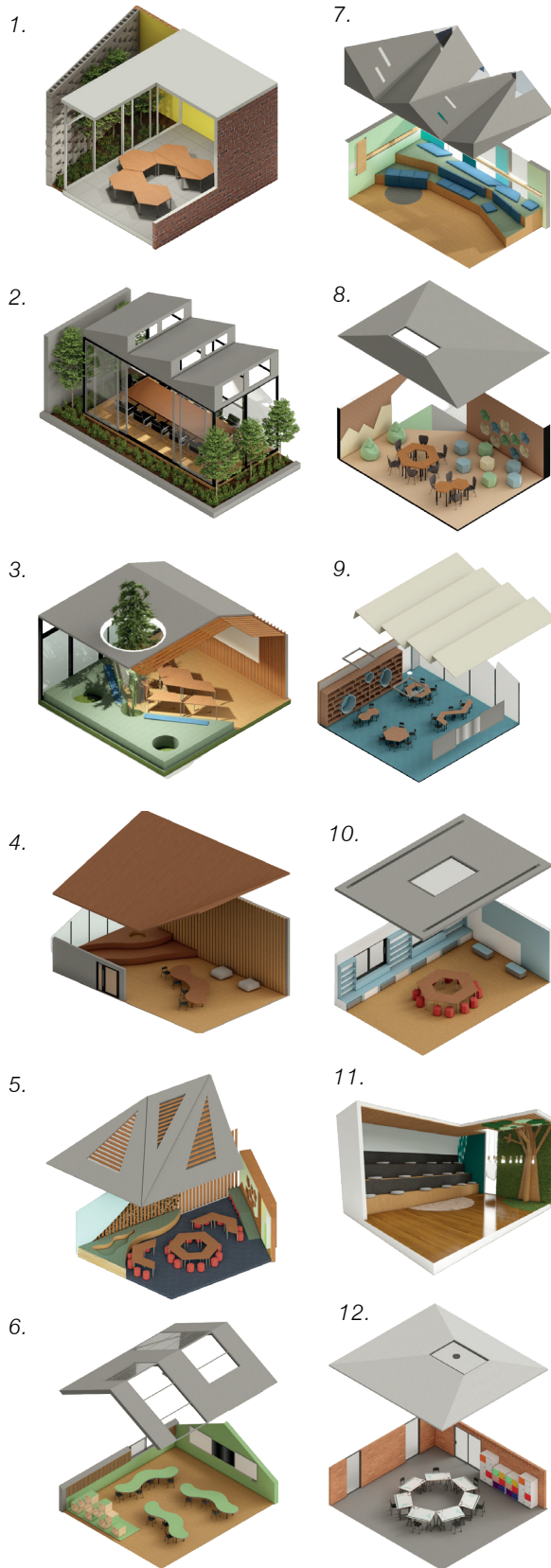
Las estrategias neuroarquitectónicas propuestas se resumen en la matriz morfológica, instrumento con el que se trabajó la exploración de distintas variaciones que respondieron a las necesidades específicas de los estudiantes.

Figura 10: Matriz morfológica

CRITERIOS	NORMATIVA		INVESTIGACIÓN	TRABAJO DE CAMPO
<b>Condiciones Ambientales</b>				
Ventilación	Efecto chimenea	Inducida	Por atrio	Cruzada
Vegetación	No aplica	No aplica	%	No aplica
<b>Estimulación Sensorial</b>				
Iluminación Artificial	700lx	850lx	1000lx	500lx
Color	Blanco	Verde	Amarillo	Azul
Textura	Rugosa	Suave	Lisas	No aplica
Olor	Romero	Lavanda	Bergamota	No aplica
<b>Distribución Espacial</b>				
Mobiliario	1	2	3	4
Distancia al tablero	3mts	4mts	2.5mts	2mts
Aforo	10	15	12	25
<b>Materialidad</b>				
Espesor de muros	0.25	0.1	0.15	0.2
Material constructivo	Bloque hormigón	Vidrio bajo emisivos	Ladrillo btc	Ladrillo tolete
Acabado interior	Pintura	Madera	Suelo vinílico	Material a la vista
Cubierta	1	2	3	4
Aislamiento acústico	Lana de oveja	Poliuretano (EPS)	Celulosa	Fibra de madera
Vidrio	4/6/4	4/10/4	4/12/4	4/16/6

Se construyeron un total de 12 propuestas de diseño, las cuales se modelaron con el uso del software SketchUp.

