

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS
ACADÉMICAS A PARTIR DE SIMULACIONES DINÁMICAS PARA LA CIUDAD DE
BOGOTÁ

STEFANIA ACERO CAÑÓN
LINA MARÍA PEÑA GUERRERO



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

ARQUITECTURA

BOGOTÁ D.C

NOVIEMBRE DEL 2020

**Recomendaciones para el diseño de iluminación en aulas académicas a partir de
simulaciones dinámicas para la ciudad de Bogotá**

Stefania Acero Cañón

Lina María Peña Guerrero

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitectas

Yuber Alberto Nope Bernal

Docente



Universidad La Gran Colombia

Facultad de arquitectura

Arquitectura

Bogotá D. C

Tabla de contenido

Glosario.....	13
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Introducción	17
1. Capítulo I Antecedentes.....	21
1.1. Formulación del problema – justificación.....	21
1.2. Pregunta problema.....	24
1.3. Árbol de problemas	25
1.4. Población objetivo.....	26
1.5. Hipótesis.....	26
1.6. Objetivos	27
1.6.1. Objetivo general.....	27
1.6.2. Objetivos específicos	27
2. Capítulo II Marco Referencial	28
2.1. Enfoque normativo.....	28
2.1.1. Normativa nacional.....	28

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	4
2.1.2. Normas internacionales.....	30
3. Capítulo III Marco conceptual.....	32
4. Capítulo IV Marco teórico.....	35
4.1. Arquitectura sostenible.....	35
4.2. Espectro luminoso (luz visible).....	35
4.3. Estrategias pasivas.....	36
4.4. Metodología BIM.....	38
4.5. Simulaciones dinámicas (SD).....	39
4.6. Métricas de análisis dinámicas.....	39
5. Capítulo V Estado del arte.....	41
5.1. Introducción estado del arte.....	41
5.2. Confort ambiental y confort lumínico en aulas.....	42
5.3. Efectos y beneficios del confort lumínico en la salud.....	45
5.4. Desempeño académico y confort lumínico.....	48
5.5. Estrategias de iluminación natural para aulas académicas.....	50
6. Capítulo VI Metodología.....	53
6.1. Metodología general de la investigación.....	54
7. Capítulo VII Parámetros de confort lumínico en las aulas.....	55
7.1. Caracterización climática.....	55

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	5
7.1.1. Características de colegios según clima.....	57
7.2. Tipologías de aulas.....	59
7.3. Elección normativas y estándares	62
7.3.1. NTC 4595.....	62
7.3.2. CEN Europea luz normalizada (EN 17037).....	63
7.3.3. Guía de eficiencia energética AChEE (Chile)	64
7.4. Tipologías aulas base	66
7.4.1. Aula regular	67
7.4.2. Aula irregular	68
7.5. Estrategias de iluminación natural	69
7.6. Matriz.....	72
7.6.1. Protección solar.....	74
7.7. Indicadores	77
8. Capítulo VIII Modelos y simulaciones.....	78
8.1. Modelos arquitectónicos proyectados	78
8.1.1. Modelado	78
8.1.2. Simulaciones.....	79
8.2. Metodología de análisis.....	80
8.3. Cuadros de recomendaciones	82

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	6
8.3.1. Cuadro de desempeño	82
8.3.2. Cuadro de recomendaciones por orientación y para aulas existentes	83
9. Capitulo IX Resultados	85
9.1. Aulas base	85
9.2. Modelos resultantes.....	86
9.2.1. Aulas irregulares abertura 25%.....	86
9.2.2. Aulas irregulares abertura 50%.....	87
9.2.3. Aulas irregulares abertura 75%.....	88
9.2.4. Aulas regulares abertura 25%	88
9.2.5. Aulas regulares abertura 50%	89
9.2.6. Aulas regulares abertura 75%	89
10. Conclusiones	91
10.1. Cuadros recomendación.....	92
10.1.1. Cuadro desempeño aula irregular	92
10.1.2. Cuadro desempeño aula regular.....	94
10.1.3. Cuadro mejor por orientación aula irregular.....	96
10.1.4. Cuadro mejor por orientación aula regular	98
11. Anexos	3
11.1. Anexo 1 Aula regular base.....	3

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

		7
11.2.	Anexo 2 Aula irregular base	4
11.3.	Anexo 3 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Norte	5
11.4.	Anexo 4 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Sur	6
11.5.	Anexo 5 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Este.....	7
11.6.	Anexo 6 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Oeste	8
11.7.	Anexo 7 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Norte	9
11.8.	Anexo 8 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Sur	10
11.9.	Anexo 9 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Este.....	11
11.10.	Anexo 10 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Oeste ..	12
11.11.	Anexo 11 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Norte ..	13
11.12.	Anexo 12 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Sur	14
11.13.	Anexo 13 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Este.....	15
11.14.	Anexo 14 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Oeste ..	16
11.15.	Anexo 15 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Norte.....	17
11.16.	Anexo 16 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Sur	18
11.17.	Anexo 17 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Este	19
11.18.	Anexo 18 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Oeste.....	20
11.19.	Anexo 19 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Norte.....	21
11.20.	Anexo 20 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Sur	22

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	8
11.21. Anexo 21 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Este	23
11.22. Anexo 22 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Oeste.....	24
11.23. Anexo 23 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Norte.....	25
11.24. Anexo 24 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Sur	26
11.25. Anexo 25 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Este	27
11.26. Anexo 26 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Oeste.....	28
Lista de referencias	3
Lista Bibliográfica.....	8

Lista de Tablas

Tabla 1 Convenciones gráficas resultados 82

Lista de Figuras

Figura 1	Árbol de problemas.	25
Figura 2	Metodología de la investigación.....	53
Figura 3	Metodología general de la investigación.	54
Figura 4	Análisis climático de Colombia.....	55
Figura 5	Análisis climático Cundinamarca.....	56
Figura 6	Análisis climático Bogotá.....	56
Figura 7	Características de los colegios clima cálido.	57
Figura 8	Características de los colegios clima templado.	58
Figura 9	Características de colegios clima frío.....	58
Figura 10	Características de colegios clima nival.....	59
Figura 11	Tipología en bloque.....	60
Figura 12	Tipología claustro.....	60
Figura 13	Tipología en U.....	60
Figura 14	Tipología recta.....	61
Figura 15	Tipología dispersa.	61
Figura 16	NTC 1.....	62

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	11
Figura 17 NTC 2.....	62
Figura 18 NTC 3.....	63
Figura 19 CEN 1.....	63
Figura 20 CEN 2.....	64
Figura 21 AChEE 1.....	64
Figura 22 AChEE 2.....	65
Figura 23 AChEE 3.....	65
Figura 24 Aula regular.....	68
Figura 25 Aula irregular.....	68
Figura 26 Luz directa e indirecta.....	70
Figura 27 Estrategias de iluminación natural.....	71
Figura 28 Matriz.....	73
Figura 29 Diagrama repisa de luz.....	74
Figura 30 Diagrama en Ray Optics Online.....	76
Figura 31 Diagrama en Ray Optics Online.....	76
Figura 32 Repisa de luz.....	76
Figura 33 Elección de los indicadores.....	77
Figura 34 Modelos base Revit.....	78

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	12
Figura 35 Modelos base Desing Builder.....	78
Figura 36 Simulación AD.....	79
Figura 37 Simulación UDI.....	80
Figura 38 Diagrama de resultados.....	81
Figura 39 Cuadro de desempeño.....	83
Figura 40 Cuadro de orientación.....	84
Figura 41 Resultados aula regular.....	85
Figura 42 Resultados de aula irregular.....	86
Figura 43 Cuadro por desempeño aula irregular.....	93
Figura 44 Cuadro por desempeño aula regular.....	95
Figura 45 Cuadro por orientación aula irregular.....	97
Figura 46 Cuadro por orientación aula regular.....	99

Glosario

Para el entendimiento correcto de la presente investigación es necesario tener en cuenta los significados de algunas palabras que se usarán frecuentemente, por esto a continuación se explican.

Building Information Modeling (BIM): El modelado de información de construcción es una metodología que actualmente permite crear proyectos digitales, manejando coordinadamente toda la información que este conlleva. (Franco,2018)

Confort: Es al bienestar físico que se puede llegar bajo ciertas circunstancias o condiciones de un lugar específico o de una situación. “Memoria desconocida” (2017)

Cognitivo: Es un proceso relacionado con la adquisición de conocimiento mediante la información recibida en un momento específico. La cognición implica muchos factores como el pensamiento, el lenguaje, la percepción, la memoria, el razonamiento, la atención, la resolución de problemas, la toma de decisiones, etc., que forman parte del desarrollo intelectual y de la experiencia. “Memoria desconocida” (2017)

Clima: Estado de las condiciones de la atmósfera en una determinada zona donde se hace referencia a un periodo de tiempo como mínimo tres décadas. (Pérez y Gardey, 2012)

Sostenibilidad: Es un concepto proveniente de la ecología, donde se busca un control de la explotación de los recursos naturales, así dejando una vida más larga de estos para las

generaciones futuras y se debe garantizar un equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. “Memoria desconocida” (2018)

PEI: Es el plan que engloba la estructura del desarrollo institucional de los colegios (misión), y los planos de acción institucional y le da sentido a la planeación a corto, mediano y largo plazo (visión). Estos planos de acción institucional son la investigación, la docencia, la comunidad educativa y el servicio a la comunidad. (Fundación universitaria Konrad Lorenz. s.f)

Resumen

Los procesos de enseñanza-aprendizaje en aulas escolares es promovido en gran parte por condiciones arquitectónicas y constructivas como la iluminación natural, deben ser equilibrados para no causar fatiga visual a los ocupantes. Esta investigación buscó formular recomendaciones para el diseño de aulas académicas nuevas y existentes que respondan a las condiciones de confort lumínico en las dos tipologías seleccionadas (regular e irregular) las cuales están representadas en la ciudad de Bogotá con clima frío. Para cumplir con esto se realizó un análisis de las normas, indicadores y estándares nacionales e internacionales sobre condiciones de iluminación natural en aulas académicas, caracterización arquitectónica y constructiva, así como la zona climática y sus cualidades, llegando a 72 modelos mediante la combinación de variables y constantes para evaluar mediante simulaciones dinámicas los indicadores Daylight Autonomy (DA) y Useful Daylight Illuminance (UDI) e identificar los mejores escenarios, a partir de modelos BIM e interoperabilidad con Desing Builder como una fase importante para la optimización del tiempo y obtener mejores resultados. Luego de las simulaciones y respectivas clasificaciones se obtiene como resultado para el aula regular el 11% de modelos presentan desempeño alto y para el aula irregular el 23%, así mismo un porcentaje de desempeño medio del 50% y 63% respectivamente. Para finalizar se clasificaron los mejores modelos de cada tipología y así presentar las recomendaciones respectivas en modelos que cumplen con el confort lumínico.

Palabras Clave: Iluminación natural, simulaciones dinámicas, confort lumínico, aulas académicas, BIM.

Abstract

The teaching-learning processes in classrooms are mainly promoted by architectural and structural conditions such as natural lighting, which must be balanced in order not to cause visual fatigue to the ones who use it. That research was intended to formulate suggestions for the design of new and existing classrooms that fit the illumination comfort conditions in the two typologies chosen (regular and irregular), which are represented in the city of Bogotá with cold climate. In order to fulfill that, an analysis of rules, indicators and standards on conditions of natural lighting in classrooms, architectural and building characterization was performed, as well as the climatic zone and its features, reaching 72 models through the mixture of variables and constants to evaluate, through dynamic simulations, the Daylight Autonomy (DA) and Useful Daylight Illuminance (UDI) indexes and identify the best scenarios, based on BIM models and interoperability with Design Builder as an important phase for optimizing time and getting better results. After the simulations and its respective classifications, they resulted in, for regular classroom, a high performance from the 11% of models, whereas the irregular classroom gave rise to a medium performance of 50 and 63% respectively. To conclude, the best models of each typology were classified, in order to present the respective suggestions on the models that fit the lighting comfort.

Keywords: Natural lighting, dynamic simulations, light comfort, academic classrooms, BIM.

Introducción

La iluminación natural es un factor muy importante en la vida cotidiana de los seres humanos, por esto es que, al momento del diseño de cualquier espacio como vivienda, oficina o educación, debe pensarse en cómo traer una iluminación natural óptima para cada zona y para las actividades que se realizan dentro de esta, aparte de tener un ambiente confortable para las personas que lo van a ocupar se puede contribuir para la reducción del consumo innecesario de energía.

Es así como la arquitectura bioclimática ha dado un gran giro en los diseños y construcciones de los espacios que se habitan cotidianamente, se ha implementado una arquitectura sostenible, en donde se debe tener en cuenta los factores externos del lugar como lo son la ubicación geográfica y el clima, para así poder aprovechar técnicas de diseño pasivo que en pocas palabras consiste en solucionar problemas básicos (iluminación, ventilación, calefacción) desde el diseño sin tener que usar otro tipo de mecanismos artificiales que pueden estar consumiendo más energía o ser nocivos para la salud de las personas.

La sostenibilidad es un tema amplio dentro del diseño y construcción de algún espacio como lo expresa Domínguez (1997) que la sostenibilidad de un edificio comprende desde los materiales y técnicas de construcción además de su ubicación o implantación; también se debe tener claro el impacto en su entorno inmediato, el consumo energético y el ciclo de vida del edificio. La aplicación de este aspecto es pensar en las fases anteriormente mencionadas: construcción, mantenimiento/operación y en última instancia su derrumbe.

La sostenibilidad no solo aporta al cuidado de los recursos naturales finitos, sino también la salud de los seres humanos. Para esto se debe considerar que las personas pasan más del 70% de su día en un espacio cerrado, sea por sus actividades laborales, de educación, de ocio o para descansar, partiendo de esto se debe encontrar y balancear el confort ambiental dentro de cada espacio para que las personas no tengan problemas de salud, ya que se sabe que un edificio podría llegar a enfermar a las personas cuando no se cuenta con un confort óptimo.

El confort ambiental dentro de un espacio permite el desarrollo adecuado de actividades y la habitabilidad del mismo, evaluando las variables de los espacios y el lugar para mejorar la calidad de vida de los usuarios. Este confort incide directamente en el sujeto, se expresa en su bienestar físico y psicológico, este comprende condiciones como: temperatura, humedad, iluminación y renovación de aire. Siempre se debe buscar un equilibrio entre estas variables para brindar una calidad de vida a los usuarios. (Siber ventilación, 2017)

En las aulas académicas se debe velar por un confort lumínico aceptable ya que las actividades que se realizan requieren de precisión y una mala iluminación produce un mayor esfuerzo visual tal como dice Rodríguez (2014) “puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés y accidentes (...) Una iluminación incorrecta puede ser causa, además, de posturas inadecuadas que generan a la larga alteraciones músculo-esqueléticas” (párr. 1-3)

La mayoría de colegios que funcionan actualmente no se han diseñado aplicando la arquitectura sostenible o bioclimática puesto que se priorizan los beneficios económicos y se deja a un lado la importancia del usuario, es por eso que en algunos colegios las condiciones de confort no son las mejores. Estas fallas en el diseño traen consecuencias que recaen directamente sobre los estudiantes, porque al no estar en un ambiente propicio para poder tener un desarrollo

cognitivo óptimo, puede afectar en su etapa de aprendizaje y sobre todo puede tener afectaciones graves en su salud. Hollwich (1987) citado por Silvestre (2014).

El presente proyecto de investigación propone varios modelos de aulas académicas que cumplan con niveles de confort lumínico óptimo ubicadas en Bogotá, se toma como indicadores para las simulaciones la autonomía de luz día (DA) y la iluminancia útil del día (UDI); para lograr esto se seleccionaron dos tipologías de aulas para clima frío tomando como ejemplo la ciudad de Bogotá y la zona sur de Chía, de allí se seleccionan las tipologías regular e irregular (colegio Los Nogales y colegio Rochester) partiendo de estas tipologías como línea base en las simulaciones dinámicas.

Luego se realizó una caracterización y parametrización de las variables que se deben tener en cuenta para diseñar aulas académicas en base a diferentes normativas o estándares nacionales e internacionales, así se conformó una matriz, construyendo combinaciones de estos parámetros incluyendo constantes (clima, tipo de vidrio, estrategia de protección solar) y variables (materiales, tipo de ventana y orientación).

A partir de esta matriz se generaron 72 modelos de aulas académicas que se realizaron en el programa Revit con sus características arquitectónicas, posteriormente se exportaron al programa Design Builder y se generaron las simulaciones con una métrica dinámica, es decir que se usa un archivo de clima donde se tiene un promedio anual del clima de Bogotá para así poder tener resultados más específicos y eficaces de cada modelo.

Se generó una metodología de análisis que está representado por un diagrama de torta donde se presenta el resumen del resultado de cada una de las simulaciones, esta metodología de

análisis da una mayor organización y entendimiento del desempeño lumínico de cada uno de los modelos.

Al terminar con las simulaciones y la organización de los datos obtenidos se pasó a generar los cuadros de recomendaciones donde se expresa las características de cada modelo para un desempeño alto y que pueda ser reproducido en aulas académicas nuevas dentro de un clima frío como lo es el de la ciudad de Bogotá, también se caracterizaron recomendaciones para aulas existentes, utilizando variables que sean fáciles de modificar.

Con esta investigación se quiere llegar a aportar al diseño de aulas académicas para colegios nuevos para que cumplan con unos niveles de confort lumínico óptimos y así no generar problemas de salud a sus usuarios tanto estudiantes como docentes. Así mismo se aportan recomendaciones sencillas para la modificación de aulas académicas en colegios existentes, en estas recomendaciones es bastante importante la orientación ya que los proyectos existentes pueden tener cualquiera de las cuatro orientaciones principales.

1. Capítulo I Antecedentes

1.1. Formulación del problema – justificación

En las aulas académicas se debe tener un confort ambiental para que no afecte a los ocupantes, ya sean estudiantes o docentes, teniendo en cuenta que estos pasan entre 6 a 8 horas diarias en estos lugares. Malas condiciones en el ambiente pueden afectar la salud y desarrollo cognitivo en el caso de los estudiantes, en el caso de los profesores puede afectar su concentración en las actividades que estén desarrollando. Hay diferentes condiciones para determinar el confort ambiental de un lugar, una de ellas es el confort lumínico para esto se debe generar un equilibrio entre las condiciones lumínicas del lugar para así poder desarrollar las actividades académicas con la mayor eficacia posible.

La Norma Técnica Colombia [NTC] 4595 (2015) “norma colombiana establece los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares orientado a mejorar la calidad del servicio educativo en armonía con las condiciones locales, regionales y nacionales” (Ministerio de educación, 2015, párr. 1). Estándares internacionales como el Cen European Daylight Standart (2015) reconocido para el diseño eficiente de colegios teniendo en cuenta iluminación natural, sistema de ventilación y el IAQ aceptable. Son las normativas o estándares de las cuales se pueden guiar para un óptimo diseño en aulas. Pero la falta de conocimiento y conciencia de la importancia en este tema hace que los colegios presenten fallas en el desempeño del confort lumínico.

En Colombia se diseñan y construyen la mayoría de colegios sin tener presente estas normas o estándares, en el aseguramiento de Calidad Colegios Privados-Requisitos Mínimos exponer que el principal requisito que debe cumplir un colegio de carácter privado para obtener su licencia de funcionamiento es contar con un PEI estructurado de la manera adecuada, (Ministerio de educación, s.f), la parte bioclimática y de confort pierde protagonismo al momento del diseño. Esto causó que muchos colegios no tomen en cuenta las recomendaciones que se encuentran en estas normas o estándares, evitando sobre costos de diseño o de acondicionamiento de espacios existentes.

Es así como el mal diseño o acondicionamiento arquitectónico puede generar afectaciones en la salud y algunos problemas en el aprendizaje en los estudiantes; uno de los mayores problemas es olvidar el papel tan importante que cumple el ser humano para la arquitectura, se debe diseñar bajo los requerimientos necesarios del usuario buscando su bienestar, pero este tipo de principios suelen ser reemplazadas por un beneficio económico dando como resultado el olvido total de un diseño en base al confort ambiental.

La iluminación natural es muy importante para el organismo humano ayudando a estar en buena forma, al sistema nervioso, hormonal e inmunológico, como lo indican expertos reconocidos como el Doctor Fritz Hollwich de la universidad alemana de Muenster.

El Doctor Hollwich (1980) efectuó una investigación que relaciona el comportamiento físico y mental de los niños, esta investigación afirma que: “los niños que se muestran más hiperactivos con estar expuestos una media de 6 horas diarias a una iluminación artificial cuyo espectro electromagnético se aleja de la luz natural”. (Citado por Silvestre, 2014, p. 50). Una

buena iluminación natural ayudaría a disminuir estos síntomas en niños, ayudándolos en su comportamiento y en la fase de aprendizaje.

Un estudio de una empresa de Estados Unidos Steelcase indica que “una buena iluminación natural puede aumentar hasta en un 86% el nivel de energía personal y en un 75% la productividad”, (Palafox, 2002, párr. 4). Gracias a estos indicadores es necesario implementar sistemas naturales de iluminación en aulas académicas para que los estudiantes puedan tener mayor productividad y mayor aprendizaje.

Los beneficios de una buena iluminación son varios, como lo afirma el Doctor Ott en los años 70:

Una buena iluminación natural no solo reduce las dificultades visuales y disminuye los síntomas en caso de estrés, fatiga crónica, hiperactividad, irritabilidad, trastorno afectivo estacional (TAE) y síndrome pre menstrual, sino que mejora la concentración la atención, la memoria visual y auditiva. (Palafox, 2002, párr. 15)

La mejor manera de llegar a tener un buen diseño en relación al confort lumínico es aplicando las estrategias de diseño arquitectónico pasivo, esto ayudará a reducir el consumo energético innecesario en las horas del día y evitará que los usuarios sufran de enfermedades anteriormente mencionadas. La combinación de estos factores es muy influyente en el momento que los estudiantes y profesores están dando uso a estos espacios, ya que un buen diseño o mal diseño en este aspecto dependerá de que los usuarios tengan o no un buen desempeño en las aulas.

Otro aspecto importante para abordar es el atraso normativo que existe en Colombia en cuanto al tema, en la NTC 4595 (2020), normativa que establece el diseño para las aulas escolares realizando recomendaciones básicas para el confort lumínico, solo se toma en cuenta el apartado arquitectónico sin tener previsto los rendimientos técnicos y específicos que la iluminación natural deberían tener en las aulas.

Revisando la última actualización que el Ministerio de Educación realizó sobre la norma, esta se efectuó en el año 2020 sin embargo, esta nueva versión no hace aportes significativos en cuanto a confort lumínico desde la versión de 1999. Debido a estos atrasos nos da una mayor motivación para realizar la investigación sobre confort lumínico en las aulas escolares, ya que internacionalmente se encuentran diferentes normas con respecto a la iluminación natural, pero en su mayoría sobre viviendas y oficinas, sin tener en cuenta que en los colegios también es importante tener un confort para lograr una mayor comodidad de los ocupantes, así logrando aumentar sus capacidades cognitivas, (San Juan, 2014) sumado que son más de 6 horas que alumnos y profesores pasan en estos recintos.

1.2.Pregunta problema

¿Qué estrategias arquitectónicas debe tener un modelo de aula académica cumpliendo con niveles de confort lumínico en clima frío mediante metodología BIM y simulaciones dinámicas?

1.3.Árbol de problemas

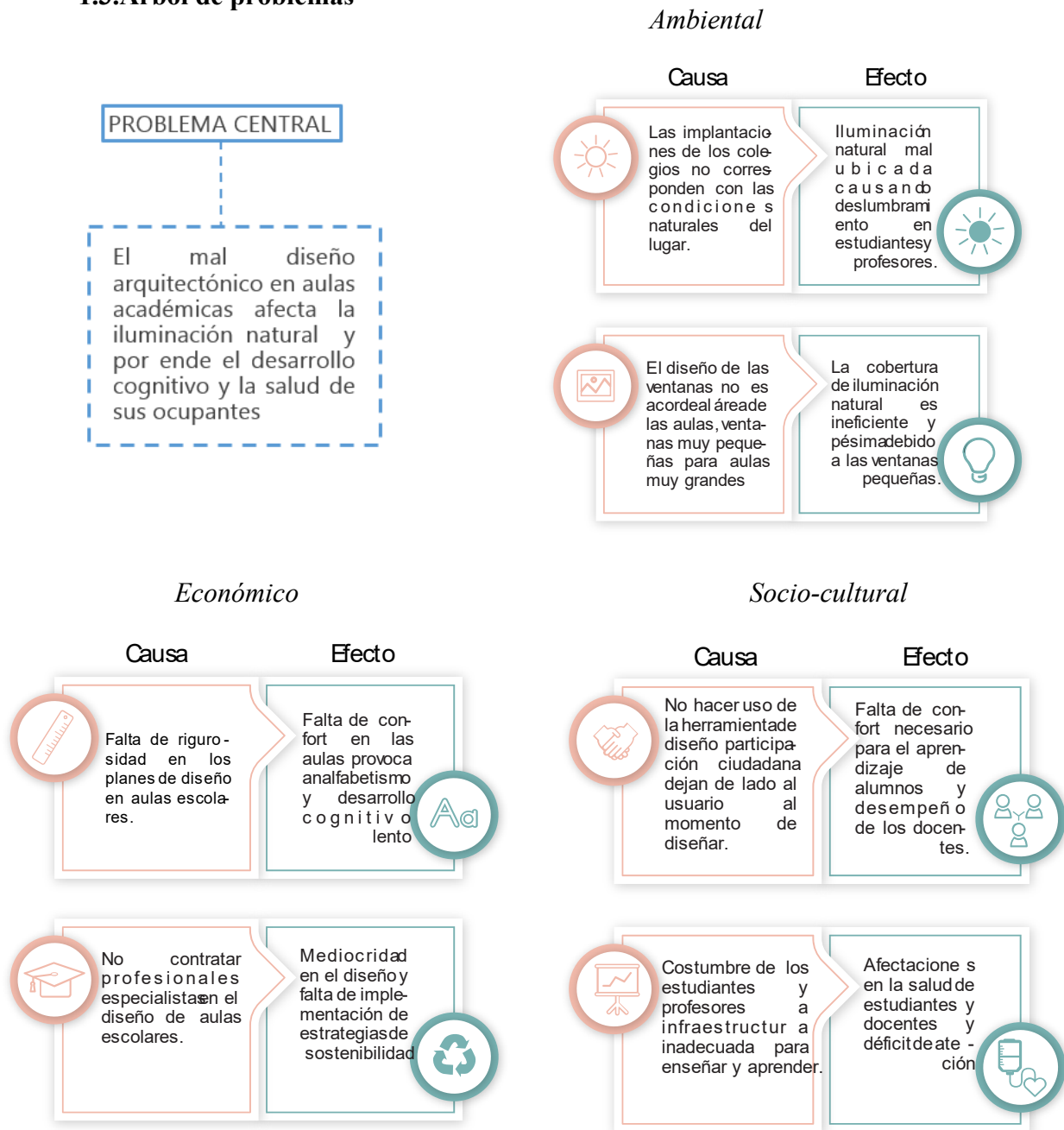


Figura 1 Árbol de problemas.
 Descripción de las causas y efectos principales del problema central de la investigación dividido entre ambiental, económico y socio-cultural.
 Elaboración propia

1.4.Población objetivo

Esta investigación va dirigida para toda la comunidad estudiantil de la ciudad de Bogotá y docentes que cumplan sus funciones de enseñanza dentro de un aula.

La comunidad estudiantil se encuentra dividida en cuatro grupos los cuales son preescolar que van desde un año a los cinco años de edad, primaria que va desde los seis años a los diez años de edad, secundaria desde los once años a los catorce años y por último media con un rango de edad desde quince años a los dieciséis años.

En el Ministerio de Educación Nacional hay 315.971 docentes para los cerca de ocho millones de estudiantes del sector oficial es decir que aproximadamente a cada maestro le corresponderían veinticinco estudiantes inscritos.

1.5.Hipótesis

La validación en modelos de aulas académicas con simulaciones dinámicas para comprobar el comportamiento lumínico mediante variables tales como orientación, porcentaje de vanos, materialidad, forma etc. Permiten la parametrización del diseño basado en la orientación de las mismas. El uso de simulaciones con métricas dinámicas y datos climatológicos del lugar generan mejores indicadores para la identificación de los requerimientos de iluminación natural para un aula académica. La implementación de la metodología BIM permite un correcto desarrollo en el diseño y evaluación de los modelos de aulas académicas, para un eficiente desempeño en iluminación natural trayendo consigo beneficios de aprendizaje y mejoras en la salud.

1.6.Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Formular recomendaciones para el diseño de aulas académicas nuevas y existentes que respondan a las condiciones de confort lumínico

1.6.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros de confort lumínico de las aulas escolares tipo, mediante el estudio de normativa y estándares nacionales e internacionales
- Modelar y evaluar mediante metodología BIM y simulaciones dinámicas el desempeño del confort lumínico de los modelos arquitectónicos proyectados.
- Establecer recomendaciones de diseño arquitectónico para garantizar confort lumínico, en de aulas académicas nuevas y existentes, con base en las simulaciones realizadas y su comportamiento.

2. Capítulo II Marco Referencial

2.1. Enfoque normativo

2.1.1. Normativa nacional

2.1.1.1. Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595 y 4596

Estas dos normas técnicas establecen requisitos de diseño físico-espacial de las instalaciones escolares nuevas, orientándose así a mejorar la calidad del servicio educativo dentro de condiciones locales regionales y nacionales, de igual forma puede utilizarse para la adecuación de instalaciones escolares existentes. En esta norma se abarcan espacios como son el colegio, las aulas, los laboratorios, etc. especialmente para una concepción tradicional.

En el progreso de la norma se acogen a la Ley 1115 de 1994 (Ley general de Educación) también están acogidos en temas de sostenibilidad para generar instalaciones con un funcionamiento óptimo y poco deterioro del ambiente y sus recursos.

Planeamiento general: Las disposiciones necesarias se agrupan en tres áreas: ubicación y características de los predios, dimensionamiento de las instalaciones y disposiciones varias.

Para la selección de los lotes de las instalaciones escolares se debe minimizar las distancias y tiempos de recorrido prolongados desde las zonas habitacionales así mismo se debe facilitar el máximo uso de los equipamientos urbanos disponibles a su alrededor, otro factor a tener en cuenta para la selección del lote debe ser el mínimo riesgo de accidentabilidad por causas naturales y tener en cuenta los usos prohibidos cerca a instituciones educativas.

2.1.1.2. Acuerdo 138 de 2004 (alcaldía mayor de Bogotá)

Con este acuerdo se regula el funcionamiento de establecimientos educativos tanto privados como públicos que prestan servicios desde la educación inicial (jardines infantiles), donde se encuentran edades entre los cero hasta los seis años, así se obliga a adquirir la Licencia de Funcionamiento, donde se declara las condiciones y requisitos para la infraestructura atención y cuidado de niños menores a los seis años de edad.

2.1.1.3. Resolución 1001 de 2006 (departamento administrativo de bienestar social)

Adopta los lineamientos ordenados por el Decreto Distrital 243 de 2006, que reglamenta el Acuerdo Distrital 138 de 2004 y regula el funcionamiento de los establecimientos públicos y privados que prestan el servicio de educación inicial. Señala las facultades de control, registro de instituciones y autoevaluación de las mismas, verificación de las condiciones en que se presta el servicio y concepto al respecto, planes de mejoramiento, suspensión y cancelación del registro, condiciones indispensables de operación; condiciones técnicas de funcionamiento, ubicación e infraestructura, proceso pedagógico, proceso nutricional, exigencias de seguridad y salubridad, recurso humano, coordinación con otras entidades, plazos, instrumentos y manuales.

2.1.1.4. Guía técnica colombiana

Es una guía donde se encuentra la orientación de las directrices al momento de realizar el plan de infraestructura escolar en concordancia con los diferentes planes de educación de las entidades territoriales. En estos planes mencionados se integran diferentes componentes como son: el conceptual, componente humano y componente físico donde se describen los ambientes escolares entre estos los predios edificaciones y equipos.

2.1.2. Normas internacionales

2.1.2.1. Achee guía de eficiencia energética (CHILE)

Es una guía de diseño en instituciones educativas, son diseños y estrategias bioclimáticas para optimizar el uso de recurso al mínimo. En esta guía se comparan normativas de varios países, y los estándares que los mismos tienen sobre colegios y parámetros bioclimáticos o condiciones de confort. Hace recomendaciones de materiales y estrategias para aplicar en distintas educaciones teniendo en cuenta su ubicación y clima.

2.1.2.2. Norma en 12464- normativa europea

Norma europea donde genera recomendaciones en términos de cantidad y calidad del alumbrado interior para lograr el diseño de sistemas de iluminación que cumplan con condiciones de calidad y confort visual, como objetivo principal es lograr la mayor eficiencia energética en las instalaciones reduciendo los consumos específicos.

2.1.2.3. Guía técnica de eficiencia energética en iluminación: centros docentes (idea y CEI España).

El objetivo principal de esta guía técnica de España es “establecer unas pautas y recomendaciones para los encargados de proyectar las especificaciones técnicas de las instalaciones de iluminación en los diferentes centros educativos para generar criterios de calidad en las mismas. Se encuentran diferentes tablas basadas en la norma Europe EN 12464-1 con las especificaciones de iluminancia y rendimiento de color”. (CEN, 2018, p. 3)

2.1.2.4. IESNA (illuminating engineering society of north American). (EE. UU)

Se encuentran valores mínimos de iluminancia definidos por la IESNA, para cada tarea visual requerida.

2.1.2.5. Guía técnica de aprovechamiento de luz natural en edificios (España)

Documento compilado de estrategias en cuanto a iluminación natural y como se deben aplicar partiendo de las condiciones que se pueden presentar en el contexto de un diseño. Hace referencia sobre los beneficios en la salud de las personas (usuarios en las construcciones) de tener una iluminación natural en vez de artificial.

3. Capítulo III Marco conceptual

Diseño pasivo: Método que se usa para aprovechar las características medioambientales del lugar para así lograr una reducción en el consumo de energía que necesite el proyecto, este diseño se centra en utilizar componentes constructivos, materiales y formas para acondicionar los espacios a una ventilación e iluminación natural y también para un confort higrotérmico. (Sisternes, 2019)

Confort ambiental: Un estado de percepción ambiental momentáneo donde el usuario siente cómodo el ambiente en el que se encuentra. Es una sensación de agrado que depende de varios factores externos como los del ambiente como lo son la temperatura del aire, humedad del aire, radiación, calidad del viento, niveles óptimos de iluminación natural, niveles acústicos, calidad del aire entre otros. (Aula ambiental, 2016)

Confort lumínico: Es la percepción que se tiene con el sentido de la vista, como recibe los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos que se relacionan con la luz (Alcázar, 2015)

Confort visual: Son niveles ideales de la iluminación natural o artificial que son significativos para el correcto desarrollo de diferentes actividades visuales como lo son, productivas, profesionales, de ocio entre otras. Para alcanzar un confort visual óptimo se debe diseñar el espacio teniendo en cuentas estas exigencias visuales. (Significados, 2007)

Ciclo de vida del edificio: Son las etapas que conlleva un proyecto o edificio que tiene un impacto ambiental alto, estas etapas van desde la extracción de las materias primas, pasando por

aspectos ambientales, el transporte de los materiales, el uso y mantenimiento hasta finalizar en la demolición y gestión de los residuos. (Isoverblog, 2017)

Estrategias bioclimáticas: Un conjunto de medidas que se implementan en el momento del diseño para lograr un confort ambiental dentro de un espacio o proyecto, las estrategias hacen alusión a variar las formas arquitectónicas y el diseño para no tener la necesidad de utilizar sistemas mecánicos que consuman gran cantidad de energía. (Sánchez, 2016)

Simulaciones dinámicas: Es el proceso que se realiza virtualmente con el fin de evaluar el comportamiento a futuro de cierta edificación o proyecto. Se dice que son dinámicas porque tiene la posibilidad de cambiar valores que afectan el comportamiento. Los factores que generalmente se cambian es el factor climático, ya sea radiación, tipo de cielo, iluminación, temperatura. Esto se realiza con el fin de corregir errores de diseño arquitectónico antes de la construcción.

Iluminancia: Es un factor de luz del día que se recibe en un punto interior, desde una fuente externa, en general es un flujo luminoso que se refleja sobre una superficie, esta iluminancia es medida en unidades de luxes.

Autonomía de luz día: (DA, Daylight Autonomy) es el primer indicador anual basado en datos climatológicos. Es un indicador dinámico porque nos permite evaluar en un porcentaje de horas diurnas anuales y en los periodos de tiempo donde se encuentra ocupado el espacio. (Seiscubos, 2020)

Iluminancia útil de luz diurna: (UDI, Useful Daylight Illuminance) es un indicador que mide la iluminancia sobre un plano de trabajo, donde se encuentre que la iluminancia es útil para

la actividad que se realiza en el espacio y que no sea tan alto como para generar alguna molestia visual. (Seiscubos, 2020).

4. Capítulo IV Marco teórico

4.1.Arquitectura sostenible

Es una práctica que se usaba sin conocimiento alguno en las primeras civilizaciones, pero en las décadas de 1960 y 1970 se formalizo como disciplina, queriendo optar por un mundo más ecológico, para preservar los insumos naturales, que se vieron bastante afectados por materiales derivados de estos así que:

La idea detrás de la arquitectura sostenible es utilizar solo técnicas y materiales respetuosos con el medio ambiente durante el proceso de construcción, tener en cuenta las condiciones del sitio, incorporándolos al diseño siempre que sea posible, y buscar minimizar el impacto negativo de los edificios a través del consumo eficiente de energía y el espacio de desarrollo. (Arquima, 2018, párr. 2)

La arquitectura sostenible se divide en cuatro técnicas que se deben cumplir para obtener un espacio confortable y que no provoque diferentes malestares, estas técnicas son: confort acústico, confort térmico, confort lumínico y calidad del aire; estos cuatro métodos se complementan entre sí, y en caso tal de que alguno faltara el edificio tendría problemas que van afectar directamente al usuario.

4.2.Espectro luminoso (luz visible)

Existe un espectro electromagnético bastante amplio, pero el que principalmente incide en el confort lumínico es el espectro visible por el ojo humano y que influye sobre las personas

de varias maneras, esto se debe a la naturaleza del planeta en su rotación alrededor del sol, así que esto generó una evolución en el ser humano detectando en que momentos podían realizar las actividades de supervivencia como alimentarse y reproducirse:

Como resultado, el humano ha desarrollado una extraña cualidad, su metabolismo ha evolucionado de tal modo que en presencia de radiación solar (de día) su propio cuerpo segrega sustancias excitantes que le anima a la vitalidad y a la actividad, en cambio en ausencia de la radiación solar (de noche) segregan sustancias que lo invitan a reducir al máximo su actividad, a reponer y regenerar sus funciones vitales, y equilibrar su actividad cerebral (se duermen). (Garrido, 2019, pp. 54-55)

Es aquí donde se encuentra como la luz natural es importante para las actividades diarias del ser humano y se puede ver también desde la disciplina de la medicina donde dice que:

En presencia de luz el cuerpo humano genera serotonina en el cerebro (que es un estimulante natural, que favorece el bienestar y la felicidad), y en ausencia de luz el cuerpo humano segrega melatonina (la hormona del sueño, con propiedades regenerativas) (Garrido, 2019, p. 55).

Para la disciplina de la arquitectura esto incide en llevar esta luz natural hacia el interior de las edificaciones para que las personas puedan llevar con normalidad su metabolismo y diferentes beneficios para su salud, aun estando el 60% de su tiempo en el interior de un edificio.

4.3. Estrategias pasivas

Para cumplir con los diferentes requisitos que trae la arquitectura sostenible es necesario empezar a aplicarlos desde la primera fase de diseño, es aquí donde aparecen las estrategias

pasivas que son “aquellas que se aplican al diseño arquitectónico con el fin de aprovechar al máximo lo que nos ofrece el entorno, y de ese modo reducir nuestra dependencia de las instalaciones para alcanzar el confort deseado.” (Huellas de arquitectura, 2018, párr. 6).

Las estrategias pasivas están diseñadas para prescindir de diferentes mecanismos, por ejemplo, aire acondicionado, calefacción o iluminación artificial, así mismo generando ambientes aceptables de habitabilidad, también estas estrategias ayudan con la reducción del consumo energético, que es muy significativo en la vida útil de un edificio. El 80% de los proyectos pueden ser solucionados solo con las estrategias pasivas.

Existen diferentes estrategias pasivas y cada una de estas tiene una función específica que se aplican dependiendo de factores externos como la ubicación geográfica, el clima y el uso del edificio. Se debe tener cuidado a la hora de utilizar estrategias de proyectos que no se encuentran dentro de la misma posición geográfica, por ejemplo, analizar estrategias de países del norte para aplicarlas en países del sur ya que las condiciones de clima y recorrido solar son totalmente distintas.

Las estrategias pasivas que aplican para cada tipo de proyecto después de realizar el análisis climático y geográfico (específico de cada lugar), son:

Orientación: La orientación de los edificios determina en gran parte la demanda energética de calefacción y refrigeración del mismo en el futuro. Una buena orientación podría minimizar considerablemente las demandas energéticas a través del control de las ganancias solares

Factor forma: La volumetría de un edificio debe estar relacionada con el clima en que éste se encuentre emplazado y el programa de uso que contiene. Para esto el arquitecto debe tener claridad acerca de si el edificio busca conservar el calor dentro de sí o disiparlo al ambiente.

Zonificación interior: Con esta estrategia se quiere organizar los espacios que contiene un edificio de acuerdo a sus necesidades de calefacción, iluminación natural y confort acústico.

Proceso de diseño: El propósito de este proceso es identificar los factores climáticos que afectaran a la edificación antes de comenzar el proceso de diseño esquemático, para luego identificar las principales estrategias de diseño apropiadas para el clima local. Es necesario tener la mayor cantidad de información posible al enfrentar este proceso. (InnovaChile, 2012, pp. 22-26)

4.4. Metodología BIM

BIM por sus siglas en ingles Building Information Modeling es “una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.” (Building Smart, s.f, párr. 1).

Es una metodología que poco a poco se ha incorporado para la creación de diferentes proyectos, donde hay una mayor precisión en las diferentes etapas de cada proyecto porque cada disciplina puede trabajar al mismo tiempo reduciendo los tiempos en el diseño y ejecución, por ejemplo, a la hora de realizar una corrección en obra de un espacio del proyecto todos los que

participan en el proyecto podrán ver la modificación y seguir trabajando sobre este. “BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).” (Building Smart, s.f, párr. 2).

El BIM cubre siete dimensiones que comprende el ciclo de vida de un edificio donde comienza con una idea y termina con el derribo, así especificadas las dimensiones; 1D- idea, 2D- boceto, 3D- coordinación, 4D- planificación de obra, 5D- medición y presupuesto de obra, 6D- certificación energética y 7D- gestión de activos (registro del modelo). (Esarte, 2020).

4.5.Simulaciones dinámicas (SD)

Es una herramienta que se complementa con los modelos BIM y es recurrente para hacer una evaluación de algún factor para los proyectos “Una simulación dinámica se refiere a una versión computarizada de un modelo la cual permite analizar las implicaciones de interacciones de elementos y sistemas que de otra manera no serían aparentes” (Márquez, 2015, Párr. 3). Como puede ser la evaluación de la iluminación dentro de un espacio determinado, siendo así la ventaja de una simulación dinámica durante las primeras fases de diseño para tener un proceso más eficaz para tomar decisiones en las estrategias necesarias para el proyecto, en este caso diferencia de materiales, forma, tipo de ventana, tipo de cielo y orientación.

4.6.Métricas de análisis dinámicas

Por mucho tiempo las métricas de análisis estáticas fueron las usadas para determinar la evaluación del desempeño de la iluminación natural dentro de un espacio, estas métricas estáticas fueron usadas desde el siglo XIX hasta inicios del siglo XXI, tuvieron mucho tiempo de ocupación

por la ineficiencia de programas de cómputo para lograr analizar una forma diferente, las métricas estáticas tuvieron muchas críticas una de estas es los resultados poco exactos ya que cuando se crearon solo se tuvo en cuenta un cielo predominante que es el nublado y entre otras críticas que no concuerdan con las características climáticas del lugar.

Con las métricas de análisis dinámicas se introducen datos más exactos entre estos la información climática del lugar, así es como el método Modelado de Luz Diurna con Base en Datos Climáticos (Climate-Based Daylight Modeling CBDM) se ha vuelto muy popular para la evaluación del comportamiento lumínico.

En general estas métricas son métodos que tienen en cuenta las condiciones exteriores ambientales, hora a hora por un promedio anual, utilizando archivos de clima que se toman del lugar específico. Con este método se logran predicciones absolutas tomando como ejemplo la iluminancia que se debe tener en cuenta la forma como la orientación y la ubicación del edificio

Hay diferentes métodos de análisis dinámicos para la evaluación de iluminación natural de un lugar en específico, para esta investigación se profundizará en dos tipos autonomía de luz diurna (Daylight Autonomy AD) e iluminancia útil de luz diurna (Useful Daylight Illuminance UDI).

5. Capítulo V Estado del arte

5.1. Introducción estado del arte

En este capítulo se desarrollaron los temas para poder comprender el problema central y la metodología de abordaje. La revisión bibliográfica realizada se clasifica en artículos, tesis, etc., que se centran en el problema lumínico y de confort general, presentado en algunos colegios actualmente. Los principales temas abordados y consultados se agruparon en los temas principales:

Confort ambiental y confort lumínico en aulas: Importancia del confort para el ser humano, como afecta la salud y la estabilidad física-emocional, introducción al confort ambiental y sus componentes, explicación de la interacción de los diferentes componentes para un bienestar general en las aulas escolares. Función de la luz natural dentro de un espacio de aprendizaje, se habla sobre la diferencia entre el confort lumínico y el visual, de todas formas, son un complemento para el bienestar de las personas; se mencionan los factores espaciales que influyen en el confort lumínico dentro de las aulas académicas.

Efectos y beneficios del confort lumínico en la salud: Estudios e investigaciones realizadas por médicos especialistas en el tema, enfocándose en los beneficios y consecuencias que trae una mala iluminación natural, ya sea, exposición total a luz artificial o carencia total de la misma. Se concreta cuales son las enfermedades y efectos negativos que este problema trae para las personas.

Desempeño académico y confort lumínico: Estudios realizados en diferentes escuelas, donde se realizan mediciones de las condiciones de habitabilidad, especialmente iluminación natural, realizando una conexión directa con las condiciones de aprendizaje de los estudiantes, enfermedades y falta de concentración que presentan algunos casos.

Estrategias de iluminación natural para aulas académicas: Estrategias que se debe tener claro para empezar a diseñar un edificio o aulas con principios de confort lumínico. Conceptos que se deben comprender e implementar para lograr un buen diseño.

5.2. Confort ambiental y confort lumínico en aulas

La preocupación sobre el confort ambiental apareció hace pocos años, cuando fue notorio que un lugar con malas características de diseño podría llegar a enfermar una persona o cansarla de una forma rápida, por eso existen varios alumnos que no quieren estar en el aula de clase después de un tiempo determinado, o simplemente su atención y concentración es dispersa. Estas consecuencias también tienen incidencia en los docentes.

Un lugar sin confort ambiental implica varios problemas al ser humano desde físicos hasta psicológicos, es un tema preocupante porque el ser humano pasa más del 60% del día en un espacio interior, esto se torna más preocupante en las instituciones educativas puesto que se realizan actividades de aprendizaje y se necesita tener un lugar cómodo para recibir el 100% de la información, así aprovechando el 100% del tiempo dentro del aula. El confort ambiental tiene factores que se dividen en:

- *Los ambientales:* confort lumínico, acústico, térmico y la calidad del aire

- *Los arquitectónicos*: contacto auditivo, visual, estético y la adaptabilidad que puede generar el espacio. (Gustavo, 2014)

La clave para conseguir un nivel óptimo del confort ambiental es realizar los estudios necesarios de los materiales y los factores medioambientales que implican acondicionamientos diferentes en cada proyecto. (Hildebrandt Gruppe, 2015).

Estos componentes deben trabajar en armonía así es como se obtiene el confort ambiental, si llega a faltar uno de estos componentes ya no se vería como un conjunto sino individual.

Para el ser humano es importante realizar actividades de precisión, como escribir, dibujar o leer, en un espacio adecuado, así como nos preocupamos por el mobiliario para que sea lo suficientemente ergonómico, debemos preocuparnos por los factores ambientales en el momento de realizar actividades que necesiten un esfuerzo visual, de ahí sale el término del confort lumínico y visual.

El confort lumínico se refiere a la percepción de la luz a través del sentido de la vista. Se hace notar que el confort lumínico difiere del confort visual, ya que el primero se refiere de manera preponderante a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz, mientras que el segundo principalmente a los aspectos psicológicos relacionados con la percepción espacial y de los objetos que rodean al individuo. (Eadic, 2015, p. 26).

La luz natural es un factor ambiental al cual estamos expuestos durante el día y de la cual el cuerpo se abastece para la regulación de procesos metabólicos y funcionamiento del reloj

biológico, cuando se afecta este procedimiento natural se generan enfermedades; dependemos de la cantidad de luz (cantidad de luxes que se perciben) y la calidad de luz (Eficiencia visual del ojo).

Lograr una óptima iluminación natural (confort lumínico) aporta en la educación del estudiante y también en su formación personal, desarrollo físico y mental y esto puede estar repercutido en su futuro, se entiende también que aparte de favorecer al usuario se aporta al ahorro energético del lugar, teniendo en cuenta que los colegios en su mayoría tienen jornadas diurnas y podrían prescindir de la luz artificial.

Para realizar el diseño de un aula académica se debe tener en cuenta el tiempo que se va a pasar realizando alguna actividad, la cantidad y calidad de la luz, para generar un confort lumínico y visual. El objetivo de contar con iluminación natural es conseguir un nivel adecuado de iluminación sobre las superficies de trabajo de un aula, evitando las posibles causas de incomodidad visual como el deslumbramiento o la falta de uniformidad luminosa. (Aliaga, 2016).

Se debe entender que, para asegurar el confort lumínico y visual en un aula, se debe tener en cuenta diferentes criterios naturales como el clima del lugar, la orientación del aula y las horas de sol en las que está expuesta el aula académica, para poder tener un buen diagnóstico y no haya necesidad de realizar ajustes o mejoras luego de ser ejecutado el proyecto, existen unos requisitos básicos al iniciar el diseño de un colegio como las siguientes:

1. Las aulas deben dar al exterior.
2. Tener una visual al exterior en especial el cielo desde algún punto del aula

3. Tener una adecuada ubicación del mobiliario
4. La ubicación del tablero debe ser adecuada para no generar deslumbramientos molestos
5. Las ventanas deben tener una ubicación adecuada como el tamaño
6. La altura libre del aula
7. Iluminación artificial adecuada
8. Pensar en la flexibilidad del espacio para generar otras funciones. (CEI, 2005)

Para establecer un diseño de aula cumpliendo con el confort lumínico y visual es necesarios tener en cuenta ciertas variables como la ubicación geográfica, la geometría ya que esta determinara el flujo de luz, el área de los vanos, los materiales y el contexto del rededor al predio para tener un espacio prudente frente a otras edificaciones para una iluminación natural optima. (CEI, 2005)

5.3. Efectos y beneficios del confort lumínico en la salud

Muchas personas desconocen la importancia que tiene una buena iluminación en un lugar de trabajo o en su lugar de estudio. La buena o mala iluminación trae efectos tanto positivos como negativos en la salud de los seres humanos, en algunos casos trae enfermedades que la mayoría de las veces no se comprende del porqué se ocasionan y su causa se atribuye a otros factores.

En la guía técnica de aprovechamiento de luz natural, en cuanto a efectos positivos de una buena iluminación natural afirma que:

La luz es el “marcador temporal” de nuestro reloj biológico; un estímulo que influye en el estado de ánimo, tanto desde el punto de vista psicológico como fisiológico. Mediante una adecuada iluminación, las personas son capaces de rendir más y mejor, pueden avivar su estado de alerta, pueden mejorar su sueño, en resumen, mejoran su calidad de vida. Las exigencias, recomendaciones y normas de iluminación deberán, por tanto, basarse no sólo en las puras necesidades fisiológicas sino también en las biológicas del ser humano. (CEI, 2005, p. 20).

Tras diversas investigaciones en curso en fotobiología, estudio científico de las interacciones luz visible, radiación ultravioleta y los seres vivos; es evidente que la luz ocular actúa de mediadora y controla numerosos procesos fisiológicos y psicológicos del ser humano (CEI, 2005). Los principales efectos de la iluminación son: Control del reloj biológico, efectos de la luz sobre el sueño, la cura de enfermedades, el estado de ánimo y la influencia sobre la actividad de las personas.

De acuerdo con estas investigaciones es posible afirmar que en los lugares donde no hay una adecuada iluminación natural las personas bajan su rendimiento y son más propensas a padecer enfermedades ocasionadas por carencia total de iluminación natural o una exposición alta y diaria a sistemas de iluminación artificial. Aunque muchos lugares ya sean colegios u oficinas estén bien iluminados artificialmente, siendo el espectro fluorescente que proporcionan este tipo de luces, suficiente para poder realizar las tareas cotidianas, la falta de luz natural trae repercusiones negativas en la salud de las personas.

El Doctor Hollwich en 1980 efectuó una investigación para ver lo que sucedía con personas sentadas bajo luces fluorescentes y lo contrapuso con personas que se hallaban sentadas

bajo iluminación natural. En este estudio se observó que las personas que se encontraban bajo la luz artificial o fluorescentes empezaron a tener cambios en el sistema endocrino.

También se realizaron análisis de sangre midiendo el nivel de las hormonas ACTH y Cortisol, los resultados arrojaron que quienes se encontraban bajo luz artificial tenía un bajo nivel de estas hormonas mientras que los que se encontraban bajo luz natural tenían niveles normales de las mismas. Con este estudio el Dr Hollwich pudo comprobar que los cambios de humor, de comportamiento y hasta la sensación de malestar estaban a menudo directamente relacionados con la composición de la luz artificial. (Palafox, 2002).

Ginés Roa, óptico- optometrista e investigador de neurociencia (1994) afirma que con la correcta aplicación de luz sobre un lente permite que las personas miopes tengan más capacidad visual con menos aumento en los lentes. El mismo afirma que:

Diferentes investigaciones realizadas en la última década han manifestado que la retina humana tiene cuatro de seis neurotransmisores más importantes, razón por la cual la cantidad y la calidad de luz que llega al ojo es fundamental para el correcto envío de información que captan los ojos desde el sistema nervioso central hasta el endocrino y el inmunológico. Así como para el correcto funcionamiento de los ritmos circadianos (ritmos relacionados a la vigilia y el sueño). Es por esto que una mala iluminación en un colegio, hogar o lugar de trabajo puede provocar tanto un menor rendimiento con múltiples problemas de salud. (Citado por Palafox, 2002, párr. 4)

En este mismo estudio se afirma que la falta adecuada de luz es la causa de dolencias como el trastorno afectivo estacional (TAE) o en personas que ya lo tienen puede ser su agravante, otra sintomatología presentada personas expuestas a una mala iluminación son: el síndrome premenstrual, la infertilidad, la falta de energía, la fatiga y el cansancio injustificado, la depresión, la irritabilidad, los trastornos del sueño, la variación de peso estacional, la falta de concentración, la inapetencia sexual, los dolores de cabeza. También tiene relación con el síndrome de fatiga crónica y la degeneración macula asociada con la edad. (Palafox, 2002, párr. 8)

5.4.Desempeño académico y confort lumínico

Este apartado es uno de los más relevantes para la investigación porque impacta directamente en el desarrollo y la calidad del aprendizaje de los estudiantes que hacen uso diario de las aulas académicas. Estas deben reunir las condiciones lumínicas necesarias para una adecuada realización de las tareas visuales en este tipo de espacios académicos.

La mayoría de colegios en la actualidad en su fase de diseño y construcción no fueron diseñados bioclimáticamente, muchos de ellos tienen falencias en cuanto a su implantación de acuerdo a su contexto, por esto gran parte de aulas académicas tienen déficit de luz natural, además, en la mayoría de los casos se recurre a la iluminación artificial para por alcanzar un nivel de confort visual aceptable que les permita a los estudiantes realizar su proceso de aprendizaje.

Esto se demuestra en la investigación realizada por Guillermo Enrique Gonzalo que realiza mediciones en diferentes escuelas TAFI del valle en Tucumán en donde se registra que la

luz natural es insuficiente y que debe complementarse con luz artificial, sin embargo, los niveles de iluminación que arrojan las mediciones están por debajo de los requerimientos mínimos establecidos por la norma IRAM. Sumado a esto se realizaron encuestas del grado de satisfacción del confort lumínico a estudiantes y docentes.

De acuerdo a estos resultados el 72% de los docentes valoran negativamente e insuficiente la iluminación natural a través de ventanas, situación que condiciona a que se trabaje todo el día con las luces encendidas. El 80% de los docentes hacen énfasis en que la iluminación artificial no es la adecuada. Los resultados de las encuestas realizadas a los alumnos muestran una valoración positiva sobre las condiciones de iluminación artificial en sus mesas de trabajo.