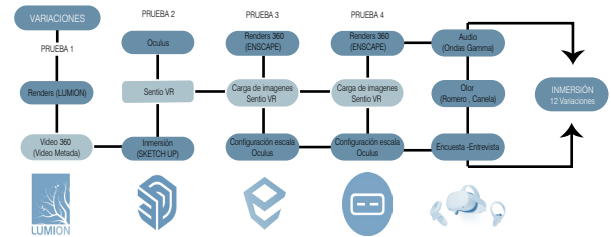
### Variaciones



### Implementación RVI

Para llevar a cabo la implementación, se estructuró el flujo de trabajo en cuatro fases. Este proceso inició con las 12 variaciones detalladas en el capítulo anterior. Posteriormente, se procedió con la extracción de vídeos 360 para cada variación, seguido por la carga de imágenes al equipo de Realidad Virtual Inmersiva (RVI). Finalmente, se completó el proceso con la aplicación de encuestas y entrevistas a los estudiantes que participaron en esta fase experimental.

Figura 11: Flujo de trabajo



Después de completar la extracción y carga de las imágenes 360, se procedió a la implementación de los modelos utilizando el dispositivo Oculus VR. Un total de 23 estudiantes participaron, con un tiempo promedio de 2 minutos por cada uno. En esta fase, además del modelo visual, se incorporaron elementos auditivos mediante el uso de ondas gamma y se introdujeron estímulos olfativos mediante aromas de romero y canela. Se solicitó a los participantes que compartieran sus percepciones del entorno, así como las sensaciones y emociones experimentadas durante la inmersión. Este enfoque integral permitió obtener una comprensión detallada de la respuesta de los participantes ante la implementación de los modelos en el entorno de Realidad Virtual Inmersiva.

Figura 12: Inmersión a estudiantes



**EVALUACIÓN DE ESCENARIOS PRESENTADOS EN REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA**

Se llevó a cabo una encuesta-entrevista dirigida a un grupo de 23 estudiantes pertenecientes a la Universidad La Gran Colombia con el objetivo de evaluar la percepción de los criterios neuroarquitectónicos implementados en los escenarios presentados en RVI. La encuesta consistió en ocho preguntas cerradas con escala de satisfacción del 1 al 5 y la entrevista consistió en 3 últimas preguntas abiertas. Los aspectos evaluados incluyeron la distribución del espacio, la iluminación, la disposición del mobiliario, los colores y otros elementos relevantes desde la perspectiva de la neuroarquitectura.

Para obtener una visión más completa de las variaciones presentadas, la entrevista constó de preguntas cuidadosamente formuladas con el objetivo de alcanzar una comprensión profunda y detallada de las experiencias y opiniones de los participantes. Estas fueron:

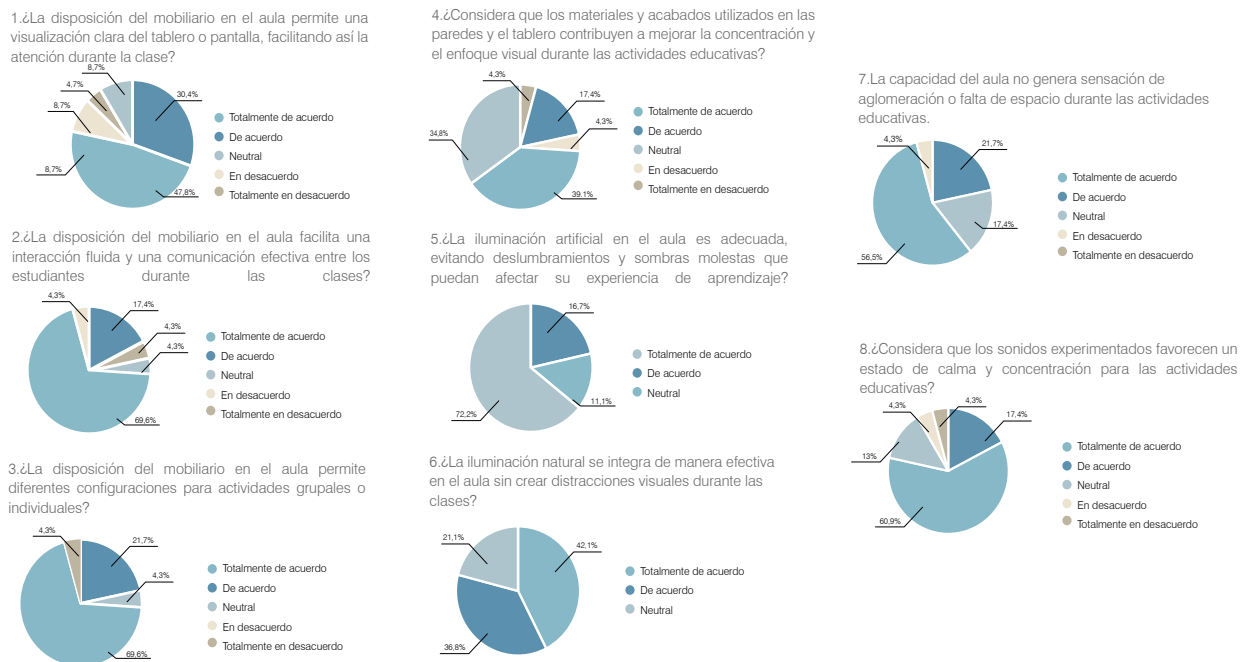
- 9. ¿Cómo describirías las sensaciones que experimentas cuando percibes el aroma del romero?
- 10. ¿Cómo cree que la inclusión de elementos naturales impacta en su bienestar durante la clase?
- 11. En términos generales, ¿cómo describirías tu experiencia durante la actividad realizada?

Las respuestas obtenidas en las encuestas y entrevistas fueron analizadas inicialmente para obtener una visión global de los modelos presentados. En general, la evaluación del entorno educativo revela una satisfacción generalizada entre los estudiantes. La disposición del mobiliario cuenta con la aprobación del 78.2%, mientras que la interacción y flexibilidad de configuraciones son bien recibidas por el 87% y el 91.3%, respectivamente. En cuanto a materiales y acabados, el 56.5% percibe beneficios, y la iluminación artificial es adecuada para el 88.9%. La integración de la iluminación natural es efectiva según el 78.9%. Aunque la mayoría no siente aglomeración (78.2%) y experimenta una influencia positiva de la acústica (78.3%), hay segmentos minoritarios con opiniones menos definidas o menos positivas en algunos aspectos.

Posteriormente, se tabularon los resultados para cada uno de los 12 escenarios de inmersión y se evaluaron las descripciones que los estudiantes brindaron sobre su experiencia y opinión de acuerdo a las preguntas realizadas.

- Se observó que el escenario No. 1 podría resultar distractor debido a la combinación de elementos como la tonalidad azul en las paredes, olores como la canela, y la iluminación. Estos factores pueden generar percepciones de incomodidad o deslumbramiento en algunos estudiantes.