Los resultados de las encuestas realizadas a los alumnos de las cuatro escuelas muestran una valoración positiva sobre las condiciones de iluminación artificial en el aula. La mayoría considera que la iluminación artificial sobre su mesa de trabajo y en el pizarrón es buena y les permite trabajar sin esforzar la vista. Comparando estos resultados se determinó que los estudiantes padecen de cansancio visual dificultando su desempeño académico, concentración y desgaste visual al finalizar el día.

Otra investigación realizada sobre este tema la realizó Karla Aliaga (2016) afirma:

Existe un desaprovechamiento de la luz natural en el diseño de los modelos de aulas, esto se ve reflejado en un gasto energético ya que se debe compensar la falta de energía natural con energía artificial. Lo cual compromete al confort lumínico del espacio por ser la iluminación artificial de menor calidad que la natural, afectando

las actividades visuales que se realizan en el interior, concentración y procesamiento de información por parte de los menores. (p. 7)

Un estudio realizado por el National Renewable Energy Laboratory del U.S. Department of Energy Laboratory afirma que

Espacios educativos que cuentan con una buena calidad de iluminación natural presentan en sus ocupantes un mayor rendimiento en sus actividades académicas, esto es estudiado bajo los parámetros la investigación de Patricia Plympton, Susan Conway, Kyra Epstein en su estudio Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford, en donde se hace énfasis en los índices de confort visual que se pueden generar mediante la aplicación adecuada de estrategias de diseño de iluminación natural. Siendo que en varios de los casos de estudio en los que se presentan condiciones de confort visual óptimas para estudiar, son en espacios que han implementado sistemas de iluminación cenital proyectados en base a las condiciones naturales de cada sitio. (Robles, 2014, p. 23).

5.5. Estrategias de iluminación natural para aulas académicas

La iluminación natural en aulas académicas trae consigo un grupo de ventajas para el edificio en general. El ahorro energético, este reduce exponencialmente el alumbrado artificial dentro del edificio, la mejora de la calidad y confort luminoso en el interior de las aulas. (Atecos 2014).

El tipo de iluminación a implementar depende de los estudiantes y también de las actividades y tareas que se deben llevar a cabo dentro del aula, el uso del edificio, en última

instancia también se debe tomar en consideración el uso específico del lugar e incluso la cultura de los estudiantes.

La tarea visual representa un aspecto crucial en el cumplimiento del confort visual, ya que las personas suelen ser conscientes de la iluminación del espacio cuando la luz es demasiado o menos de lo que necesitan para llevar a cabo con comodidad sus tareas. Esto se debe a que "las tareas visuales son actividades que requieren que el cerebro colecte información de alguna parte específica del entorno visual." (Tregenza, 2011, p. 45).

La mayoría de los casos cuando un salón de clase no está iluminado de la mejor manera, los estudiantes y docentes no pueden llevar a cabo las tareas visuales con éxito, o en otros casos son desarrolladas las actividades, pero no con la comodidad propicia para estas, gracias a esto se ve afectada su salud y aprendizaje, por lo que puede inferir que una óptima iluminación natural ayuda a los estudiantes en su proceso de aprendizaje y desarrollo cognitivo dentro del aula.

En todos los espacios la calidad de luz se puede ver afectada por determinantes físicas y fisiológicas, estos factores infieren directamente en las personas cambiando su percepción de iluminación ya sea para mejorar o empeorar el confort lumínico. Existen varios indicadores por los cuales se mide el rendimiento visual de las personas, esto depende de las actividades que cada persona esté desarrollando.

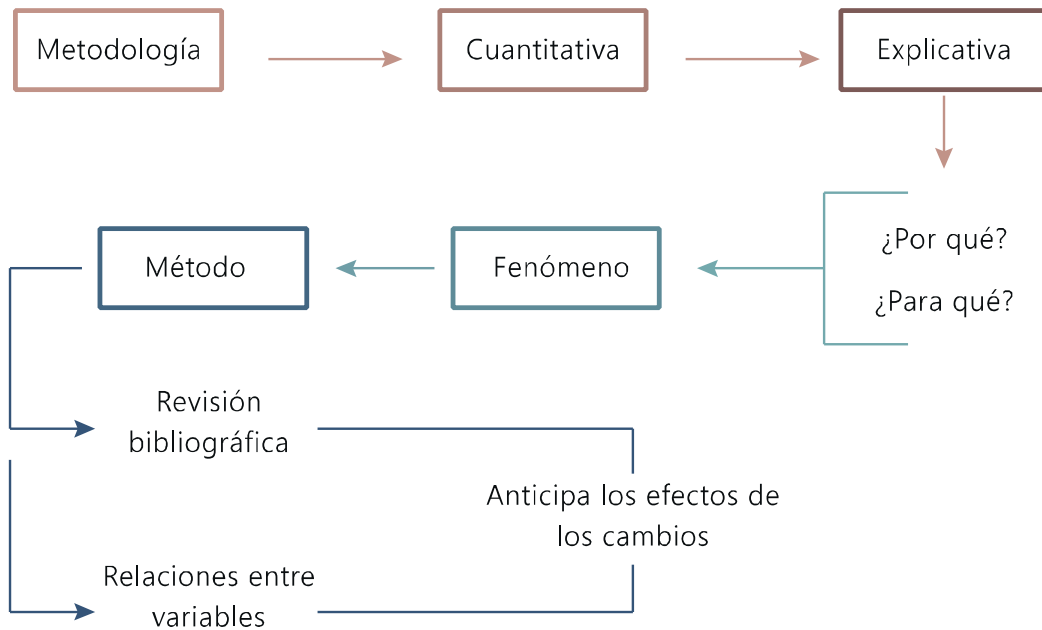
Contar con una buena iluminación natural requiere de una etapa meticulosa de diseño, este contempla los niveles de confort requeridos para realizar actividades o tareas visuales, sino también pensando en reducir tanto como sea necesario la luz directa y el brillo solar dentro de

aula, evitando así contrastes molestos para los ojos de los estudiantes. Convirtiendo el aula en un espacio lumínico inadecuado.

Actualmente la iluminación natural de interiores se mide y evalúa mientras aun el edificio está en la fase de diseño o anteproyecto. Estas mediciones actualmente se realizan desde una metodología que permita poder evaluar el factor lumínico desde su naturaleza dinámica.

Las determinantes físicas son propiamente las condiciones arquitectónicas del lugar, estas se pueden estandarizar porque son constantes de diseño, como lo son: Tipo de ventanas, cantidad de luz natural, iluminación artificial, deslumbramientos. En cuanto a las determinantes fisiológicas trata de la percepción de las personas con respecto a la luz, ya sea natural o artificial, para poder desarrollar óptimamente determinada actividad con respecto a un lugar.

6. Capítulo VI Metodología



*Figura 2 Metodología de la investigación.
Diagrama de la metodología explicativa, de que trata.
Elaboración propia.*

Para esta investigación se aplicó la metodología explicativa que orienta a establecer las causas que originan un fenómeno en específico, es un método cuantitativo en el cual se encuentra el ¿Por qué? y el ¿para qué? de dicho fenómeno.

A partir de una explicación del fenómeno se revelan las causas y efectos que lo afectan directamente en una forma deductiva que integra las teorías o leyes. Esta metodología logra definiciones más acertadas del fenómeno estudiado así logra un modelo más cercano a la realidad.

En este caso el fenómeno que se está estudiando es el confort lumínico, se usa el método de revisión bibliográfica encontrando los puntos que no tienen una información completa o nula

investigación, luego se encuentran unas variables que serán evaluadas para encontrar las que generan un buen confort lumínico dentro de las aulas y de las cuales se podrán parametrizar y generar unas recomendaciones en cuanto al diseño de un aula académica.

Esta metodología aporta al proyecto en un estudio más profundo del problema y a entender de una forma eficiente al fenómeno en este caso el confort lumínico.

6.1. Metodología general de la investigación

Para un mejor desarrollo de la investigación se crea una metodología general donde se toma cada objetivo específico (Caracterizar, modelar y evaluar, establecer) y se desarrolla en los pasos necesarios para cumplirlos, en donde el producto de cada objetivo será el inicio del siguiente objetivo hasta llegar al resultado final de la investigación.

Los resultados de la investigación serán plasmados en un documento anexo para las sugerencias en un diseño óptimo para el confort lumínico según las métricas y variables que se usaron dentro del desarrollo de la investigación.

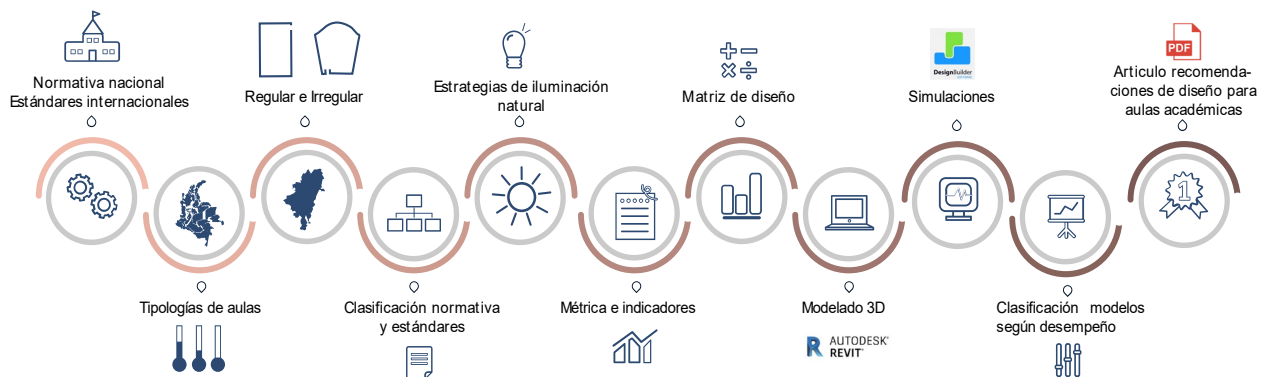


Figura 3 Metodología general de la investigación.
Paso a paso para el desarrollo de la investigación.
Elaboración propia

7. Capítulo VII Parámetros de confort lumínico en las aulas

7.1. Caracterización climática

Se realizó una caracterización climática a nivel macro, meso y micro. Para tener un contexto territorial se tomó a Colombia nivel macro, Cundinamarca nivel meso y Bogotá nivel micro

Colombia: La mayoría de territorio colombiano es de clima cálido, con temperaturas entre los 24 y 28 °C. Para brillo solar la mayoría del territorio tiene entre 7 - 5 horas al día. La velocidad de los vientos se tomó a una altura de 10 m se ve que en la mayoría del territorio va de 5-0 m/s

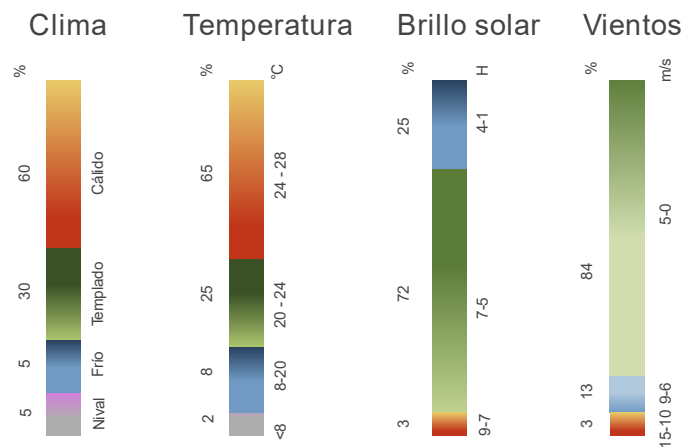


Figura 4 Análisis climático de Colombia. Descripción de los cuatro componentes principales. Elaboración propia.

Cundinamarca: La mayor parte de Cundinamarca cuenta con un clima frío, aun así, cuenta con los 4 tipos de climas, su mayor parte con temperaturas entre 8-20°C. Los vientos predominantes de Cundinamarca vienen del sur-occidente del país con una velocidad de 0-5 m/s.

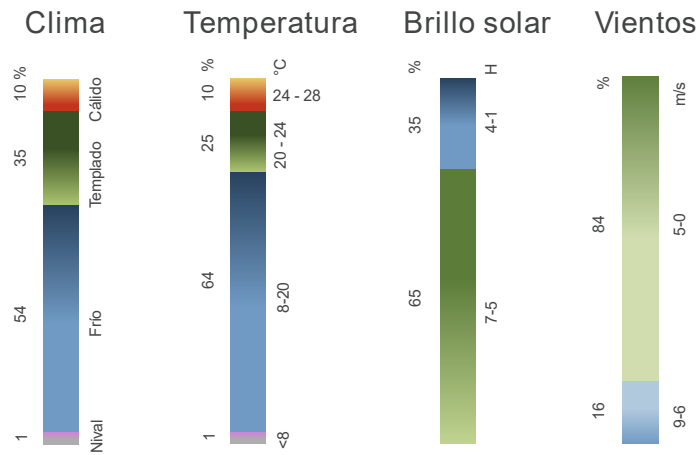


Figura 5 Análisis climático Cundinamarca. Descripción de los cuatro componentes principales. Elaboración propia

Bogotá: Bogotá se caracteriza por ser de un clima frío, en la zona rural cuenta con el páramo de Sumapaz donde el clima es nival, cuenta con una temperatura media de 13°C y con 3 tipos de cielo que en la mayoría del tiempo es un cielo nublado.

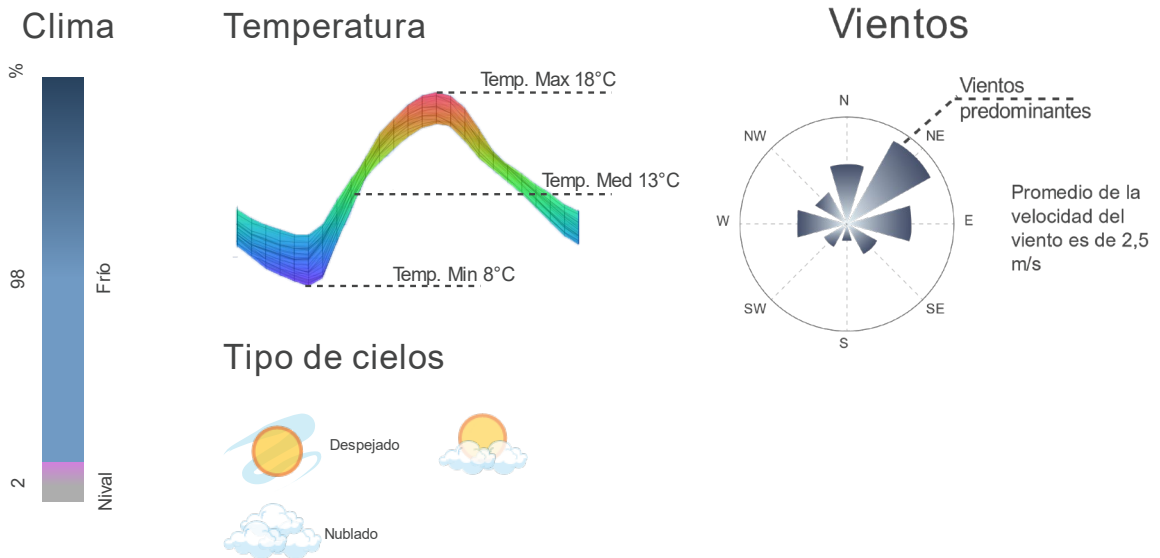
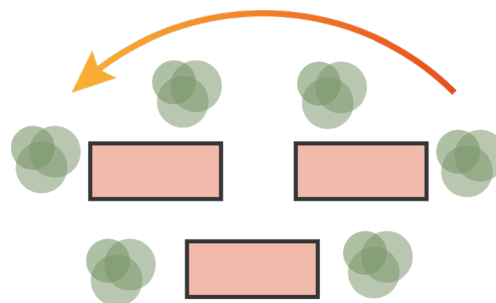


Figura 6 Análisis climático Bogotá. Descripción de los cuatro componentes principales. Elaboración propia.

7.1.1. Características de colegios según clima

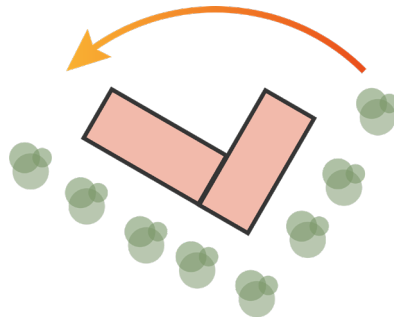
Para tener un contexto territorial se toman 4 tipos de climas que sean más representativos en Colombia, tomando así el departamento de Cundinamarca ya que es uno de los departamentos que contiene la totalidad de la clasificación de los climas según Clasificación de Caldas – Lang.

Cálido: Para este clima se pudo observar un alto porcentaje de arborización dentro de la infraestructura de la institución, sumado a esto se evidencia que la mayoría de fachadas cortas se encuentran orientadas de oriente a occidente para no acumular mucho calor. Generalmente estas instituciones agrupan todas las aulas en un solo edificio o bloque diferenciado por grados. La altura máxima que presentan estos colegios es de 3 pisos y sus zonas recreativas son al aire libre, pero se encuentran cubiertas para tener protección a la radiación.



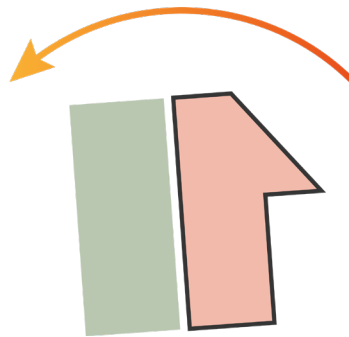
*Figura 7 Características de los colegios clima cálido.
Descripción grafica teniendo en cuenta la dirección del sol este a oeste.
Elaboración propia.*

Templado: Los colegios en estas zonas climáticas cuentan con arborización perimetral para ayudar a controlar la ventilación, proporcionar sombra y controlar la temperatura ambiente. En la orientación no se pudo determinar algún patrón de implantación ya que no hay similitudes en los colegios analizados. Los bloques de aulas están entre los 3 y 6 pisos de alto, las zonas recreativas se encuentran cubiertas, pero cuentan con ventilación natural.



*Figura 8 Características de los colegios clima templado.
Descripción gráfica teniendo en cuenta la dirección del sol este a oeste.
Elaboración propia.*

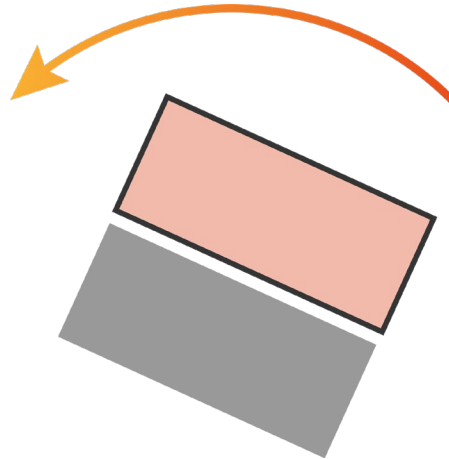
Frío: En este clima los colegios tienen amplias zonas verdes, pero no cuenta con mucha arborización, debió a las temperaturas que presentan y en muchos casos la forma del lote su forma arquitectónica es más compacta acomodándose al terreno, pero sin tener en cuenta la orientación óptima para un colegio, en algunos casos las zonas recreativas se encuentran internamente en los edificios, o si son al aire libre ya no cuentan con ningún tipo de protección solar. Estos colegios tienen hasta 3 pisos de altos.



*Figura 9 Características de colegios clima frío.
Descripción gráfica teniendo en cuenta la dirección del sol este a oeste.
Elaboración propia.*

Nival: La mayoría de colegios que se encuentran en este tipo de clima son escuelas rurales de difícil acceso. Por sus condiciones climáticas y contextuales cuentan con máximo dos

pisos y un solo bloque de aulas, no poseen muchas zonas verdes y las de recreación son al aire libre sin protección solar o ambiental.

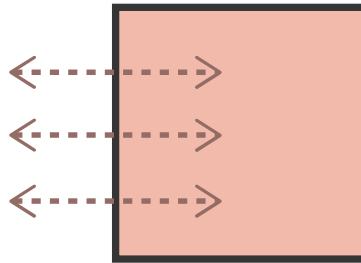


*Figura 10 Características de colegios clima nival.
Descripción gráfica teniendo en cuenta la orientación del sol este a oeste.
Elaboración propia.*

7.2. Tipologías de aulas

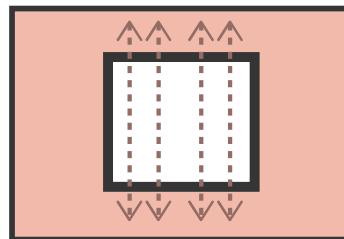
Para seleccionar las tipologías a desarrollar se hizo un análisis de la forma de colegios en Bogotá y Chía, se tomaron colegios privados urbanos; encontrando tres tipologías predominantes: Bloque, claustro y en U, en cuanto a colegios campestres no hay tipologías establecidas ya que cada colegio tiene diferente enfoque arquitectónico, así mismo se agrupan en dos: Recta y disperso.

Bloque: Carecen de zonas de recreación externas propias de la institución, generalmente son casas o edificios adaptados cuyo uso original no era educativo. Sus condiciones climáticas son mínimas y su espacio es reducido.



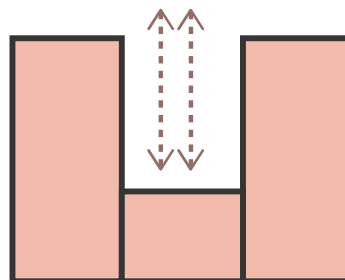
*Figura 11 Tipología en bloque.
Descripción gráfica tipología bloque con desplazamiento lateral.
Elaboración propia.*

Claustro: Esta tipología edilicia son construcciones de valor patrimonial ya sean adaptadas para prestar servicios institucionales o colegios antiguos. No posee zonas verdes propias, las zonas recreativas se distribuyen en el vacío del medio. Estas instituciones actualmente fallan mucho en la parte bioclimática y sostenible porque se excede la capacidad en sus aulas.



*Figura 12 Tipología claustro.
Descripción gráfica claustro con patio central.
Elaboración propia.*

En U: No cuentan con grandes zonas de recreación o zonas verdes, sino que agrupa una zona central para el esparcimiento de los estudiantes. Algunas instituciones si poseen zonas verdes, pero con poco arborizado. Su altura máxima son 3 pisos y tampoco se pudo determinar un patrón de implantación.



*Figura 13 Tipología en U.
Descripción gráfica tipología U una sola entrada y patio central.
Elaboración propia.*

Recta: Agrupa todos los espacios administrativos y aulas en un solo bloque, aprovechando grandes zonas verdes y de recreación. Tu altura máxima son cuatro pisos ya que por su extensión no es necesario crecer en altura. La orientación de estos colegios es de oriente a occidente dejando sus fachadas largas con esta disposición.

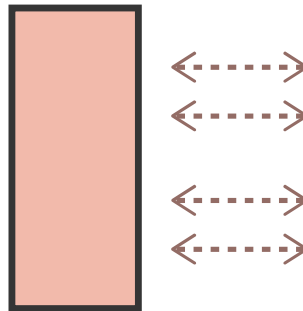


Figura 14 Tipología recta.
Descripción gráfica donde en un solo edificio se concentran todos los servicios.
Elaboración propia.

Disperso: Esta es la mejor forma de implantación, por sus grandes espacios se pueden generar zonas de acuerdo a las diferentes actividades y cada zona puede responder a cierta orientación de acuerdo con las necesidades de los usuarios. Tiene grandes zonas verdes con diversos tipos de árboles, cuenta con zonas recreativas específicas para cada actividad. Muchos de estos colegios implementaron estrategias pasivas y de diseño sostenible para mitigar el impacto del colegio con su entorno.

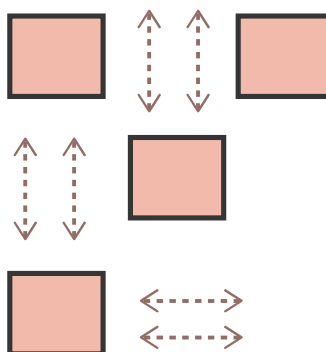


Figura 15 Tipología dispersa.
Descripción gráfica donde cada bloque es un servicio diferente.
Elaboración propia.

7.3. Elección normativas y estándares

7.3.1. NTC 4595

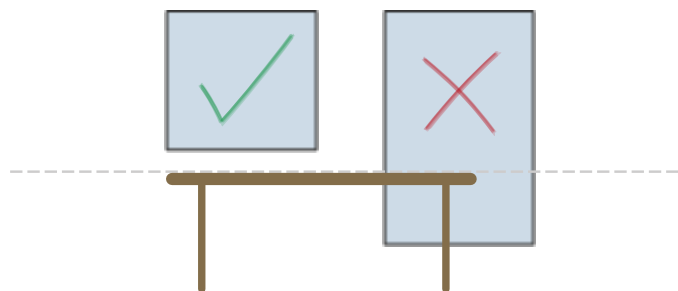
De la Norma Técnica Colombiana 4595 se hizo un análisis de los aspectos más importantes para tener en cuenta dentro de la investigación, elementos básicos que ayudan a una iluminación natural óptima. Los parámetros generales que se tomaron en cuenta para la caracterización y posterior evaluación de las aulas escolares fueron:

Aberturas para acceso de luz natural totalizar área equivalente a 1/3 del área total del piso



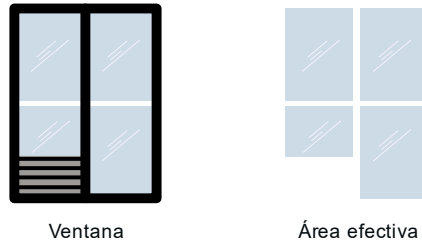
*Figura 16 NTC 1.
Consideración tomada en cuenta con respecto al área de los vanos.
Elaboración propia.*

Aberturas por encima del lugar de trabajo



*Figura 17 NTC 2.
Consideración tomada en cuenta con respecto al área de trabajo.
Elaboración propia.*

Área efectiva de aberturas, descontar área de marcos y otros elementos constructivos de la ventana.

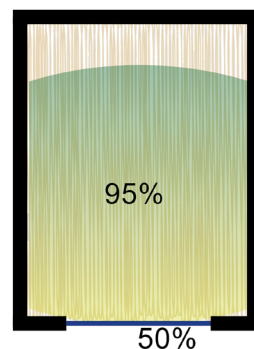


*Figura 18 NTC 3.
Consideración tomada en cuenta respecto al área del vidrio.
Elaboración propia.*

7.3.2. CEN Europea luz normalizada (EN 17037)

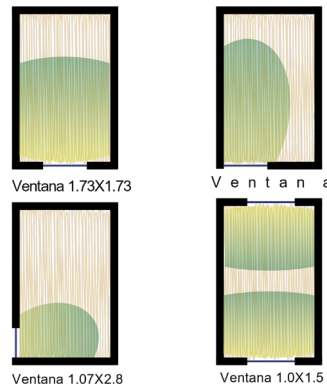
Es importante asegurarse de que las medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios no se centran sólo en la envolvente del edificio, sino que incluyen todos los elementos pertinentes y sistemas técnicos en un edificio, tales como elementos pasivos que participan en el uso de energía para la iluminación mejorando el confort visual. La influencia positiva de los siguientes aspectos se tendrá en cuenta en iluminación natural. Los principios tomados y aplicados a la investigación:

Para aberturas en la fachada, las ventanas deben alcanzar un 50% de la superficie de debe cubrir el 95% de la superficie.



*Figura 19 CEN 1.
Consideración tomada en cuenta respecto al área de la ventana.
Elaboración propia.*

Rendimiento de la luz del día para la misma proporción de ventana a piso (1: 8)

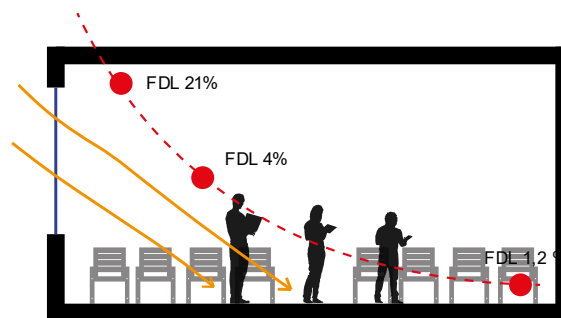


*Figura 20 CEN 2.
Consideración tomada en cuenta con respecto a la ubicación de la ventana.
Elaboración propia.*

7.3.3. Guía de eficiencia energética AChEE (Chile)

Es una manual donde presentan todos los parámetros arquitectónicos y ambientales que deben tener las instituciones escolares. Esta guía se realizó porque Chile no cuenta con una normativa específica que defina estándares, exigencias de eficiencia energética y confort ambiental para establecimientos educacionales. Expone cada confort que debe tener un aula para alcanzar el confort ambiental, esta investigación se basó en el apartado de iluminación natural e indicadores de evaluación lumínica. Los parámetros tomados en cuenta en el proceso de diseño:

Iluminación en tareas visuales: Recomendaciones para el confort visual. Las aulas escolares deben disponer de un nivel mínimo de 300 lux de iluminación



*Figura 21 AChEE 1.
Consideración tomada en cuenta respecto a los niveles óptimos de lux.
Elaboración propia.*

Reflexión de la luz en las superficies del aula: Las superficies de colores claros aumentan la eficiencia de la iluminación.

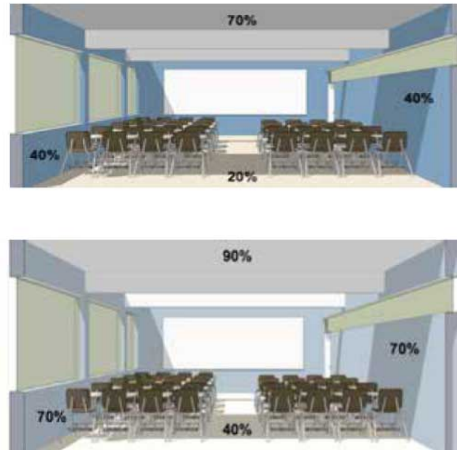


Figura 22 AChEE 2.

Consideración tomada en cuenta respecto al color de las superficies para tener una iluminación más óptima. “Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales” Agencia Chilena de Eficiencia Energética [Achee]. 2012. Recuperado de https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/gui_a_geeeduc_-_baja

Deslumbramiento: Es importante establecer una uniformidad en la distribución de la luz natural en el aula, para poder tener control del deslumbramiento, este deslumbramiento se puede solucionar con colores claros en el marco de la ventana y en los muros.

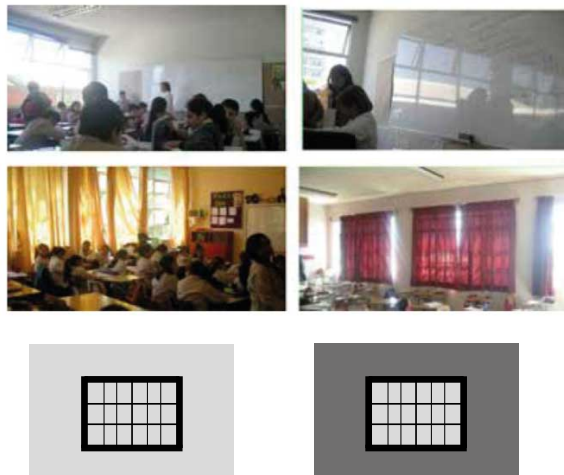


Figura 23 AChEE 3.

Consideración tomada en cuenta respecto al color de las superficies donde se demuestra que con un color claro mejora el confort. “Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales” Agencia Chilena de Eficiencia Energética [Achee]. 2012. Recuperado de https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/gui_a_geeeduc_-_baja

7.4. Tipologías aulas base

Para la elección de los referentes de aulas se realizó una comparación entre colegios privados y públicos, este paralelo se realizó a nivel normativo, constructivo tipológico y requisitos de funcionamiento.

A nivel normativo se encontró que los colegios públicos están regidos bajo al manual de diseño llamado Colegio 10, en esta guía se pueden encontrar todos los lineamientos arquitectónicos y PEI que un colegio de carácter público debe poseer. Mientras que para los colegios privados la NTC 4595 hace unos requerimientos mínimos en cuanto al área de acuerdo a la capacidad de estudiantes que los colegios van a tener, dejando de lado el confort que debe tener las aulas.

A nivel constructivo los colegios privados mayormente son construcciones adaptadas que en su uso original no era educacional, esto general un déficit en infraestructura escolar, los colegios privados que si están construidos específicamente con uso educacional son los colegios campestres, pero estos son accesibles para niños con comodidades económicas. En cuanto a los colegios privados en la actualidad son construidos desde cero en lotes grandes y espaciosos con principios ambientales y de confort.

En el carácter tipológico los colegios privados principalmente los campestres cuentan con diferentes tipologías y formas de aulas como circulares, hexagonales e irregulares, ya que para cada colegio de este tipo se realiza un diseño exclusivo de pendiendo las condiciones del lugar. En el manual de Colegio 10 solo se encuentra la tipología clásica aulas cuadradas estas se pueden unir y conformar bloques rectangulares.

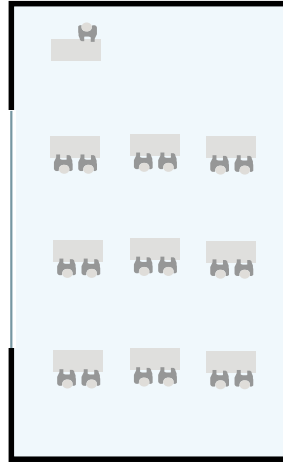
Los requisitos de funcionamiento los colegios públicos son muy estrictos en las exigencias arquitectónicas y de PEI que deben tener los colegios para funcionar, pero para los colegios privados el Ministerio de Educación de Bogotá solo les pide estrictamente tener un PEI muy bien estructurado de acuerdo al nivel de enseñanza que el colegio dará, no hace ningún énfasis en la parte de infraestructura escolar.

Por estas diferencias encontradas y para poder dar unos resultados diferentes y universales se optó por tomar 2 tipologías de aula una irregular y otra regular, ya que con el análisis realizado se encontró que son estos dos tipos que se presentan en la mayoría de colegios tanto públicos como privados. Principalmente para el estudio se tomaron dos referencias de colegios de donde se sacaron las características de las aulas, estos son el colegio Rochester de la sede de Chía y el colegio Los nogales en Bogotá.

La característica principal de las dos aulas es tener la misma área de 85.8 m² para tener unos resultados más precisos.

7.4.1. Aula regular

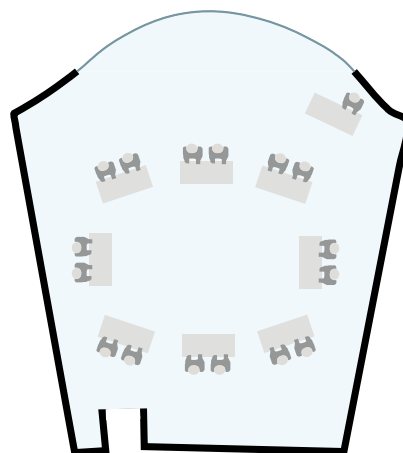
Es un aula de forma rectangular que se tomó del colegio Los nogales sede Bogotá con ventanas a un costado de la misma dando al exterior del edificio, el aula tiene unas dimensiones de 13 metros de largo por 6.60 metros de ancho y 3 metros de alto, en las características arquitectónicas base del aula encontramos dentro del aula muros internos con pintura de color blanco, techo descubierto sin cielo raso, el piso es cerámica blanca, para las ventanas es vidrio simple y marcos de aluminio, para la puerta el material es de madera.



*Figura 24 Aula regular.
Representación de la planta tipológica regular.
Elaboración propia.*

7.4.2. Aula irregular

Es un aula que se tomó del colegio Rochester sede Chía, se caracteriza por tener una forma circular que da hacia el exterior de los edificios por ende se ubican las ventanas en este muro, el aula tiene unas dimensiones de 11 metros de largo, en la parte más ancha 9.1 metros y en altura 3 metros, para sus características arquitectónicas base tenemos muros internos con pintura blanca, cielo raso de paneles de polietileno, piso de cerámica blanca, ventanas con vidrio simple y películas para la protección solar, marcos de aluminio y puerta de madera.



*Figura 25 Aula irregular.
Representación de la tipología irregular de las aulas.
Elaboración propia*

7.5. Estrategias de iluminación natural

En la actualidad la iluminación natural ha tomado fuerza en diferentes campos de diseño, en el campo escolar la iluminación natural ha dejado de ser un ejercicio meramente formal ya que esta proporciona iluminación suficiente que permite a los estudiantes realizar sus tareas de manera cómoda y adecuada. Una mala concepción en cuanto a iluminación puede tener como resultado un mayor consumo energético además de situaciones visuales inconfortables o inapropiadas para el estudio o la enseñanza.

Como sugiere Achee (2012) existen 6 principios básicos que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un aula de clase:

Evitar la penetración de luz solar directa sobre el plano de trabajo: En el diseño se debe considerar la trayectoria del sol del lugar donde se va a realizar, comprendiendo esto se pueden elegir las estrategias más apropiadas, tener extremo cuidado con los rayos directos al tablero del aula y escritorios.

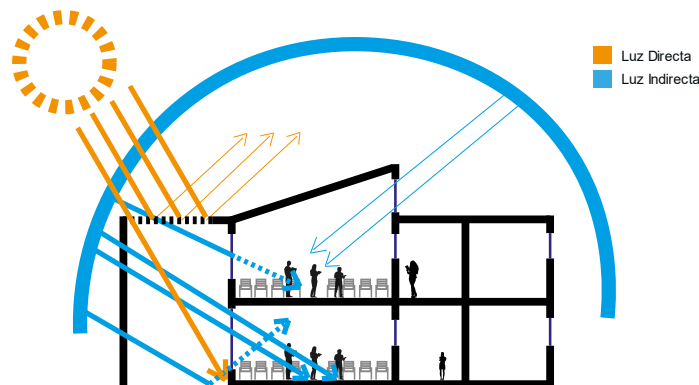
Proporcionar una iluminación distribuida de manera uniforme: Al tener una distribución uniforme de la luz natural se logra un ahorro energético significativo y mejora la calidad visual del usuario

Evitar las fuentes de deslumbramiento en el campo visual: El contraste excesivo en la iluminación puede causar un deslumbramiento el cual puede generar malestar o la pérdida del funcionamiento correcto de la visión

Permitir a profesores o estudiantes controlar la luz del día: Tener en cuenta a los usuarios para que puedan controlar la iluminación según las necesidades o actividades que se realicen dentro del aula.

Diseñar la iluminación artificial como complemento de la luz natural: para lograr el ahorro energético dentro de un aula o de un edificio es importante tener como primera fuente de iluminación la luz natural y adaptar la iluminación artificial como complemento con un sistema de control.

Planificar la disposición de espacios interiores para aprovechar condiciones de la luz natural: el diseño de la iluminación debe considerar las distribuciones interiores incluyendo los materiales del mobiliario para así poder tener una distribución de luz adecuado y evitar cualquier malestar como un deslumbramiento.



*Figura 26 Luz directa e indirecta.
Diagrama donde se muestra la procedencia de la luz directa (rayos del sol) y la luz indirecta (bóveda celeste).
Elaboración propia.*

Para el diseño de iluminación natural y aprovechamiento de la misma existen una serie de factores como la geografía el clima y algunos que dependen de la forma y función del diseño arquitectónico y sediciones de los arquitectos. Para un buen proyecto de iluminación es aconsejable basarse en cinco estrategias básicas.

Captar: Con un uso correcto de la geometría del proyecto se logra recoger la mayor cantidad de iluminación natural, se deben tener en cuenta factores como los tipos de cielos, momentos del día, orientación de los vanos entre otras.

Trasmitir: A través de elementos arquitectónicos ubicados en fachada se puede favorecer la penetración de la iluminación natural hasta el fondo del espacio, los vanos también pueden estar en las cubiertas o ser direccionados a la orientación donde mejor iluminación se obtenga.

Distribuir: Se transportan los rayos luminosos del exterior al interior para generar una distribución homogénea de la iluminación natural, la luz indirecta es la mejor para estos casos ya que con la reflexión de los materiales logra distribuirse mejor.

Proteger: Es la forma de detener parcial o totalmente los rayos solares para así no presentar características negativas dentro del espacio como puede ser el sobrecalentamiento o deslumbramiento, se puede tener protección externa o interna.

Controlar: Tener un diseño de iluminación artificial basado en la cantidad de iluminación natural que se tiene en el espacio y en un promedio anual, así la iluminación artificial se convierte no más en un apoyo y no en una dependencia total. (Innovahile 2012)

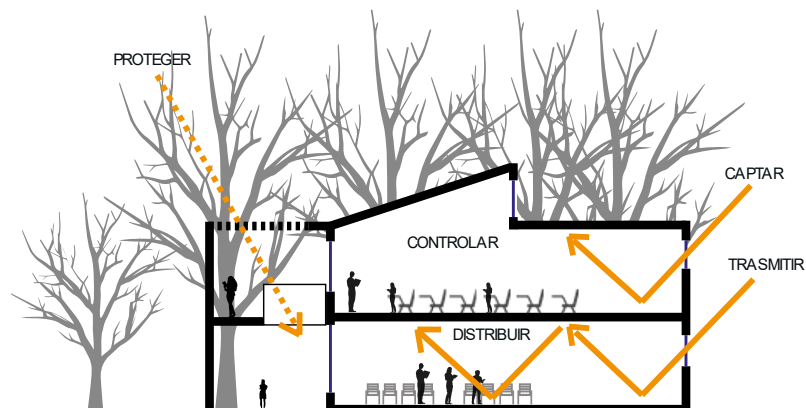


Figura 27 Estrategias de iluminación natural.
Diagrama con las cinco estrategias para un correcto diseño de iluminación,
Elaboración propia.

7.6.Matriz.

Partiendo de la base teórica que se investigó para poder caracterizar los tipos de aula base para realizar las simulaciones, se tomaron en cuenta los factores de diseño y se clasificaron en dos grupos variables y constantes. Las variables que se tomaron en cuenta para la caracterización fueron:

Material: Se tomaron las tres envolventes más comunes en colegios privados determinando así; ladrillo a la vista, pintura blanca, dos tonos de pintura en el mismo muro (gris claro y azul oscuro). En cada uno se tomará en cuenta la reflectancia de techo paredes y suelo.

Forma: De acuerdo al análisis realizado a los colegios de Bogotá y Chía se caracterizaron dos tipologías de aulas. El aula regular de forma rectangular con área 81.95 m² y el aula irregular con área de 81.54 m² tomada del referente de diseño el colegio Rochester.

Tamaño de la ventana: Se determino de acuerdo a la NTC 4595 donde especifica los tipos de ventana que un aula de clases puede tener. Los valores variables es el área de la ventana sobre el área total del muro donde se van a ubicar, los porcentajes a evaluar son 75%, 50%, 25% de cada ventana con respecto al muro.

Orientación: Para cada aula tipo se van a tener en cuenta las 4 orientaciones básicas norte, sur, este y oeste. Con esto se podrá determinar cuál es la mejor orientación para cada combinación de modelo académico, también permite determinar cuál es la incidencia del sol en cada plano de trabajo.

Las contantes de cada modelo arquitectónico de aulas serán:

Clima: Se tomará la caracterización del clima de Bogotá, siendo frío con temperatura media de 13°C y cielo cubierto la mayor parte del tiempo.

Tipo de vidrio: Todas las ventanas de la totalidad de los modelos tendrán un vidrio simple con una transmisión de luz del 0,9 y con un porcentaje de pérdida del 20% de acuerdo al área total de la ventana.

Estrategia solar externa: Siguiendo la línea referente del colegio Rochester en los modelos se implementó una protección solar externa en cada ventana en forma de aleros evitando así deslumbramiento por radiación excesiva.

Tipo de cielo: Es tal vez el indicador más importante porque dependiendo de esto se tiene o no una iluminación natural óptima. Para esto simula con un promedio anual de tipo de cielo en Bogotá, tomándolo como base para las simulaciones de cada aula.

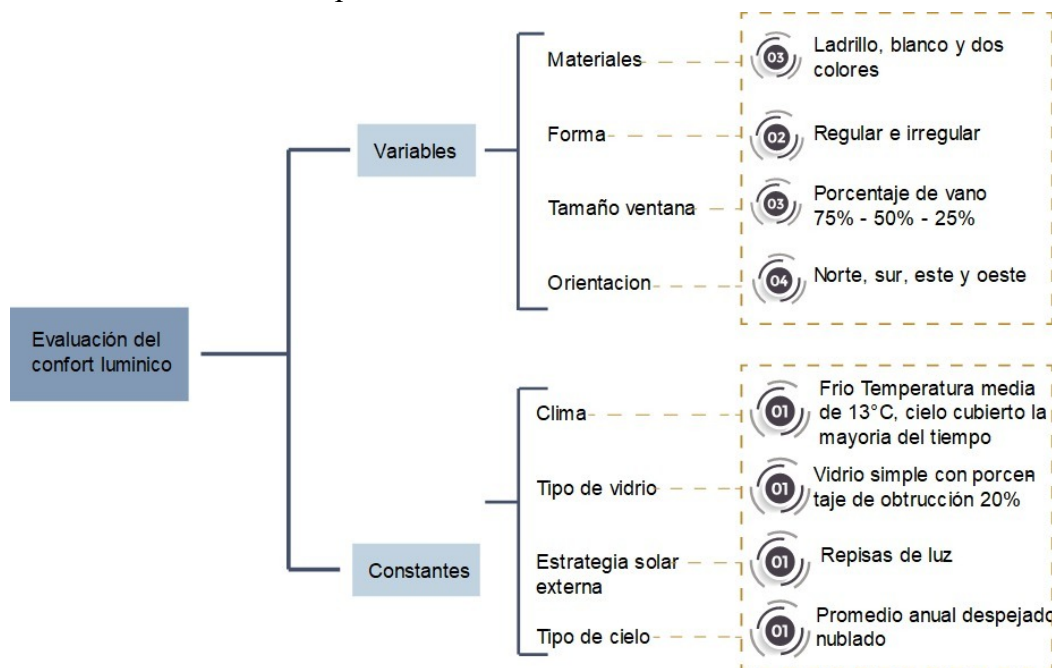


Figura 28 Matriz.
Explicación de la matriz con las variables y constantes tomadas en cuenta para la recolección de datos.
Elaboración propia.

7.6.1. Protección solar

Para los modelos arrojados por la matriz se determinó que las repisas de luz son las más eficientes para captar luz solar directa. Estas repisas tienen dos funciones principales, la primera es bajar el índice de deslumbramiento alto que hay en la zona cerca de las ventanas, y la segunda es proporcionar una superficie de rebote para los rayos lumínicos permitiendo así una mejor distribución en el espacio interior.

Estos elementos se deben instalar en todas las ventanas del aula de forma horizontal y su altura debe superar el nivel de los ojos y el rayo visual de los usuarios. Al realizar esta instalación la repisa divide la superficie de la ventana de dos zonas una superior y otra inferior. En este caso la zona baja de la repisa disminuirá la luz natural directa evitando deslumbramiento, y en la zona alta su función será reflejar la luz que incide en la superficie de la repisa generando así una distribución uniforme y generando una mayor penetración de la luz

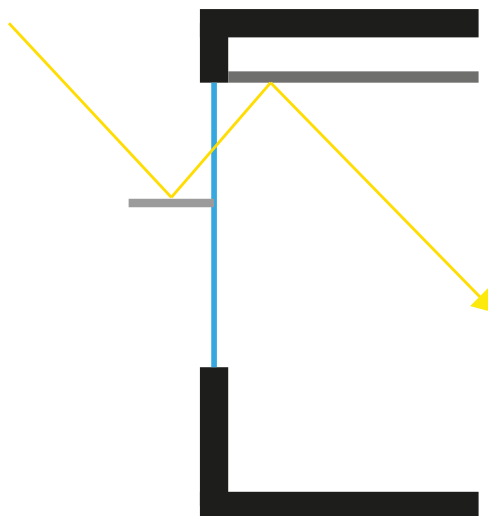


Figura 29 Diagrama repisa de luz.
Se muestra cómo funciona la repisa de luz señalizando los rayos de la luz natural.
Elaboración propia.

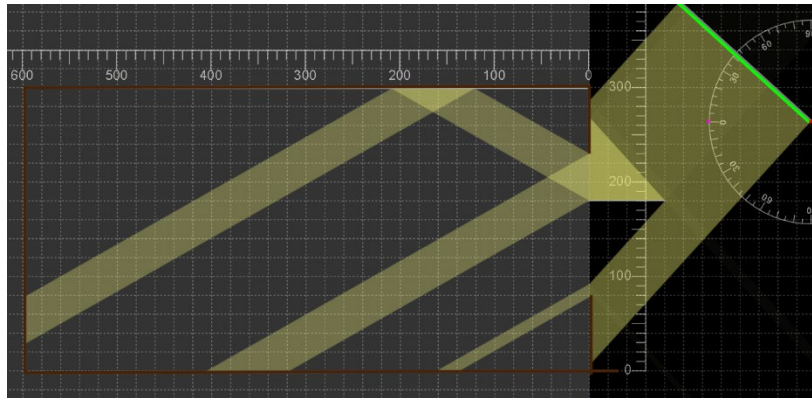
InnovaChile (2012) afirma que:

En el diseño y aplicación de una repisa de luz se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

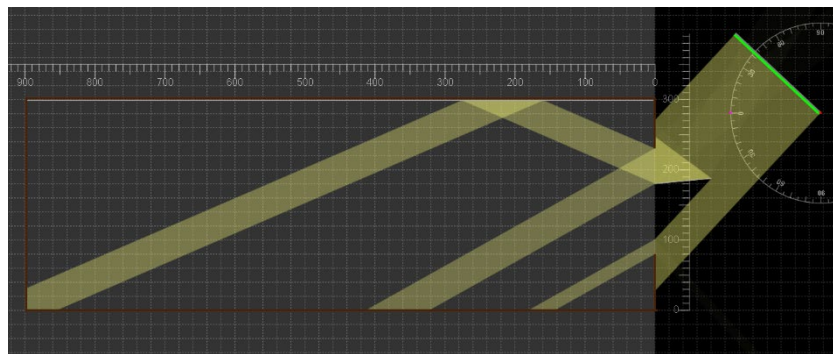
a) Si el objetivo es hacer entrar más luz, se sugiere elegir un material reflectante para la parte superior de la repisa. La luz incidente es reflejada y golpea en el cielo interior y rebota hacia el interior de la habitación.

b) La luz del sol es reflejada desde la parte superior de la repisa hacia el interior a través del cielo. Se sugiere aumentar el coeficiente de reflexión del cielo interior, a un coeficiente de reflexión mayor al 70%. (p. 108).

Es por eso que su implementación debe tener una fase de diseño cuidadoso. Para esta investigación se tomaron en cuenta: inclinación de la repisa, dimensiones, material y coeficiente de reflexión. Para determinar dimensiones e inclinación de la repisa se usó la herramienta Ray optics simulation, esta herramienta permite realizar diferentes pruebas de repisas basándose en el modelo base de cada aula permitiendo probar combinaciones para así determinar el mejor desempeño lumínico de la repisa con el aula.



*Figura 30 Diagrama en Ray Optics Online.
Función de la repisa de luz con las dimensiones estipuladas para aula regular, con promedio natural sobre 10-11 am.
Elaboración propia.*



*Figura 31 Diagrama en Ray Optics Online.
Función de la repisa con las dimensiones estipuladas para aula regular, con promedio de luz natural sobre 10-11 am.
Elaboración propia.*

Para desarrollar estas pruebas se realizó un promedio de luz natural entre las 10 am y las 11am, se tomó la inclinación solar de este periodo de tiempo. Con estas pruebas se pudo determinar para ambas aulas la altura a 1,8 metros respecto a nivel del suelo e inclinación solo para el aula irregular de 5° , las dimensiones de esta repisa de luz son de 0.6 metros de ancho y el largo varía de acuerdo a cada ventana, su material es acrílico blanco con un índice de reflectancia de 0.7.



*Figura 32 Repisa de luz.
Dimensiones y diseño arquitectónico aproximado para los modelos.
Elaboración propia*

7.7.Indicadores

Se llevo a realizar un análisis lumínico para diferentes modelos de aulas arrojados por la matriz, para esto se utilizaron indicadores como el nivel de iluminación útil (UDI) y autonomía luz de día (AD). Para determinar los valores óptimos para cada indicador revisaron los parámetros de cada normativa y estándar nacional e internacional, realizando un promedio para así sacar el indicador base.

	NTC 4595 (Colombia)	AcHEE (Chile)	CEN STANDART	IESNA (EE.UU)	UNE-EN 17037 (España)	LEED (Internacional)
Iluminancia útil de luz diurna (UDI)	500 LUX	300 - 500 LUX	500 LUX	300 -1500 LUX	300 - 500 LUX	N/A
Autonomía luz del día (DA)	N/A	60% - 80%	N/A	N/A	N/A	75% - 90%
Reflectancia media de superficies	Techo >0,8 Pared 0,2 - 0,7 Piso 0,1 - 0,3	Techo >0,7 Pared 0,5 - 0,7 Piso 0,2 - 0,5	N/A	N/A	Techo 0,6 - 0,9 Pared 0,3 - 0,8	N/A
Factor de trasmisión de los vidrios	N/A	TL 0,9	N/A	N/A	TL 0,7	N/A

*Figura 33 Elección de los indicadores.
 Comparación de los indicadores AD y UDI de las diferentes normativas y estándares consultados.
 Elaboración propia.*

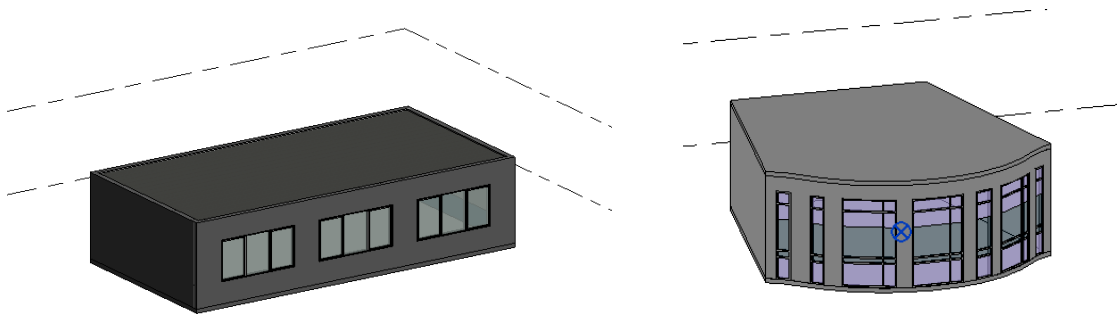
Con estos datos se parametrizo el rango de los valores a evaluar, para el indicador nivel de iluminación útil (UDI) se tendrá en cuenta de 300 a 500 lux siendo óptimo para las actividades desarrolladas en un aula y autonomía luz de día (AD) se determinó del 60% al 80% de alcance dentro del aula.

8. Capítulo VIII Modelos y simulaciones

8.1. Modelos arquitectónicos proyectados

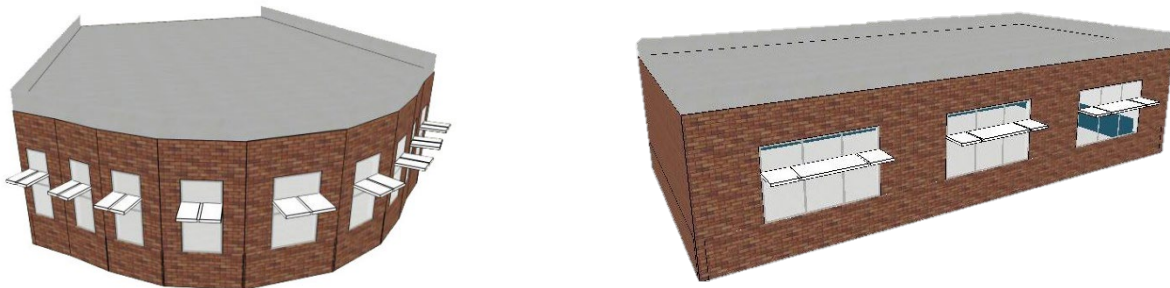
8.1.1. Modelado

Para comenzar con las simulaciones de los modelos resultantes de la matriz se realizó la caracterización arquitectónica de cada una de las aulas utilizando el programa Revit, en este programa se configuro grosor paredes, techo, piso, tamaño de ventanas y se crearon los espacios de habitaciones, por último, se exporto a Design Builder para continuar con las simulaciones.



*Figura 34 Modelos base Revit.
Modelado de las aulas base para primeras simulaciones.
Elaboración propia.*

En Design Builder se desarrolló el modelado de las repisas de luz y se realizó la caracterización de los materiales y reflectancia de los materiales seleccionados.