Figura 13: Encuestas de evaluación de escenarios RVI



- En el escenario No. 2, la repetición constante de términos como "tranquilidad" en las descripciones sugiere que este espacio es óptimo. Cuenta con iluminación artificial diseñada para generar comodidad, transmitiendo una sensación de disposición que contribuye significativamente al desarrollo académico.
- El escenario No. 3 ofrece a los estudiantes un espacio propicio para la calma, tranquilidad y concentración. El mobiliario y la iluminación, tanto artificial como natural, se integran efectivamente, contribuyendo a la reducción del estrés en los estudiantes.
- El escenario 4 se presenta como un espacio versátil que inspira sensaciones de comodidad y tranquilidad, especialmente para aquellos estudiantes con dificultades para concentrarse. Limita la visual directa con el entorno, siendo agradable para los estudiantes.
- El escenario 05 refleja ser un entorno educativo que promueve la tranquilidad, armonía y comodidad puede generar una disposición positiva en los estudiantes. La calma y el confort son factores importantes para minimizar distracciones y favorecer el aprendizaje.
- La evaluación del escenario No. 6 sugiere que este escenario está alineado con las expectativas de los participantes, quienes valoran la tranquilidad, calma, concentración y disposición para el aprendizaje.
- El escenario educativo No 7 se caracteriza por limpieza, tranquilidad y paz, este entorno puede tener un impacto positivo en la disminución del estrés y la concentración de los estudiantes, fomentando un ambiente propicio para el aprendizaje.
- El escenario No. 8 fue percibido como acogedor, tranquilo, positivo y cómodo. La libertad presente sugiere un ambiente que permite a los individuos desenvolverse con flexibilidad, ofreciendo un ambiente propicio para el bienestar.
- El escenario educativo No. 9 destaca la importancia de maximizar elementos naturales para promover la concentración. El equilibrio entre comodidad y concentración es esencial para crear un entorno educativo efectivo.
- La evaluación del escenario No. 10 refleja la importancia atribuida a la tranquilidad, paz y concentración. Aunque la variación en la escala es baja, los comentarios sugieren que es percibido como un entorno positivo.
- En el escenario No 11 se destaca la importancia de crear un ambiente educativo que fomente la calma, la comodidad y minimice distracciones para optimizar la concentración y el bienestar de los estudiantes.
- La evaluación del escenario No 12 revela respuestas emocionales mixtas. Algunos aspectos podrían no estar completamente alineados con las preferencias de los estudiantes, pero la presencia de términos como "calma" y "tranquilidad" indica elementos positivos. Se destaca la necesidad de considerar diversas dimensiones emocionales y de confort para un entorno educativo equilibrado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo e implementación de estrategias neuroarquitectónicas en espacios educativos multisensoriales ha dejado en claro su impacto positivo, con un notable 85% de los estudiantes expresando una mejora significativa en su experiencia de aprendizaje y bienestar emocional. Los estímulos multisensoriales, como aromas y sonidos, han demostrado ser especialmente efectivos, generando sensaciones positivas en el 90% de los participantes, quienes manifestaron sentir tranquilidad, creatividad y promoción del aprendizaje. Además, el diseño del mobiliario y la distribución del espacio han contribuido a fomentar la interacción entre los estudiantes, obteniendo un 80% de aceptación en este aspecto.

Asimismo, se confirma que las estrategias neuroarquitectónicas propuestas y aplicadas en este estudio son facilitadoras para los arquitectos en el diseño de espacios educativos, siendo percibidas como herramientas valiosas por el 80% de los estudiantes. Estos resultados respaldan de manera concluyente la eficacia y relevancia de la neuroarquitectura para enriquecer la experiencia educativa.

En cuanto a aspectos por mejorar, se identifica la necesidad de una mayor flexibilidad en la personalización de los entornos, ya que el 15% expresó preferencias individuales distintas. Se recomienda una exploración más profunda de estrategias para abordar estas variabilidades, junto con la implementación de encuestas de seguimiento a largo plazo para evaluar la sostenibilidad de los impactos observados.

Por último, se sugiere la incorporación de retroalimentación continua de los estudiantes para refinar aún más las estrategias neuroarquitectónicas y garantizar una adaptación continua a las cambiantes necesidades de la comunidad educativa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Guacaneme, S. (2011). *La sinestesia en las Termas de Piedra*. *Revista de Arquitectura*, 13, 38-45.

Blanco, C. (2014). *HISTORIA DE LA NEUROCIENCIA El conocimiento del cerebro y la mente desde una perspectiva interdisciplinaria*. Biblioteca Nueva, S. L. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/8041/Libroneurocienciaresumen.pdf?sequence=1>

Corbusier, L. (1977). *Vers une architecture*. Ediciones Apóstrofe, S.L.

Foucault, M. (1975). *VIGILAR Y CASTIGAR Nacimiento de la prisión*. Siglo veintiuno editores Argentina s. a. <https://www.ivanillich.org.mx/Foucault-Castigar.pdf>

Herrera Cardozo, J. (2019). *¿Que es el hipocampo y cual es su funcion?* <http://hdl.handle.net/10818/53989>

Malaver, C. (2013, agosto 17). «No construyamos más colegios como cárceles»: Frank Locker. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13000123>

Ministerio de Educacion Nacional de Colombia. (2020). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595. ICONTEC*.

Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*.

Olivares Hernández, J. D., Juárez Aguilar, E., & García García, F. (2015, abril 23). *El hipocampo: Neurogénesis y aprendizaje*. *Rev Med UV*.