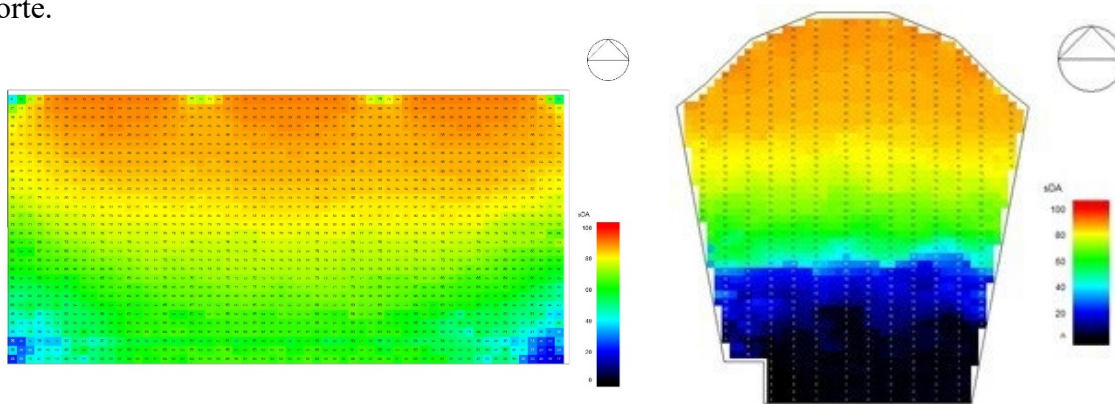


*Figura 35 Modelos base Design Builder.
Modelos exportados para generar los materiales y posteriormente simulaciones.
Elaboración propia.*

8.1.2. Simulaciones

Se aplicaron las simulaciones según los indicadores UDI y AD en Design Builder para las diferentes orientaciones (norte, oriente, sur, occidente) por cada modelo salieron cuatro imágenes, tres imágenes correspondientes al indicador UDI y una al indicador DA.

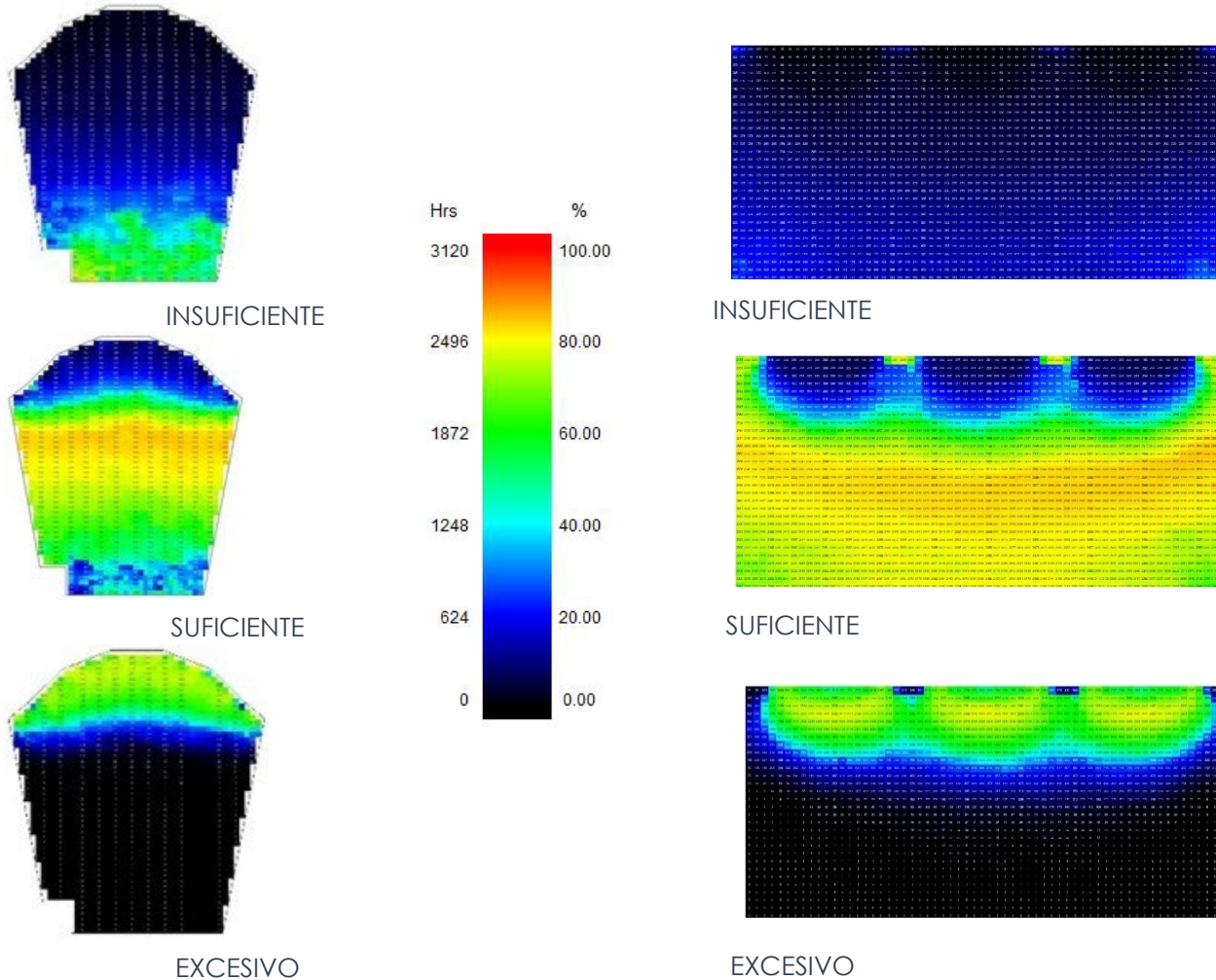
Para dar ejemplo de las imágenes resultantes de las simulaciones dentro del programa Design Builder se ve aquí el indicador autonomía de luz (DA) de las aulas en una orientación norte.



*Figura 36 Simulación AD.
Ejemplo de las imágenes aula regular e irregular simulaciones indicador AD.
Elaboración propia.*

En este caso podemos ver que la mayoría del área del aula cuenta con una autonomía del 80% al 90% del tiempo sobre una medida de 500 lux que se toma sobre el nivel del plano de trabajo que son 80 centímetros

Para el indicador iluminación útil (UDI) se tomarán tres rangos que son insuficiente (10 - 300 lux) suficiente (300-2000 lux) y excesivo (2000-10000 lux), con estos tres rangos se generan resultados más concretos para la iluminancia útil, siempre se deben leer las tres imágenes que se verán a continuación para así entender el resultado de este indicador.



*Figura 37 Simulación UDI.
Ejemplo de las imágenes Aula regular e irregular simulaciones indicador UDI.
Elaboración propia.*

8.2. Metodología de análisis

Todas las imágenes resultantes de las simulaciones se organizaron en gráficas circulares, en estas se tomaron en cuenta los dos indicadores evaluados, esto se realizó con el fin de tener un mejor panorama y claridad al momento de analizar estos resultados. Para la iluminancia útil (UDI) se representó cada resultado obtenido; suficiente, insuficiente y excesivo en un círculo diferente mientras que en el indicador autonomía de luz (DA) se usó un solo círculo. Esta es una gráfica

tipo semáforo el análisis se realiza de acuerdo al color que presente la barra, entre más se acerca al color verde tiene un buen desempeño y hacia el color rojo un mal desempeño.



















Figura 38 Diagrama de resultados. Diagrama que presentan los resultados de las simulaciones. Elaboración propia.

La tabla mostrada a continuación recopila las convenciones de las gráficas que expresan los resultados de las simulaciones realizadas en cada modelo arquitectónico.

Tabla 1

Convenciones gráficas resultados

Rango evaluación indicador Autonomia luz día (DA)							
Indicador	Rango	Unidad					
AD	60-80	% Tiempo	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80
Rango evaluación indicador iluminancia útil diurna (UDI) Insuficiente							
Indicador	Lux	Unidad					
UDI-I	10-300	%	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20
Rango evaluación indicador iluminancia útil diurna (UDI) Suficiente							
Indicador	Lux	Unidad					
UDI-S	300-2000	%	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
Rango evaluación indicador iluminancia útil diurna (UDI) Excesivo							
Indicador	Lux	Unidad					
UDI-E	2000-10000	%	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20

Nota: Se explica cómo se expresa la información en el diagrama anterior por indicador y rango a evaluar

8.3. Cuadros de recomendaciones

8.3.1. Cuadro de desempeño

En este cuadro se presentan los modelos con desempeño bajo, medio y alto de cada aula tipo, especificando con que característica contaron, es decir las variables que se usaron para que se obtuvieran estos resultados; también posee un espacio para los resultados de los indicadores de cada modelo mencionando el desempeño obtenido en cada indicador. Este cuadro se concentra en presentar resultados claros y concretos de las simulaciones.

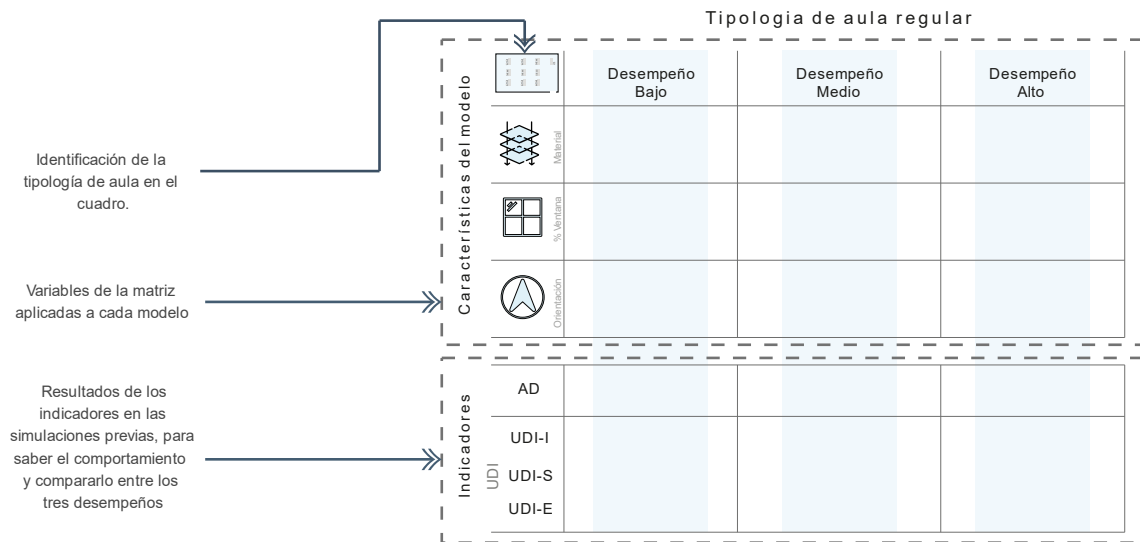


Figura 39 Cuadro de desempeño.
Explicación partes que conforman el cuadro.
Elaboración propia.

8.3.2. Cuadro de recomendaciones por orientación y para aulas existentes

En este cuadro se encuentran las recomendaciones para una iluminación natural óptima por cada orientación, este se realizó para poder aprovechar al máximo el espacio para diseñar ya que no siempre todas las aulas podrán optar la orientación del modelo con desempeño alto. Cuenta con las cuatro orientaciones principales para cada tipo de aula, regular e irregular, materialidad tipo de ventana y protección solar. Este cuadro sirve tanto para aulas nuevas como aulas existentes, para mayor facilidad de las aulas existentes se piensa en las modificaciones que mejor o más económicas puedan ser, lo principal es el tamaño del vano y los colores para los muros.

A continuación, se muestra una sección del cuadro donde se muestra un ejemplo de la información que van a consignar para complementar las recomendaciones (ver figura 40).

Cuadros recomendaciones por orientación y para aula existente

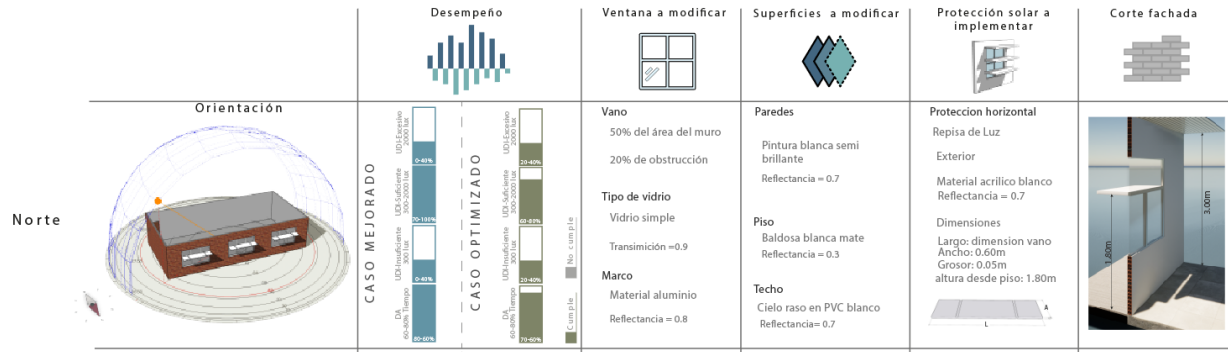


Figura 40 Cuadro de orientación.
Explicación corta del cuadro general.
Elaboración propia.

En este cuadro se muestra una sección donde se encuentra el desempeño del caso mejorado y el desempeño que resulto en las simulaciones del modelo que se está recomendando, posteriormente se tienen todas las características constructivas que se necesitan para lograr este desempeño, por último, se muestra corte fachada para poder observar las especificaciones del modelo.

9. Capítulo IX Resultados

9.1. Aulas base

Las simulaciones que se hicieron para las aulas base van con la configuración de los materiales existentes de estas dos aulas, los materiales del aula regular son diferentes al modelo irregular, así podemos comparar con los modelos mejorados en el desempeño que especifican.

Después de realizar las simulaciones se pudo determinar que estas aulas no tienen buen desempeño ya que presentan un UDI-Excesivo muy alto y no cumplen totalmente con el DA, en ninguna de las cuatro orientaciones se encuentra un buen desempeño de las dos aulas. Las imágenes arrojadas por el programa Design Builder se encuentran en los anexos 1 y 2

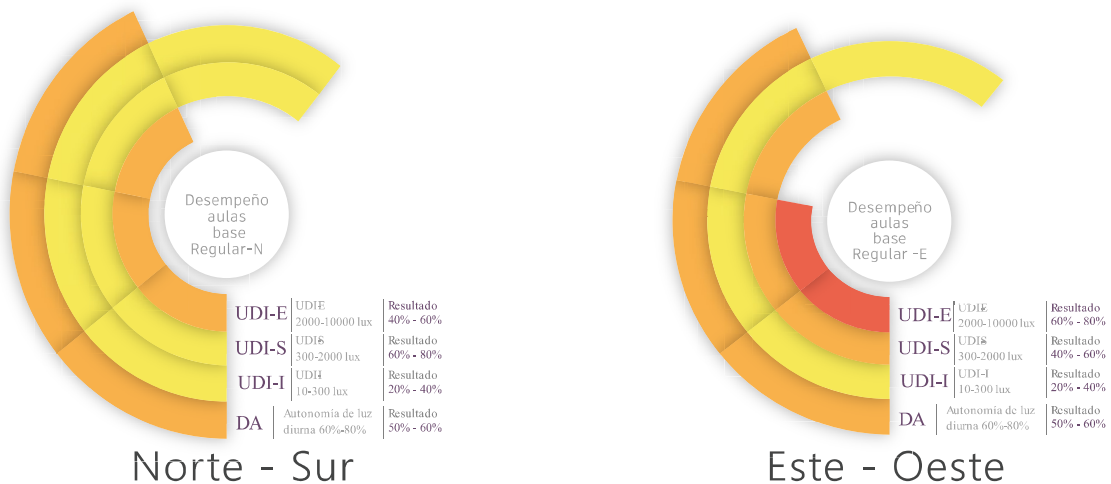


Figura 41 Resultados aula regular.

Se observa que los desempeños son iguales para las orientaciones norte-sur y para oriente-occidente, tienen mal desempeño. Elaboración propia.

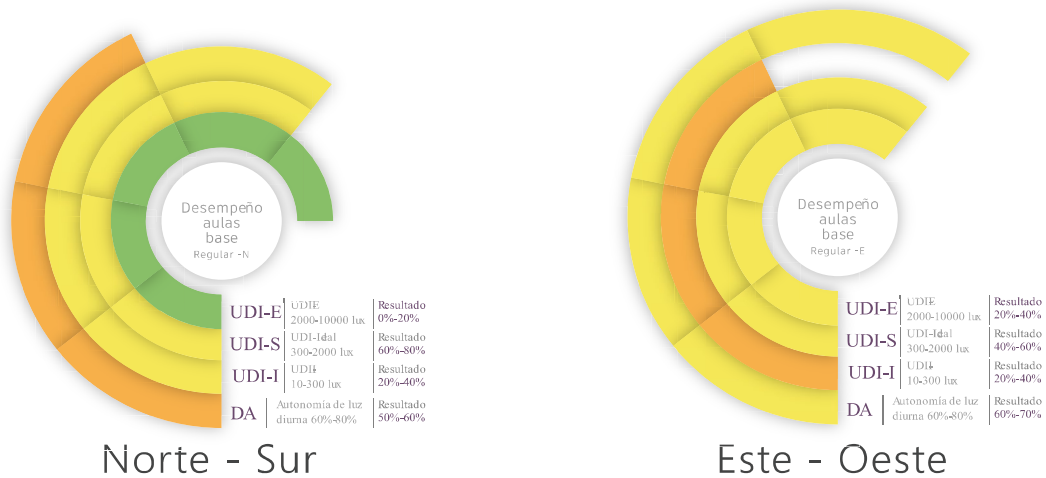


Figura 42 Resultados de aula irregular.

Se observa que los desempeños son iguales para las orientaciones norte-sur y para oriente-occidente, tienen un desempeño regular.

Elaboración propia.

Con estos resultados se tomó la decisión de implementar repisas de luz en los modelos proyectados para bajar el índice excesivo y para maximizar la penetración de luz natural dentro del aula. También se determinó que el material de pisos, techo, tipo de vidrio y repisa de luz es igual para todos los modelos, el único material que varía es el material de paredes. En la parte arquitectónica el tamaño del aula no varía solo el tamaño de ventana.

9.2. Modelos resultantes

9.2.1. Aulas irregulares abertura 25%

En este tipo de aula el mejor comportamiento se presentó en los modelos orientados al norte ya que en las tres combinaciones de materiales los dos indicadores se mantuvieron en desempeño bueno y muy bueno de acuerdo a las gráficas semáforo (ver anexo 3), los niveles de confort lumínico alcanzados por estas aulas son aceptables para su funcionamiento, sin embargo alcanzar los indicadores base exactamente como se describieron en el análisis normativo, se debe

implementar una repisa de luz mucho más larga y que parte de la misma quede dentro del aula así ayudará en una mayor distribución de luz en el interior. En los modelos orientados hacia el oeste hay un comportamiento similar al anteriormente mencionado, este desempeño es un rango menor de acuerdo a las gráficas semáforo (ver anexo 6), ya que tienen un comportamiento similar la repisa de luz interna-externa funciona para optimizar resultados.

Para las orientaciones este y sur el desempeño presentado por las aulas es parecido ya que en ambas orientaciones el desempeño de los indicadores esta entre regular y bueno de acuerdo a las gráficas semáforo (ver anexos 4, 5). En estos modelos la principal falencia es en el indicador DA ya que no se encuentra dentro del tiempo mínimo establecido. Para lograr que este indicador cumpla con los lineamientos especificados se recomienda mejorar la repisa de luz convirtiéndola en un elemento interno-externo, y en la materialidad interior es apropiado usar pinturas claras que tengan un índice de reflectividad mayor o igual que 0,7.

9.2.2. Aulas irregulares abertura 50%

Para este tipo de ventana el indicador UDI bajo de un 80% a un 60% debido al tamaño de las ventanas sin embargo la orientación con mejor desempeño es la sur, esto se debe a que en el indicador UDI Suficiente aún se marca en 80% del tiempo (ver anexo 8), en el caso de la orientación norte tiene un desempeño similar en el indicador UDI en sus tres rangos a la orientación sur, estas dos orientaciones se diferencian en el indicador DA la orientación tiene un mejor desempeño que la orientación norte (ver anexo 7).

Para las orientaciones este y oeste la índice UDI Excesivo es muy alto se encuentra en el 60% del tiempo lo que hace que estos modelos se encuentren en un rendimiento regular según las gráficas semáforo (ver anexos 9, 10). En estas aulas el indicador DA tiene una notoria mejoría

con respecto a los modelos con aberturas del 25%. Las recomendaciones generales son usar materiales con reflectividad entre 0,3 y 0,6 para mitigar el índice excesivo dentro del aula también las repisas de luz deben ser más anchas que las propuestas para evitar mayor deslumbramiento.

9.2.3. Aulas irregulares abertura 75%

Para este tipo de ventana los Indicadores UDI Excesivo y Suficiente no se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa, a pesar de esto las orientaciones que tuvieron mejor desempeño fueron la norte y la sur, ya que tiene un índice Excesivo más bajo y un índice suficiente más alto con respecto a las otras dos orientaciones y ambas tuvieron un comportamiento similar (ver anexos 11,12).

Para las orientaciones este y oeste los materiales ladrillo y dos colores se comportaron con desempeño regular debido a los índices excesivos se encontraron entre el 50% a 60% del tiempo, en el material blanco para ambas orientaciones se presentó el índice excesivo entre el 60% a 70% del tiempo (ver anexos 13,14) , con esto se puede determinar que con este tamaño de aperturas los materiales que mejor se comportar son aquellos que sus reflectividades no superen 0,3. También para disminuir el índice excesivo se recomienda darle una mayor inclinación a la repisa de luz para optimizar la distribución y evitar deslumbramientos.

9.2.4. Aulas regulares abertura 25%

En el modelo de aula regular en este porcentaje de abertura no hubo un buen desempeño en las orientaciones norte y sur en especial en los indicadores DA y en UDI – insuficiente y UDI-suficiente, a pesar que en el indicador cumple el UDI - excesivo tiene mayor importancia tener una iluminación suficiente para la realización de las actividades (ver anexos 15, 16)

En las orientaciones este y oeste tuvo un comportamiento mejor pero no es el óptimo por el porcentaje del vano, aun así, para aulas ubicadas en estas orientaciones es una muy buena opción este porcentaje de vano siempre y cuando se usen materiales claros con una reflexividad alta, de igual forma en el indicador DA va a tener una deficiencia y puede ser posible que necesite iluminación artificial durante el día. (ver anexos 17, 18)

9.2.5. Aulas regulares abertura 50%

Las aberturas del 50% tuvieron un desempeño óptimo, se cumplieron con los indicadores esperados, pero con materiales claros que presenten una reflexibilidad igual a la señalada en los cuadros de recomendaciones y en especial para la orientación norte y sur, tendrán un buen comportamiento en todos los indicadores presentados. (ver anexos 19, 20)

Para la orientación este y oeste tiene un desempeño medio ya que en el indicador UDI – excesivo tiene un gran porcentaje cerca de las ventanas que podría generar deslumbramientos y molestias a la visión, si se requiere usar este porcentaje en esta orientación se recomienda reforzar el sistema de protección solar para así lograr disminuir estas molestias visuales. (ver anexos 21, 22)

9.2.6. Aulas regulares abertura 75%

Las aulas presentadas con este porcentaje de vano tuvieron un desempeño regular para las orientaciones norte y sur, ya que se presenta un UDI- excesivo muy alto que puede llegar al 50% del área del aula, esto puede generar una molestia muy grande en la visión de sus ocupantes, no es recomendable usar este tipo de porcentaje para esta tipología, pero si se requiere se debe realizar un estudio para tener una protección solar eficiente en este caso. (ver anexos 23, 24)

En las orientaciones este y oeste no es nada recomendable utilizar este tipo de porcentaje en las aulas de esta tipología ya que tiene un mal desempeño en el UDI-excesivo y aun así el UDI – suficiente puede llegar a ser un problema para la salud de sus ocupantes. (Ver anexos 25, 26)

10. Conclusiones

Posterior a las simulaciones de los 72 modelos resultantes y la respectiva clasificación de estos resultados se concluye que el confort lumínico depende en gran medida de las características arquitectónicas de diseño y materialidad en cada aula académica, encontrando así que estas características deben plantearse en la primera fase del proyecto (diseño arquitectónico y constructivo) así se logran mitigar problemas posteriores de una iluminación no óptima y así no afectando la salud y aprendizaje de los ocupantes.

La orientación del aula no puede ser una limitante para un desempeño óptimo de la iluminación natural dentro del aula, si se usan los materiales correctos y se implementan las estrategias de diseño arquitectónico pasivo tanto internas como externas, se puede lograr cumplir los indicadores de confort lumínico, como ejemplo se encuentra la repisa de luz que proporciona una buena distribución de la iluminación natural al fondo del aula y también protege de la excesiva de iluminación.

Teniendo las variables presentadas en la matriz (Tamaño del vano, materialidades y reflectancia de los mismos) se logró determinar los buenos desempeños en cada uno de los porcentajes de vanos, como en aulas con 25% de vano genera mayor desempeño escogiendo materiales como pintura blanca con reflectancia del 0.7, para aulas con aberturas del 50% al 75% es mejor tener materiales con reflectancias entre el 0.3 o 0.2 que pueden ser pinturas claras.

Para la tipología regular se encontró un mismo desempeño para las aulas orientas al norte y sur de igual forma para orientaciones este y oeste, se observó una misma distribución de la

iluminación natural en los indicadores presentados; En cambio para la tipología irregular el comportamiento de la iluminación natural es completamente diferente en cada una de las orientaciones evaluadas.

Con la implementación de la metodología BIM y simulaciones dinámicas se llega a una identificación temprana del diseño arquitectónico, así logrando tomar decisiones y generar las modificaciones correspondientes en las aulas tipo, así como se encontró los modelos que cumplan con las condiciones mínimas del confort lumínico, junto con sus características arquitectónicas y constructivas optimas.

10.1. Cuadros recomendación

10.1.1. Cuadro desempeño aula irregular

El aula que presenta mejor desempeño es el aula orientada hacia el norte con materialidad en muros con una pintura blanca semi mate con reflectancia del 0,7 y la abertura de la ventana corresponde al 25% del área del muro. Los indicadores UDI y DA se encuentran entre los rangos establecidos por el análisis normativo realizado anteriormente. En términos generales el material con desempeño más bajo fue el ladrillo ya que su reflectividad es muy baja, y en tamaño de ventanas fue las de 75% porque se presentaron índices elevados de UDI excesivo. En el momento de diseñar se pueden hacer varias combinaciones de estas variables para obtener niveles mínimos de confort lumínico. Si se busca implementar ventanas grandes como 75% o 50% respecto al área del muro se deben implementar materiales poco reflectantes que si índice no pase de 0,3 y deben implementarse en todas sus superficies; paredes, piso y techo. Si se quiere implementar materiales más claros o con un índice de reflectancia mayo que 0,5 se debe optar por instalar ventanas con menor abertura del 25% del área del muro. (ver figura 38)

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES







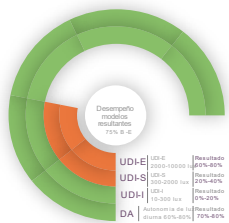
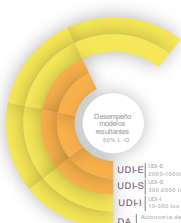
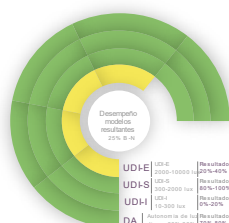
	Desempeño Bajo	Desempeño Medio	Desempeño Alto
Características del modelo	 Paredes Pintura blanca semi brillante Reflectancia = 0.7 Piso Baldosa blanca mate Reflectancia = 0.3 Techo Cielo raso en PVC blanco Reflectancia = 0.7	Paredes Ladrillo Claro Reflectancia = 0.2 Piso Baldosa blanca mate Reflectancia = 0.3 Techo Cielo raso en PVC blanco Reflectancia = 0.7	Paredes Pintura blanca semi brillante Reflectancia = 0.7 Piso Baldosa blanca mate Reflectancia = 0.3 Techo Cielo raso en PVC blanco Reflectancia = 0.7
	 Vano 75% del área del muro 20% de obstrucción	Vano 50% del área del muro 20% de obstrucción	Vano 25% del área del muro 20% de obstrucción
	 Orientación 		
Indicadores	AD CASO MEJORADO: 60-80% Tiempo CASO OPTIMIZADO: 60-70% Tiempo	AD CASO MEJORADO: 60-60% Tiempo CASO OPTIMIZADO: 70-60% Tiempo	AD CASO MEJORADO: 60-60% Tiempo CASO OPTIMIZADO: 60-70% Tiempo
	UDI-E CASO MEJORADO: 0-40% CASO OPTIMIZADO: 0-20%	UDI-E CASO MEJORADO: 0-40% CASO OPTIMIZADO: 40-60%	UDI-E CASO MEJORADO: 0-40% CASO OPTIMIZADO: 20-40%
	UDI-S CASO MEJORADO: 70-100% CASO OPTIMIZADO: 20-40%	UDI-S CASO MEJORADO: 70-100% CASO OPTIMIZADO: 40-60%	UDI-S CASO MEJORADO: 70-100% CASO OPTIMIZADO: 80-100%
	UDI-I CASO MEJORADO: 0-40% CASO OPTIMIZADO: 60-80%	UDI-I CASO MEJORADO: 0-40% CASO OPTIMIZADO: 20-40%	UDI-I CASO MEJORADO: 0-40% CASO OPTIMIZADO: 20-40%
Diagrama de resultados	 <p>Desempeño medio resultados: 75% a-e</p> <ul style="list-style-type: none"> UDI-E: 2000-3000 lux Resultado: 67%-80% UDI-S: 300-2000 lux Resultado: 75%-80% UDI-I: 300 lux Resultado: 74%-80% DA: Adecuada de luz Resultado: 79%-80% 	 <p>Desempeño medio resultados: 50% a-e</p> <ul style="list-style-type: none"> UDI-E: 2000-3000 lux Resultado: 46%-65% UDI-S: 300-2000 lux Resultado: 46%-65% UDI-I: 300 lux Resultado: 26%-45% DA: Adecuada de luz Resultado: 60%-65% 	 <p>Desempeño medio resultados: 25% a-e</p> <ul style="list-style-type: none"> UDI-E: 2000-3000 lux Resultado: 25%-46% UDI-S: 300-2000 lux Resultado: 65%-100% UDI-I: 300 lux Resultado: 75%-80% DA: Adecuada de luz Resultado: 79%-80%

Figura 43 Cuadro por desempeño aula irregular. Resultados obtenidos y clasificados de las simulaciones. Elaboración propia.

10.1.2. Cuadro desempeño aula regular

Las que tengan materiales poco reflectivos como el ladrillo o materiales oscuros no tienen un buen desempeño en iluminación natural cuando la abertura de la ventana es 75% o 50%, en cuestión del porcentaje de los vanos desde el 50% se obtienen buenos resultados con los tres materiales implementados en las paredes, en la ciudad de Bogotá y en altitudes similares se obtiene un mejor resultado con las orientaciones norte y sur, con los tres tipos de recubrimiento en muros, ya que así no se generan índices excesivos de iluminación y los deslumbramientos se mantienen dentro de los rangos permitidos. (ver figura 39)

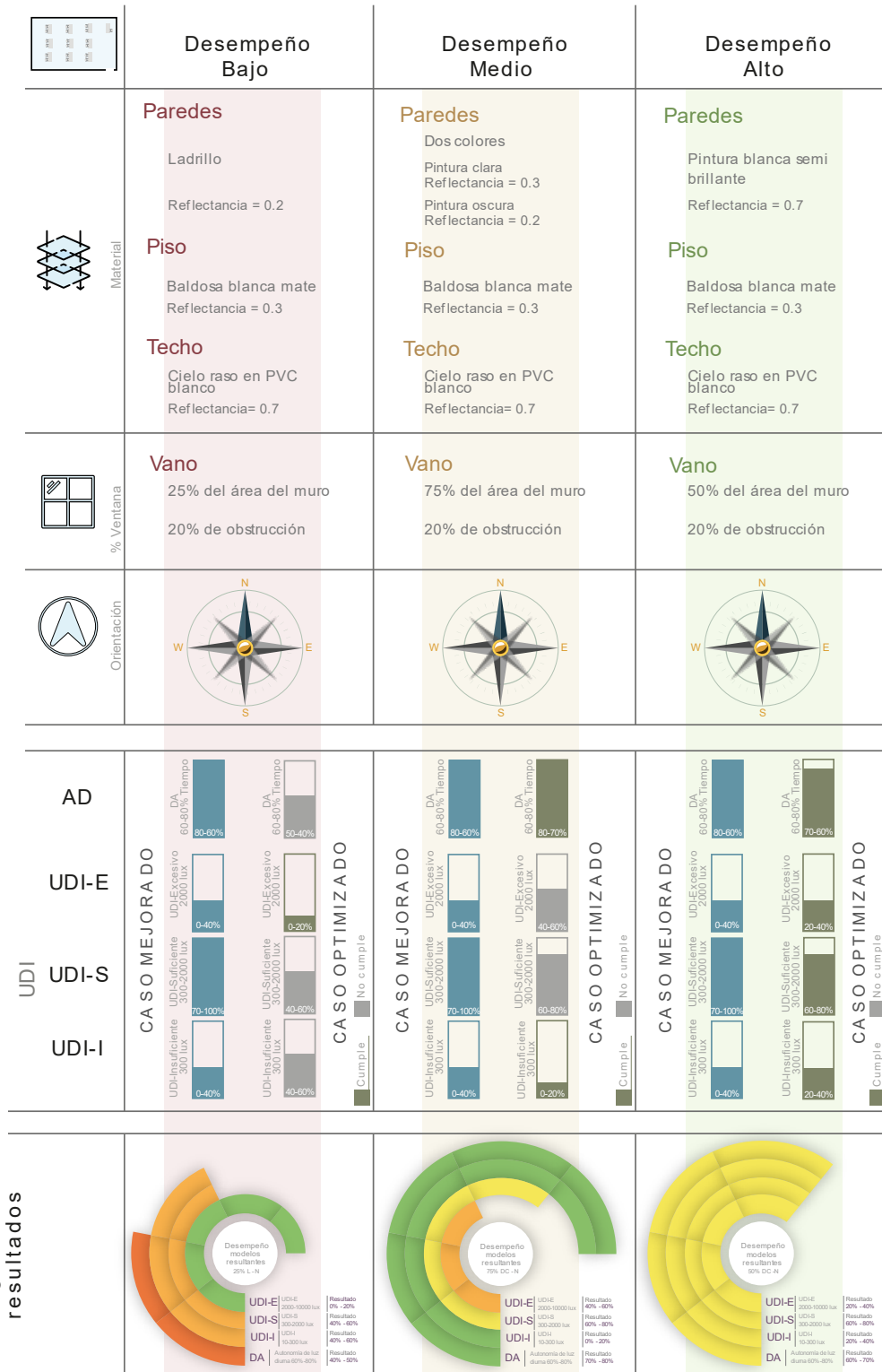


Figura 44 Cuadro por desempeño aula regular. Resultados obtenidos y clasificados de las simulaciones. Elaboración propia.

10.1.3. Cuadro mejor por orientación aula irregular

En la orientación norte y sur es recomendable usar ventanas entre el 25% y 50% del área total del muro, esto en combinación con materiales con reflectancia alta o medio el rango puede ir del 0,7 al 0,5, en esta orientación no es recomendable usar ventanas del 75% ya que a pesar de usar materiales poco reflectantes presenta índices elevados de iluminación excesiva.

En las orientaciones este y oeste la implementación de ventanas con el 75% 50% deben ir acompañas con materiales en todas sus superficies, estos deben tener una reflectividad entre el 0,2 y 0,3 para no exceder el índice excesivo, con este tipo de abertura no se recomienda el uso de materiales altamente reflectantes ya que el deslumbramiento alcanza su límite, y por último es necesario el uso de protección solar. (ver figura 40)

	Desempeño	Ventana a modificar	Superficies a modificar	Protección solar a implementar	Corte fachada
<p>Orientación</p> <p>Norte</p>	<p>Desempeño</p>	<p>Vano</p> <p>Apertura 25% área total muro</p> <p>Obstrucción = 20%</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión = 0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Pintura blanca semi brillante</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p>	<p>Protección solar a implementar</p> <p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimension vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>Altura desde piso: 1.80m</p> <p>Inclinación: 5%</p>	
<p>Oriente</p>	<p>Desempeño</p>	<p>Vano</p> <p>Apertura 75% área total muro</p> <p>Obstrucción = 20%</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión = 0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Pintura gris clara</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Pintura azul oscura</p> <p>Reflectancia = 0.2</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p>	<p>Protección solar a implementar</p> <p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimension vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>Altura desde piso: 1.80m</p> <p>Inclinación: 5%</p>	
<p>Occidente</p>	<p>Desempeño</p>	<p>Vano</p> <p>Apertura 50% área total muro</p> <p>Obstrucción = 20%</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión = 0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Pintura gris clara</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Pintura azul oscura</p> <p>Reflectancia = 0.2</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p>	<p>Protección solar a implementar</p> <p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimension vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>Altura desde piso: 1.80m</p> <p>Inclinación: 5%</p>	
<p>Sur</p>	<p>Desempeño</p>	<p>Vano</p> <p>Apertura 25% área total muro</p> <p>Obstrucción = 20%</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión = 0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Pintura blanca semi brillante</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p>	<p>Protección solar a implementar</p> <p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimension vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>Altura desde piso: 1.80m</p> <p>Inclinación: 5%</p>	

Figura 45 Cuadro por orientación aula irregular. Resultados clasificados para aulas nuevas y existentes. Elaboración propia.

10.1.4. Cuadro mejor por orientación aula regular

Para estas aulas en la orientación este u oeste si se cuenta con una iluminación limitada, lo más viable es optar por vanos del 25% del área respecto al muro y combinarlo con materiales claros que generen una mayor reflexión de luz natural, esta combinación no genera deslumbramientos ni molestias en la visión. Para las orientaciones norte y sur es mejor optar por materiales blancos combinados con aberturas del 50%, esto genera un mejor desempeño en la iluminación natural. (ver figura 41)

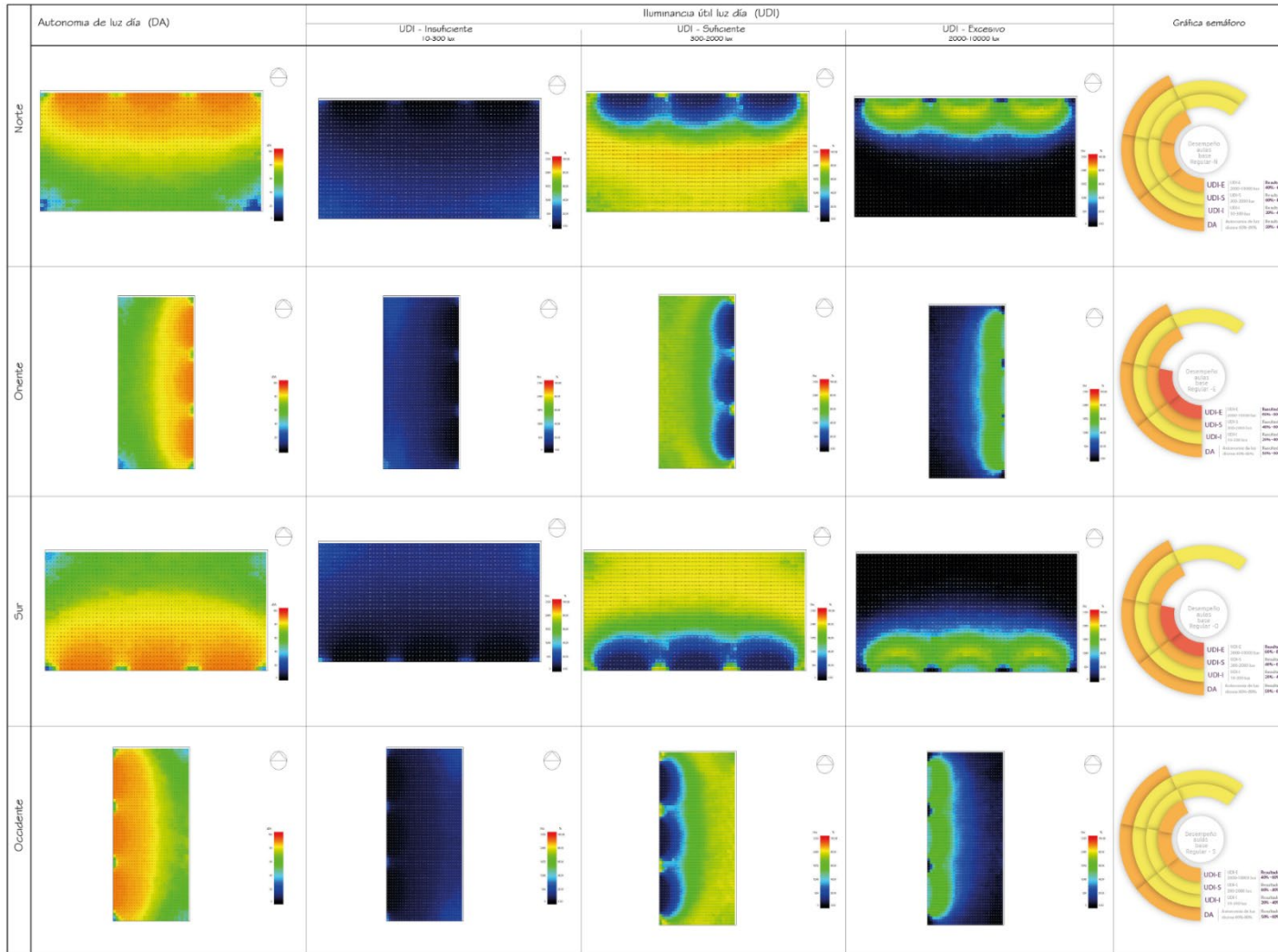
RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS NUEVAS Y EXISTENTES

	Desempeño	Ventana a modificar	Superficies a modificar	Protección solar a implementar	Corte fachada
<p>Norte</p>		<p>Vano</p> <p>50% del área del muro 20% de obstrucción</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión=0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Pintura blanca semi brillante</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia= 0.7</p>	<p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimensión vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>altura desde piso: 1.80m</p>	
<p>Oriente</p>		<p>Vano</p> <p>25% del área del muro 20% de obstrucción</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión=0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Dos colores</p> <p>Pintura clara</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Pintura oscura</p> <p>Reflectancia = 0.2</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia= 0.7</p>	<p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimensión vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>altura desde piso: 1.80m</p>	
<p>Occidente</p>		<p>Vano</p> <p>25% del área del muro 20% de obstrucción</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión=0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Dos colores</p> <p>Pintura clara</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Pintura oscura</p> <p>Reflectancia = 0.2</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia= 0.7</p>	<p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimensión vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>altura desde piso: 1.80m</p>	
<p>Sur</p>		<p>Vano</p> <p>50% del área del muro 20% de obstrucción</p> <p>Tipo de vidrio</p> <p>Vidrio simple</p> <p>Transmisión=0.9</p> <p>Marco</p> <p>Material aluminio</p> <p>Reflectancia = 0.8</p>	<p>Paredes</p> <p>Pintura blanca semi brillante</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Piso</p> <p>Baldosa blanca mate</p> <p>Reflectancia = 0.3</p> <p>Techo</p> <p>Cielo raso en PVC blanco</p> <p>Reflectancia= 0.7</p>	<p>Protección horizontal</p> <p>Repisa de Luz</p> <p>Exterior</p> <p>Material acrílico blanco</p> <p>Reflectancia = 0.7</p> <p>Dimensiones</p> <p>Largo: dimensión vano</p> <p>Ancho: 0.60m</p> <p>Grosor: 0.05m</p> <p>altura desde piso: 1.80m</p>	

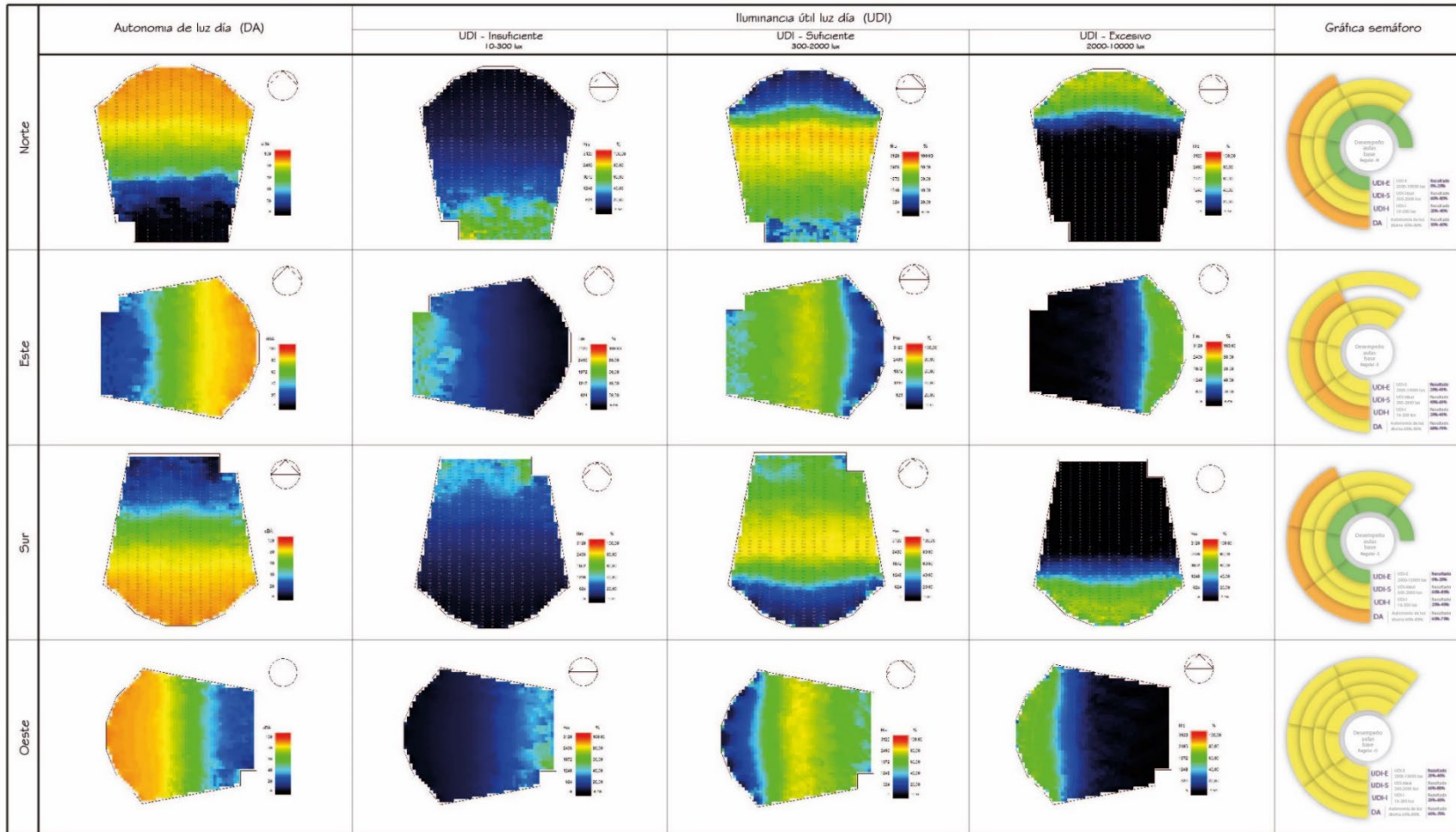
Figura 46 Cuadro por orientación aula regular. Resultados clasificados para aulas nuevas y existentes. Elaboración propia.

11. Anexos

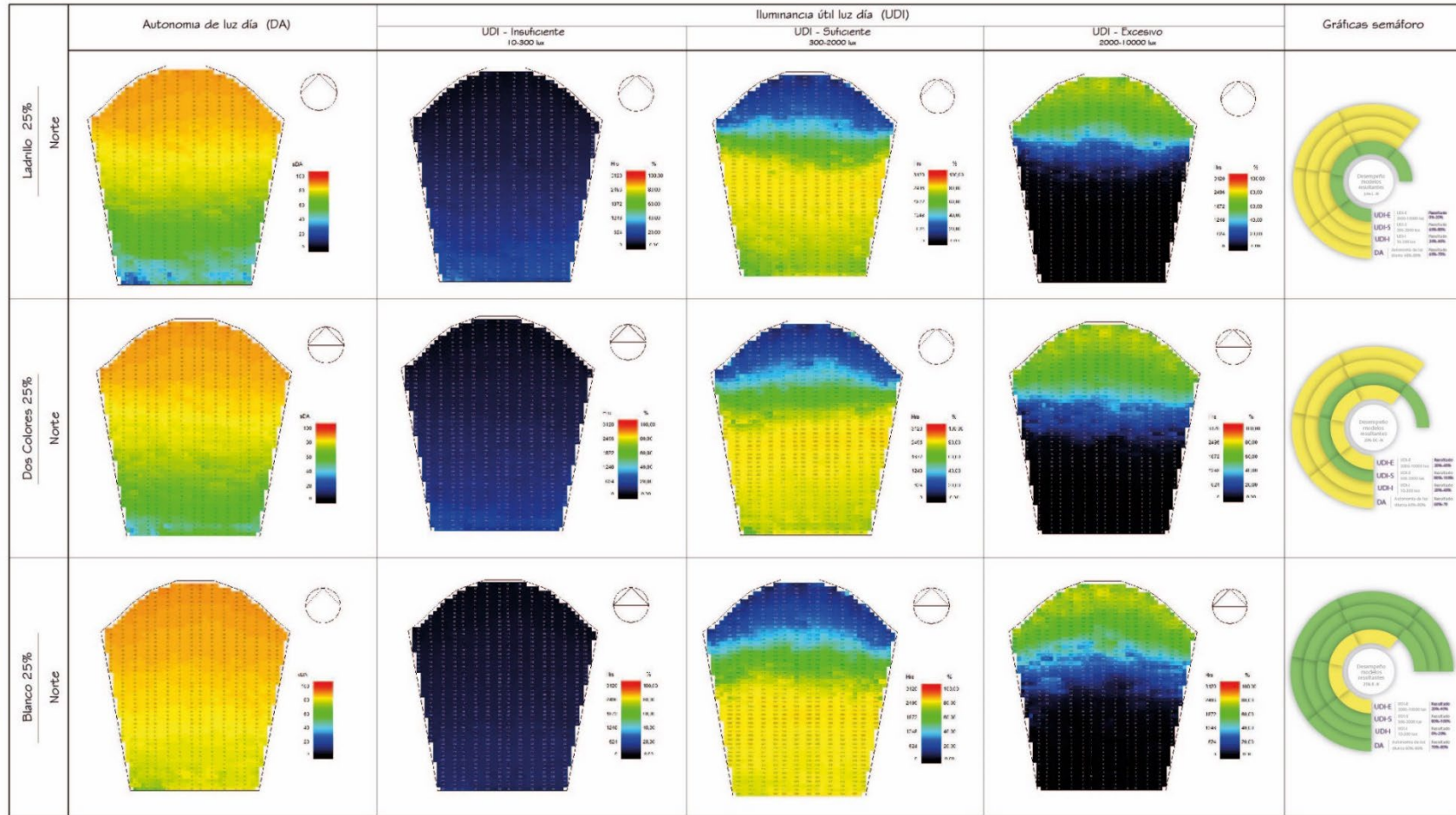
11.1. Anexo 1 Aula regular base



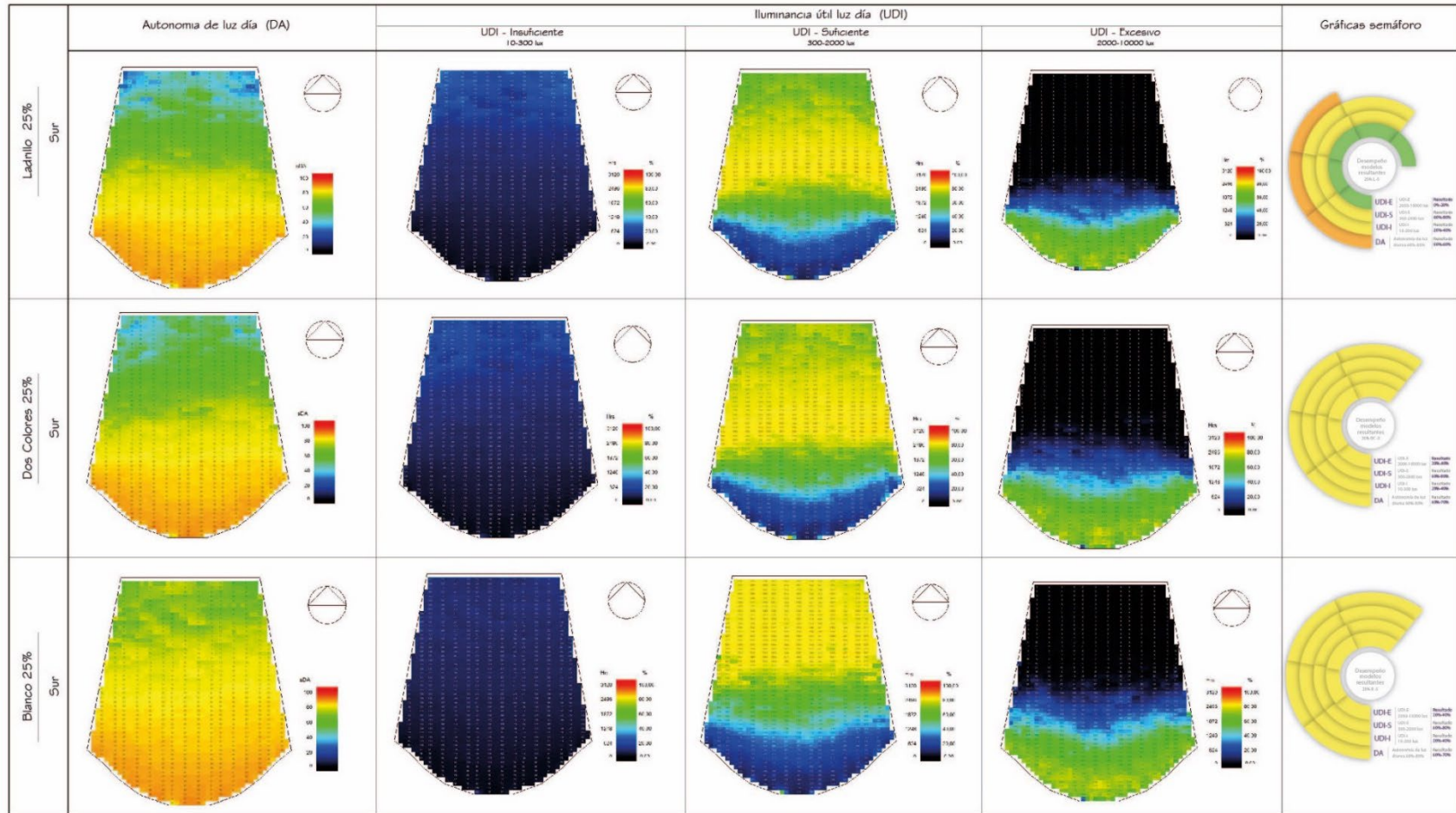
11.2. Anexo 2 Aula irregular base



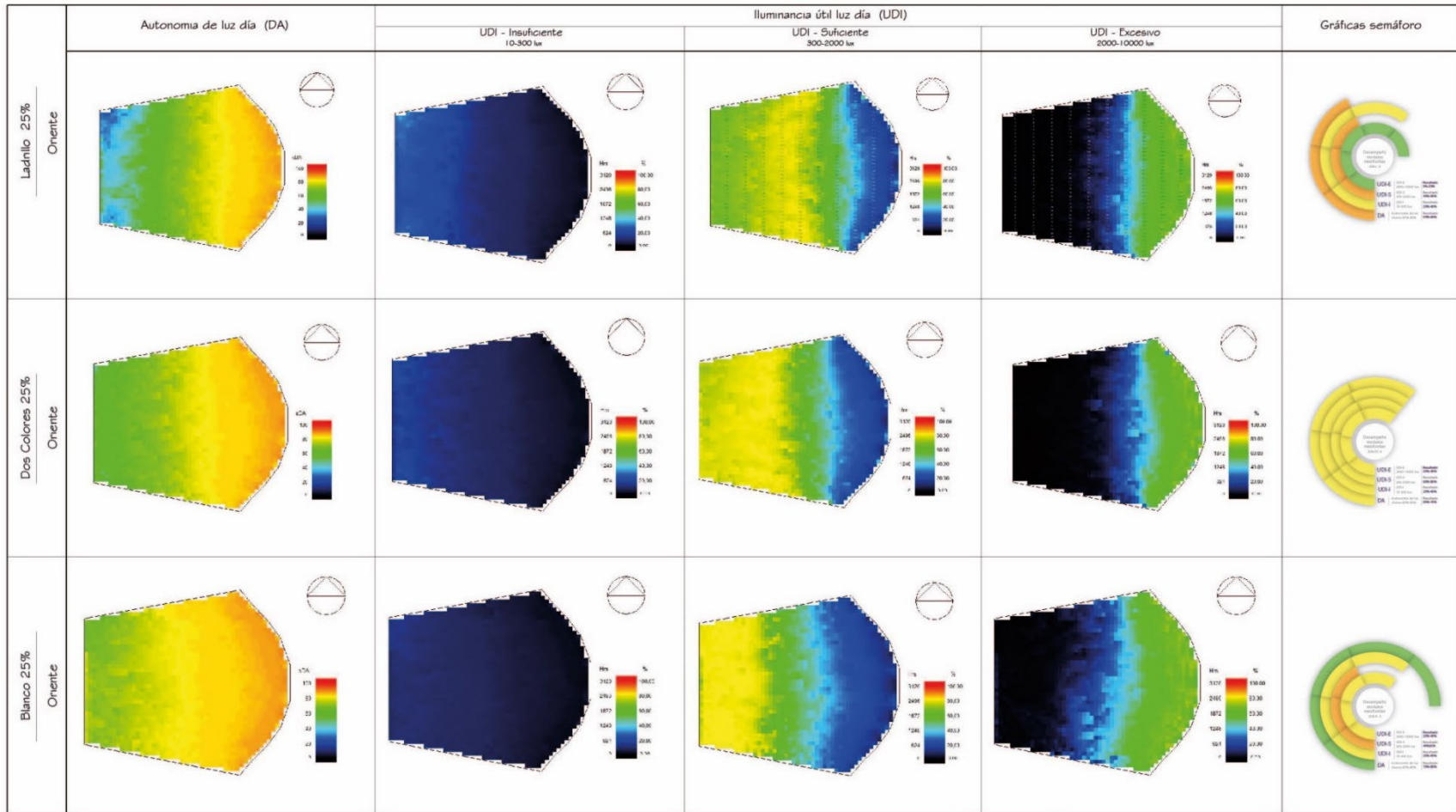
11.3. Anexo 3 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Norte



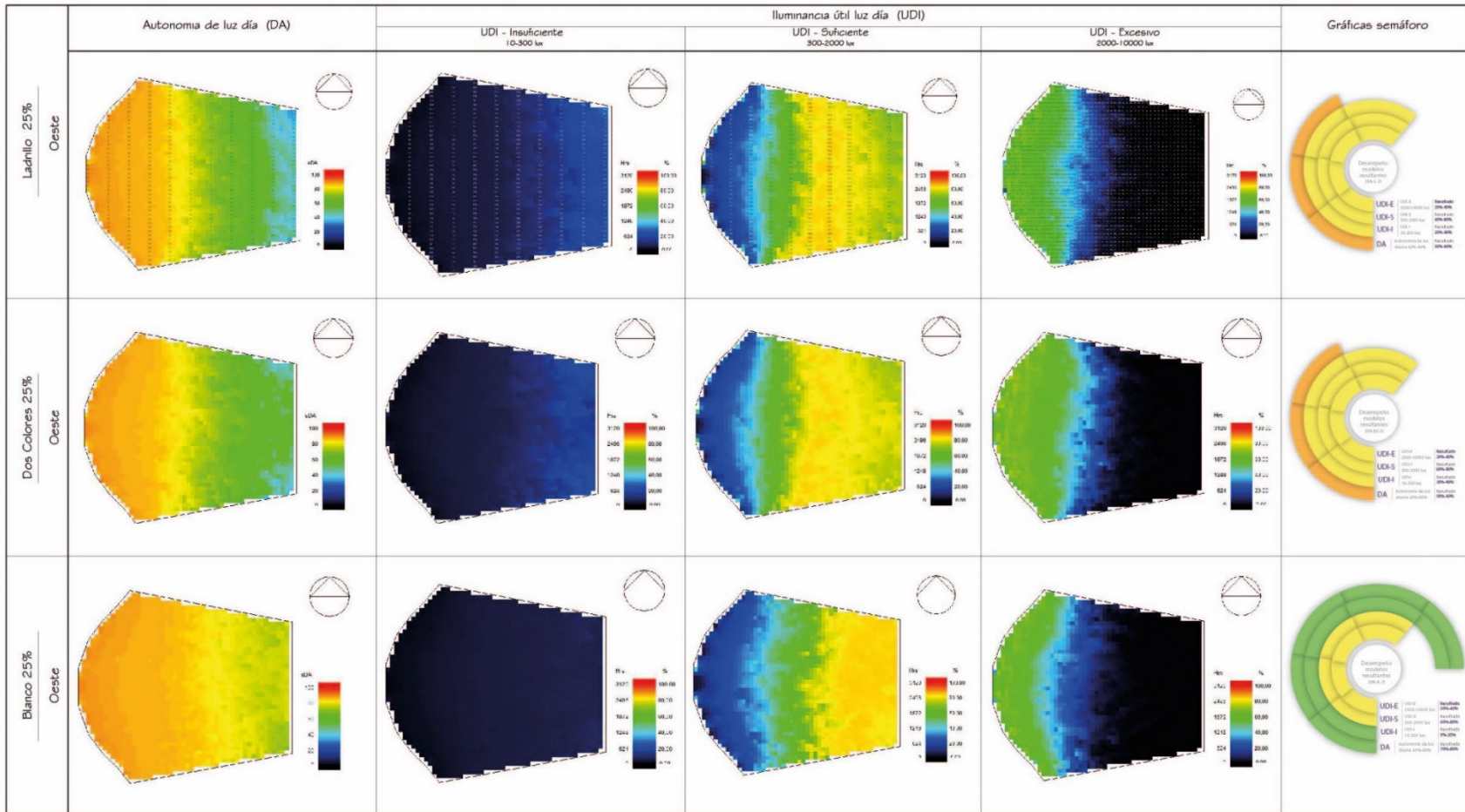
11.4. Anexo 4 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Sur



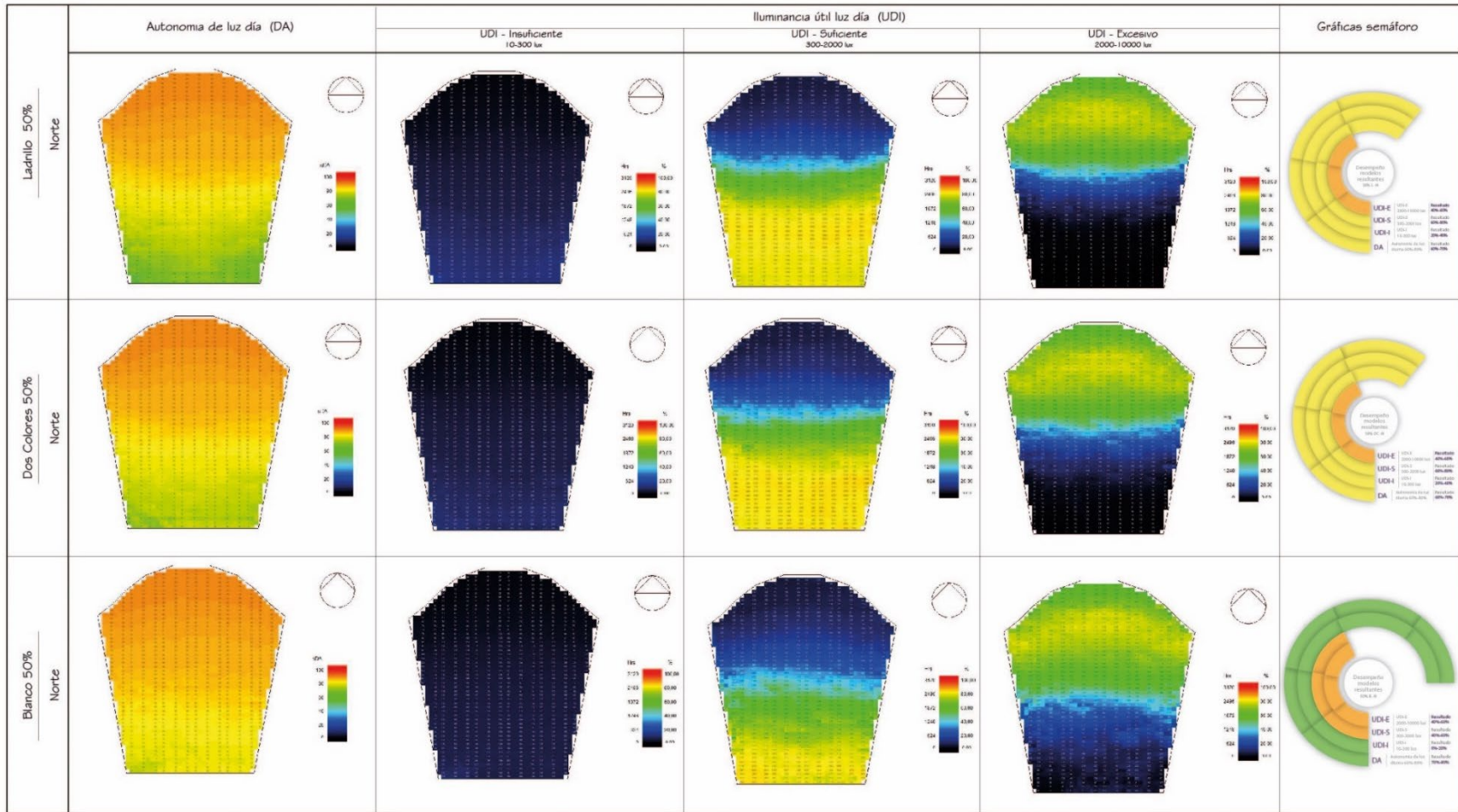
11.5. Anexo 5 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Este



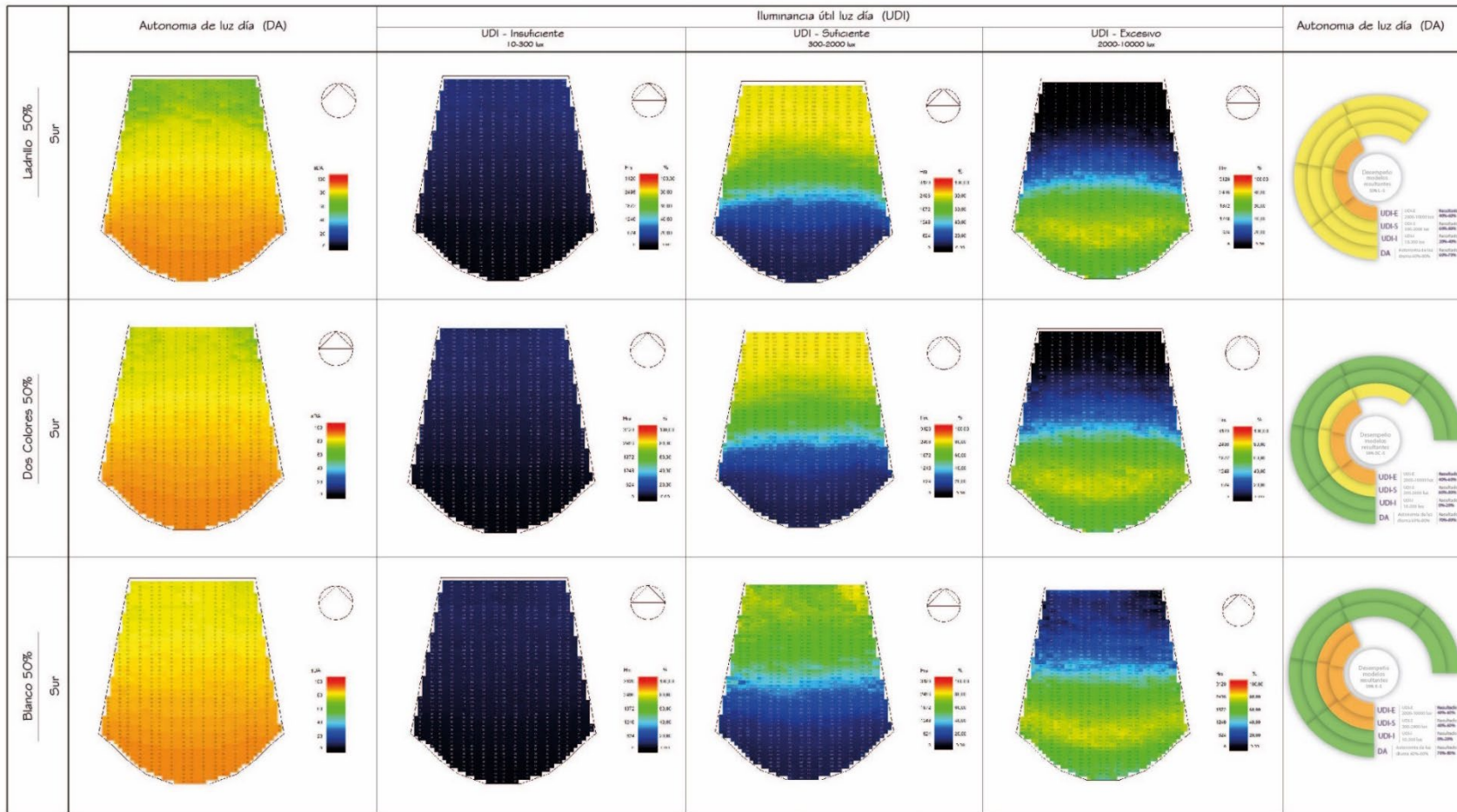
11.6. Anexo 6 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 25% Oeste



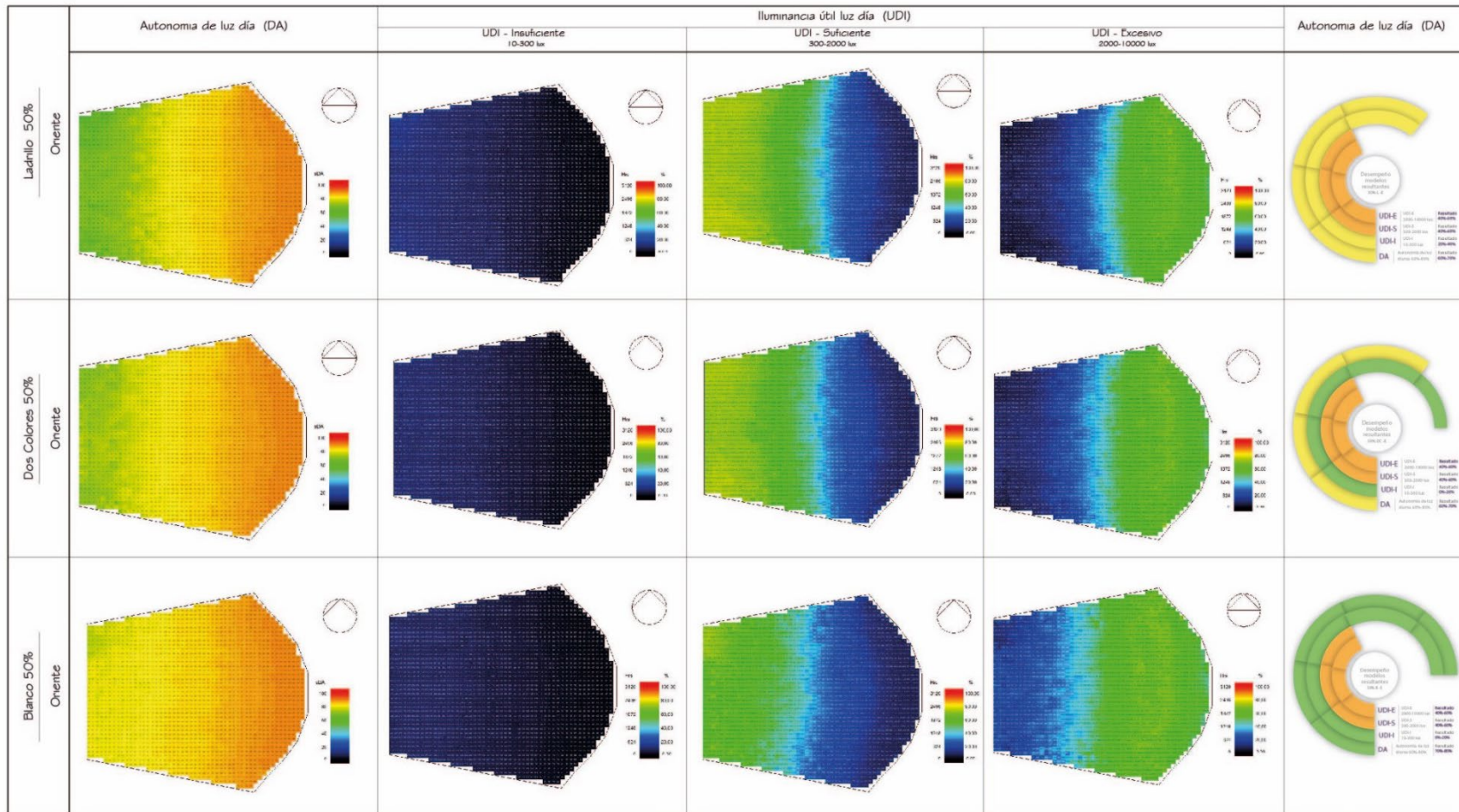
11.7. Anexo 7 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Norte



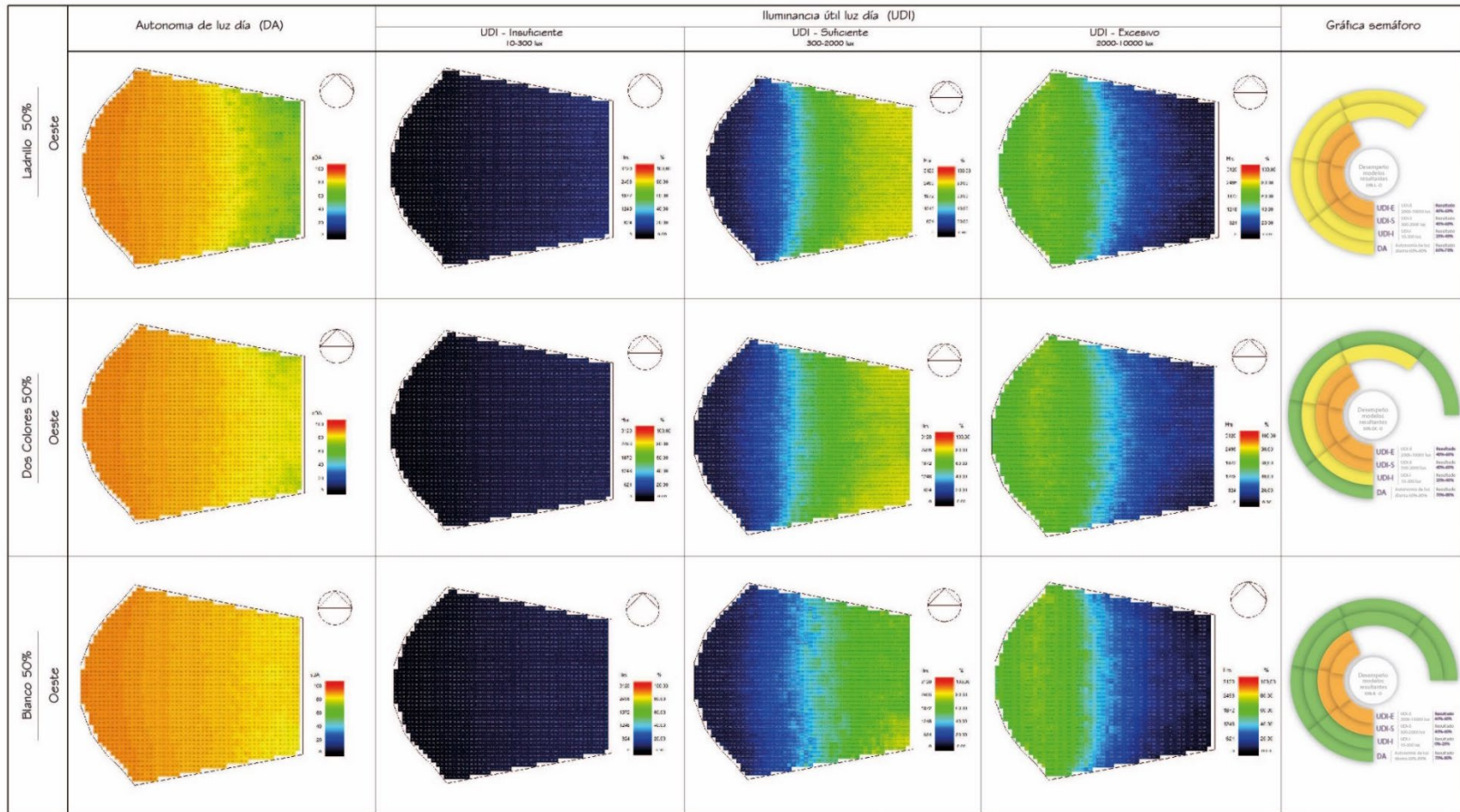
11.8. Anexo 8 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Sur



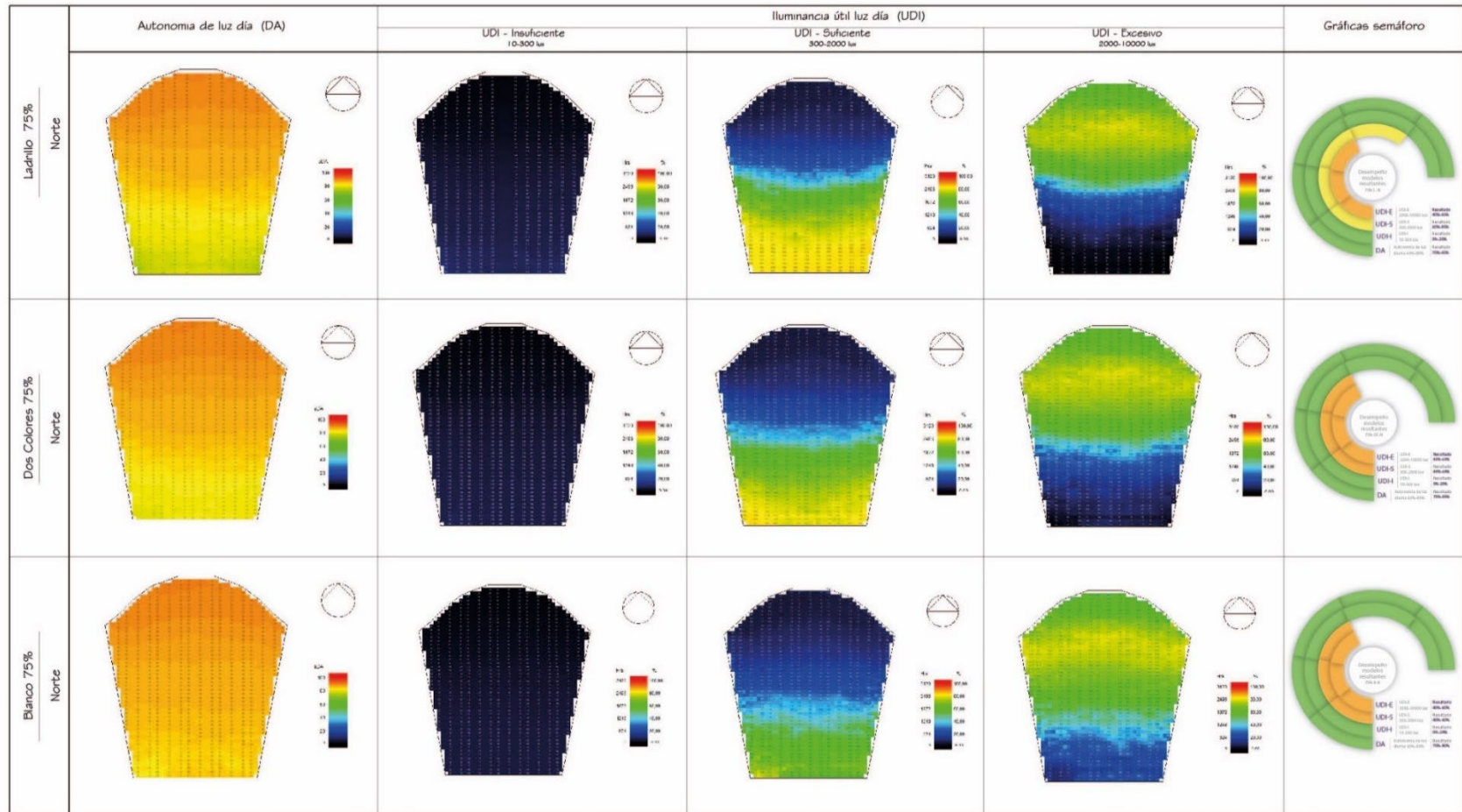
11.9. Anexo 9 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Este



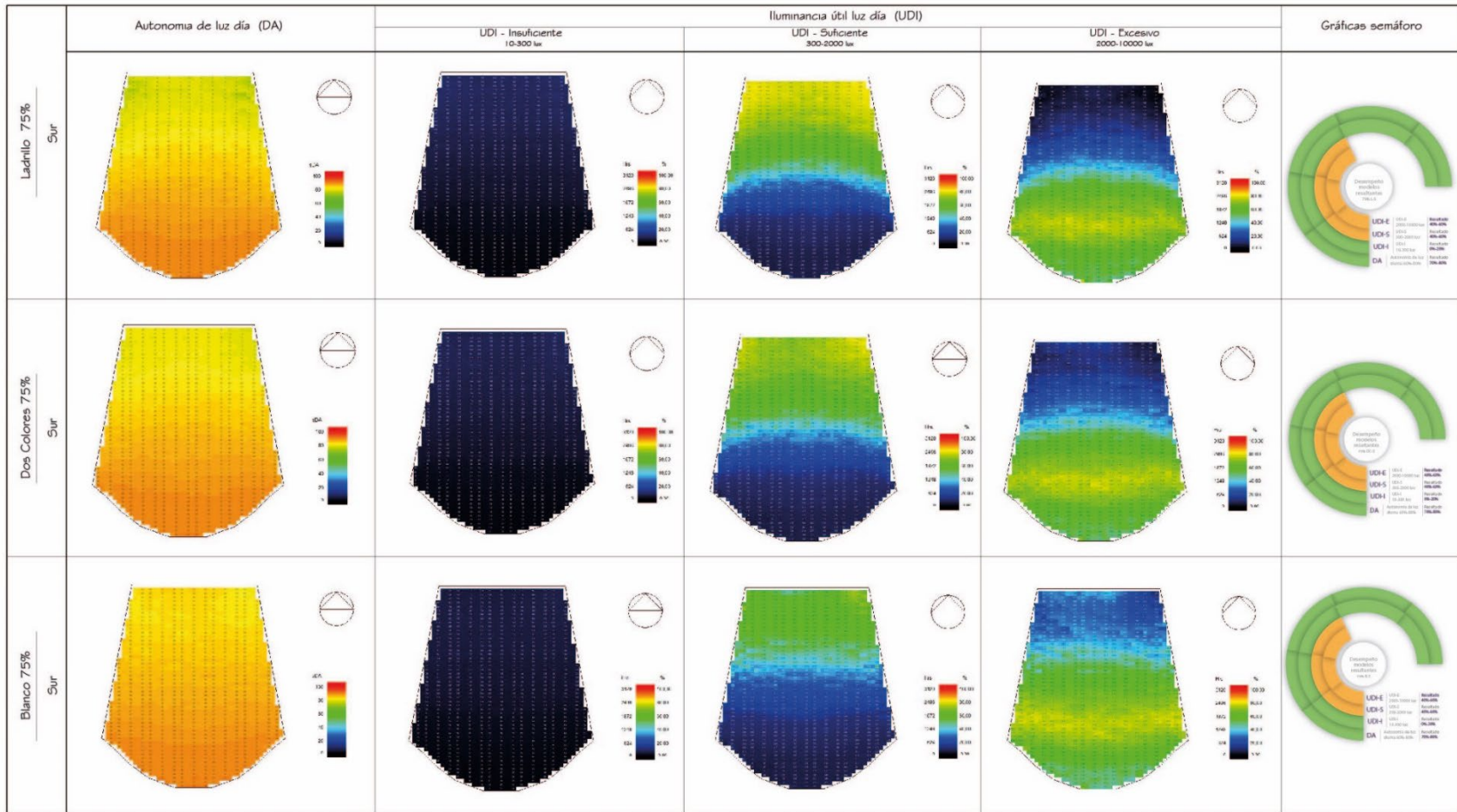
11.10. Anexo 10 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 50% Oeste



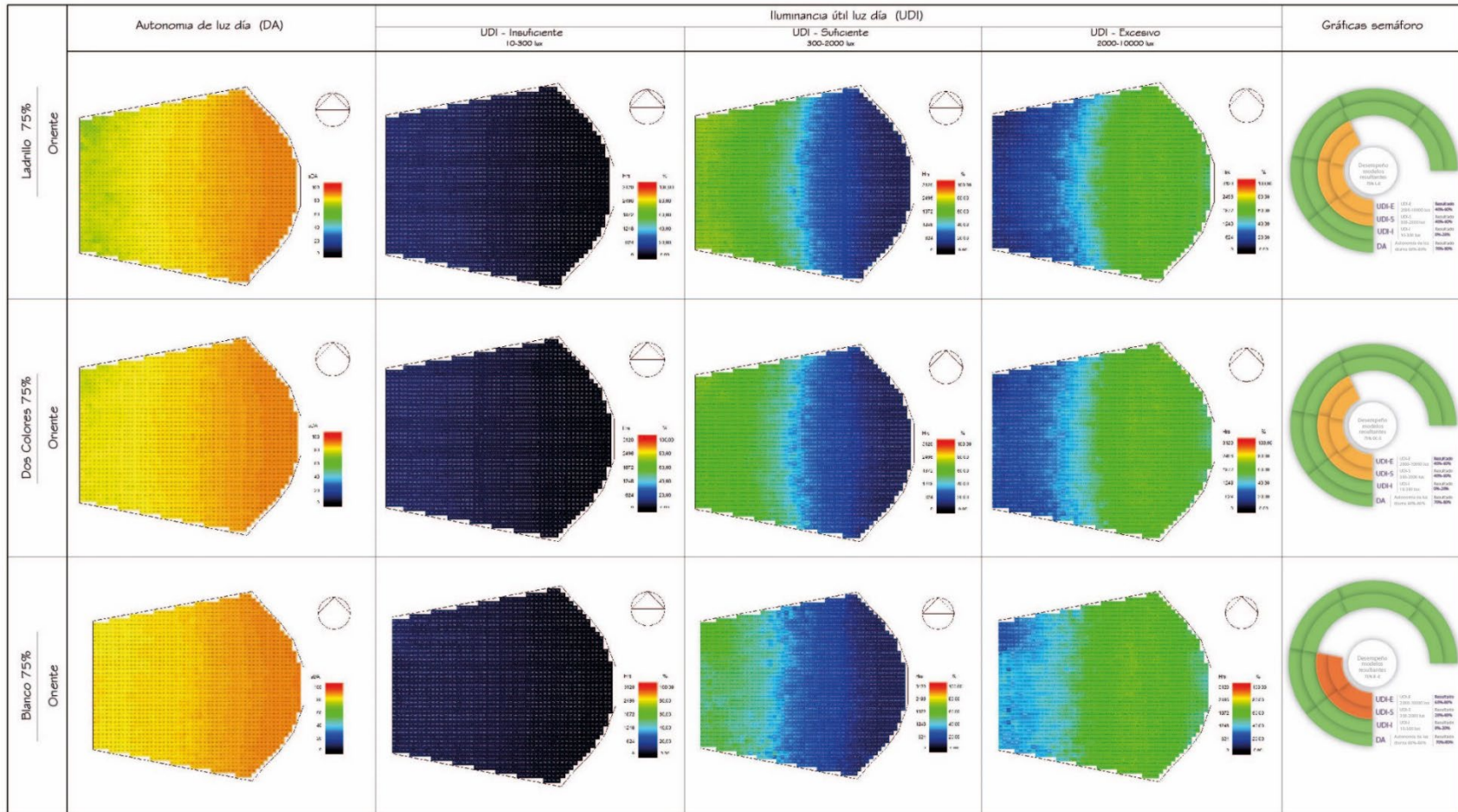
11.11. Anexo 11 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Norte



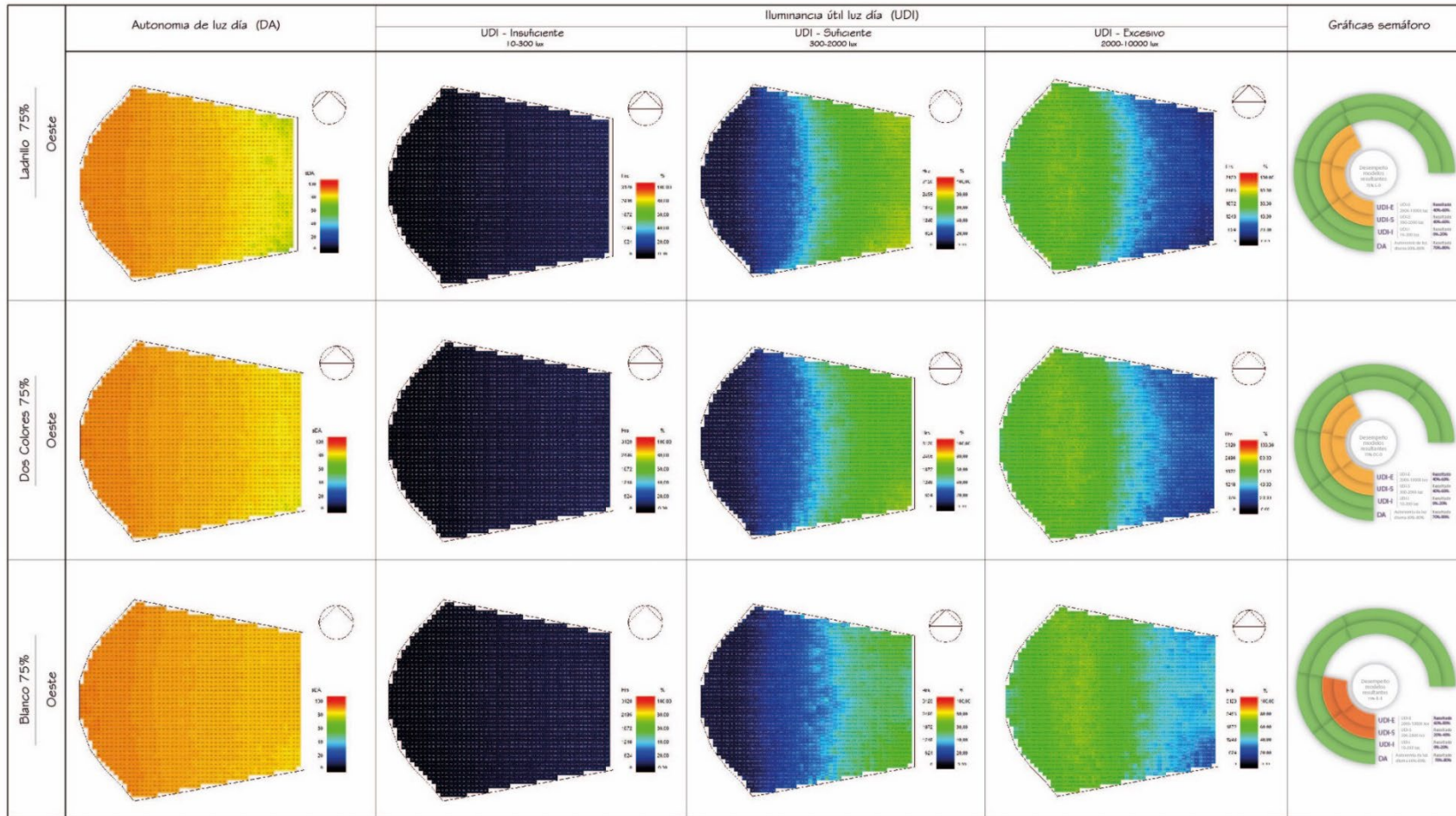
11.12. Anexo 12 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Sur



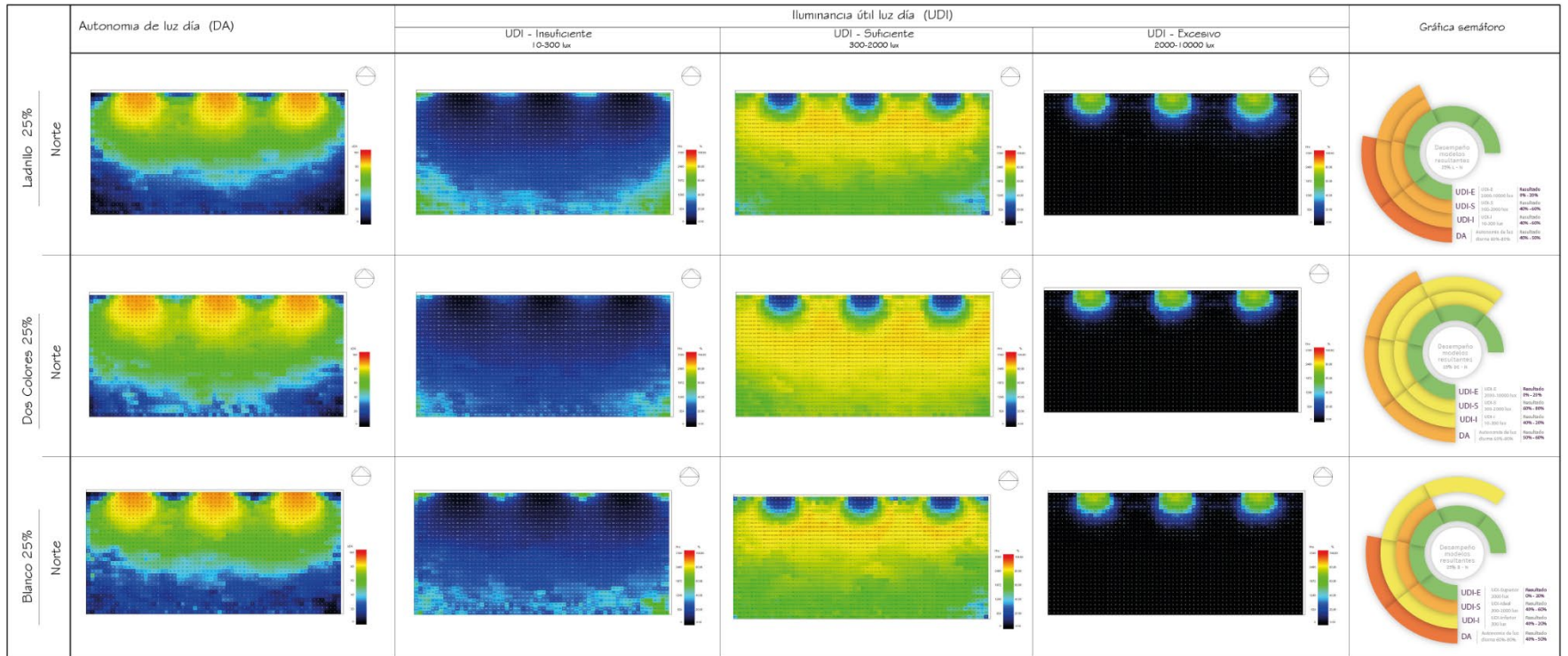
11.13. Anexo 13 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Este



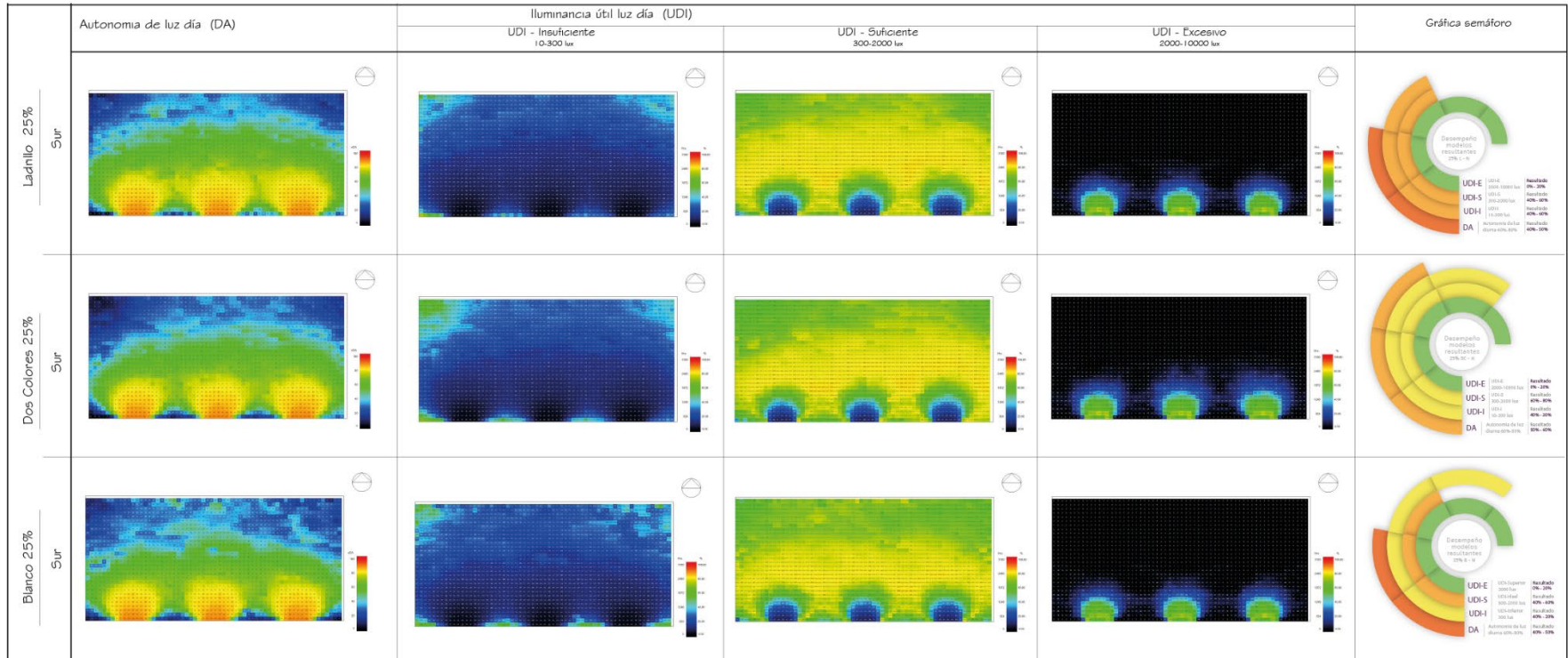
11.14. Anexo 14 Simulaciones y gráficas Aulas irregulares Ventana 75% Oeste



11.15. Anexo 15 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Norte



11.16. Anexo 16 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Sur



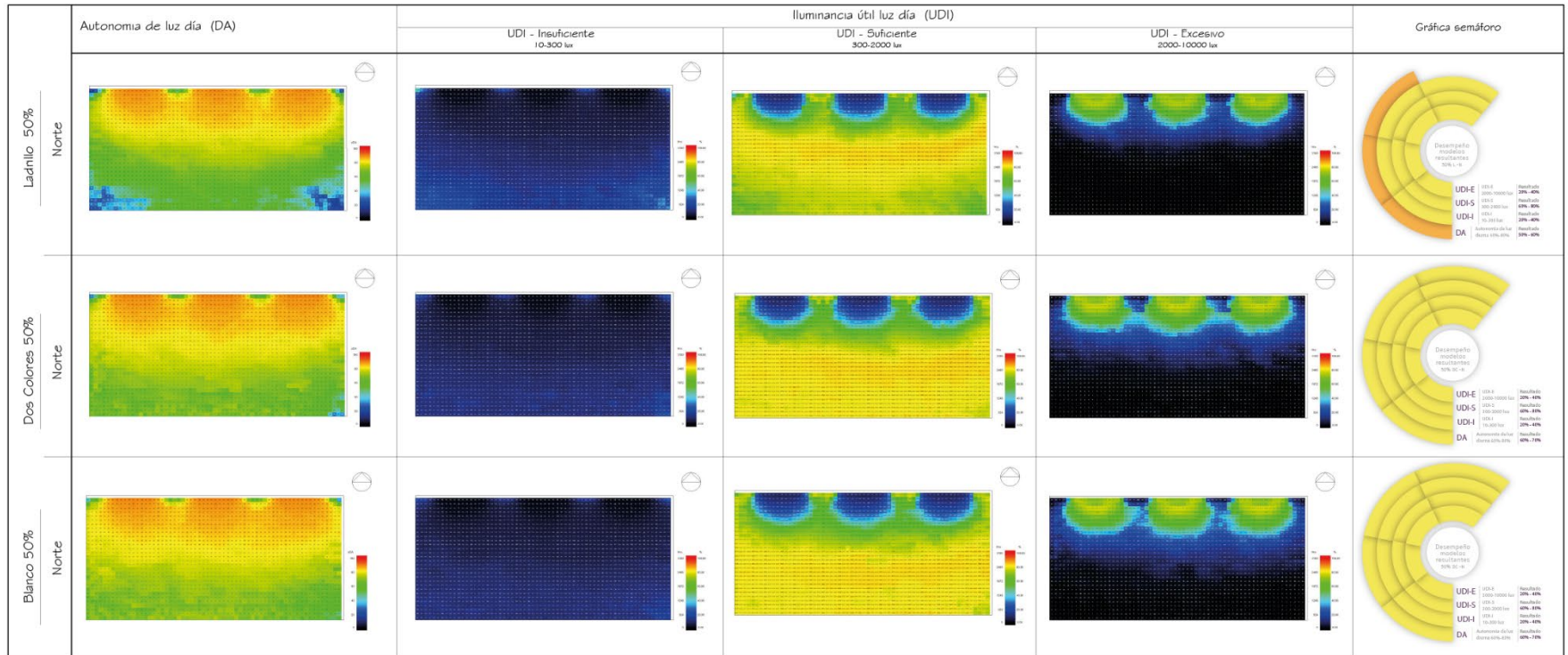
11.17. Anexo 17 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Este

	Autonomía de luz día (DA)	Iluminancia útil luz día (UDI)			Gráfica semáforo
		UDI - Insuficiente 10-300 lux	UDI - Suficiente 300-2000 lux	UDI - Excesivo 2000-10000 lux	
Ladrillo 25% Oriente					
Dos Colores 25% Oriente					
Blanco 25% Oriente					

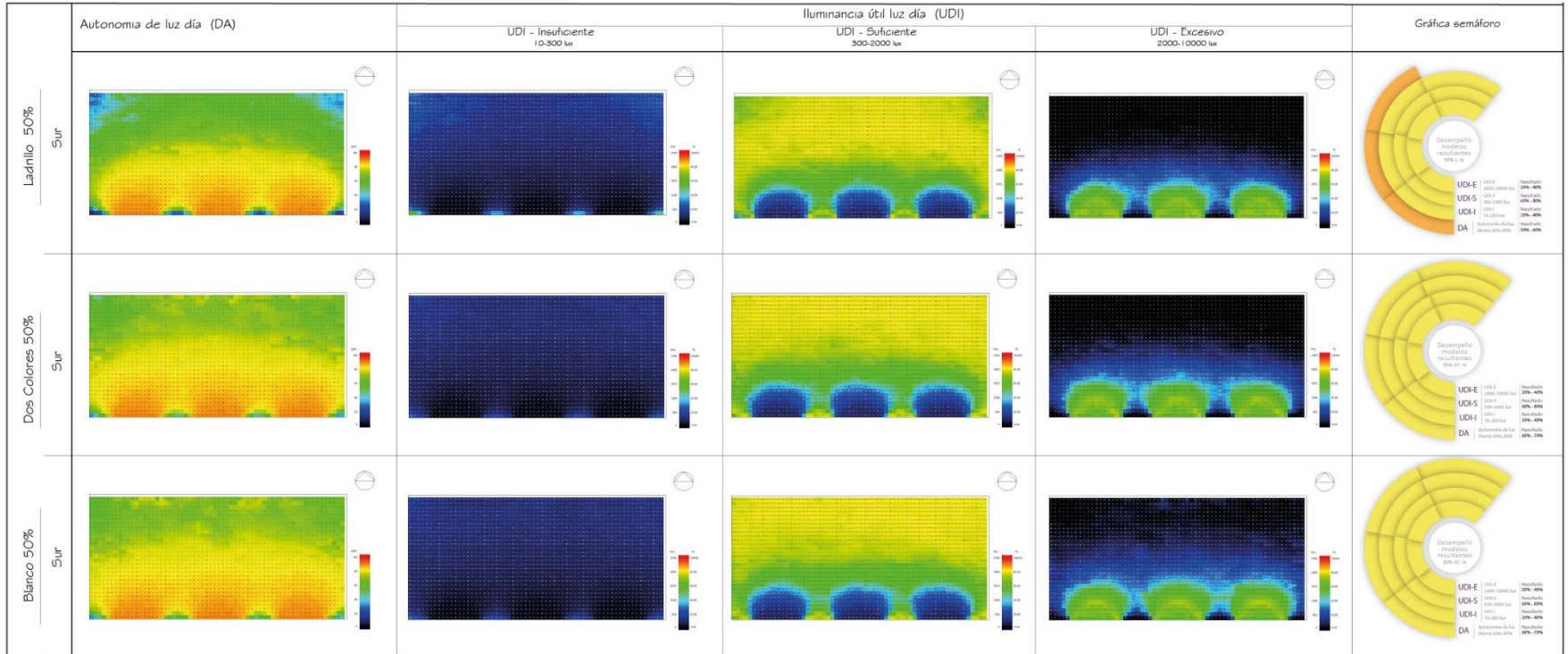
11.18. Anexo 18 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 25% Oeste

	Autonomía de luz día (DA)	Iluminancia útil luz día (UDI)			Gráfica semáforo
		UDI - Insuficiente 10-300 lux	UDI - Suficiente 300-2000 lux	UDI - Excesivo 2000-10000 lux	
Ladrillo 25% Occidente					
Dos Colores 25% Occidente					
Blanco 25% Occidente					

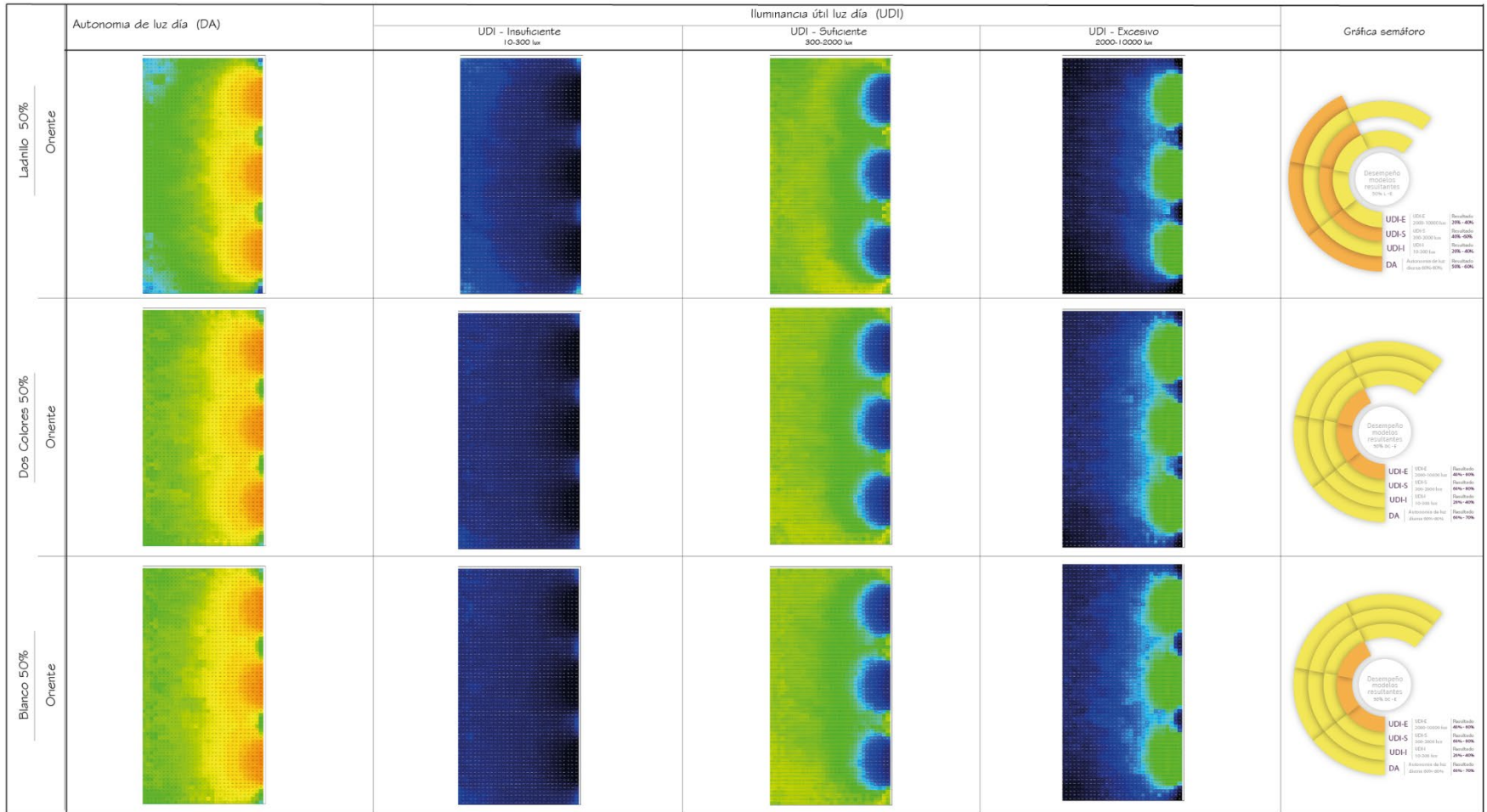
11.19. Anexo 19 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Norte



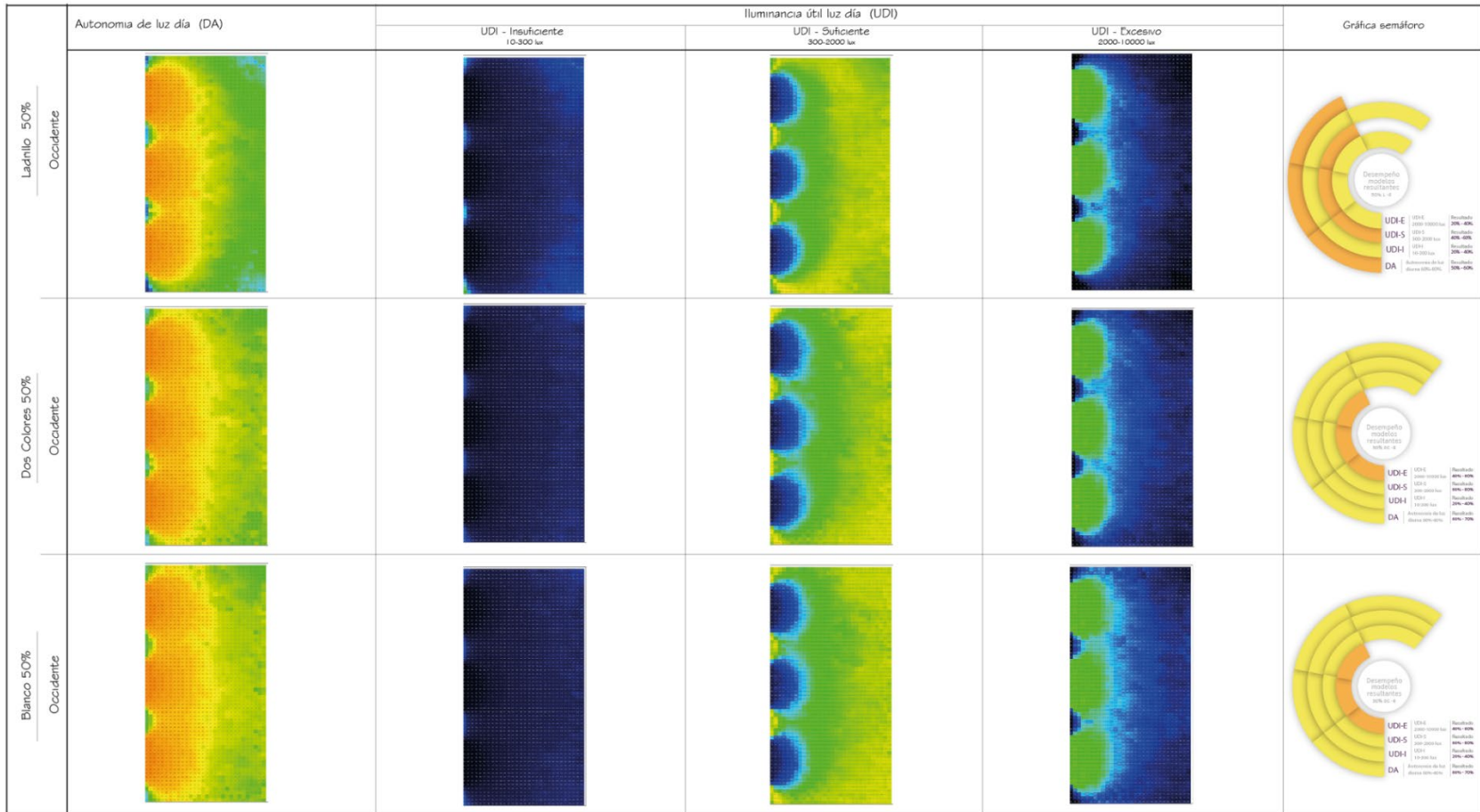
11.20. Anexo 20 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Sur



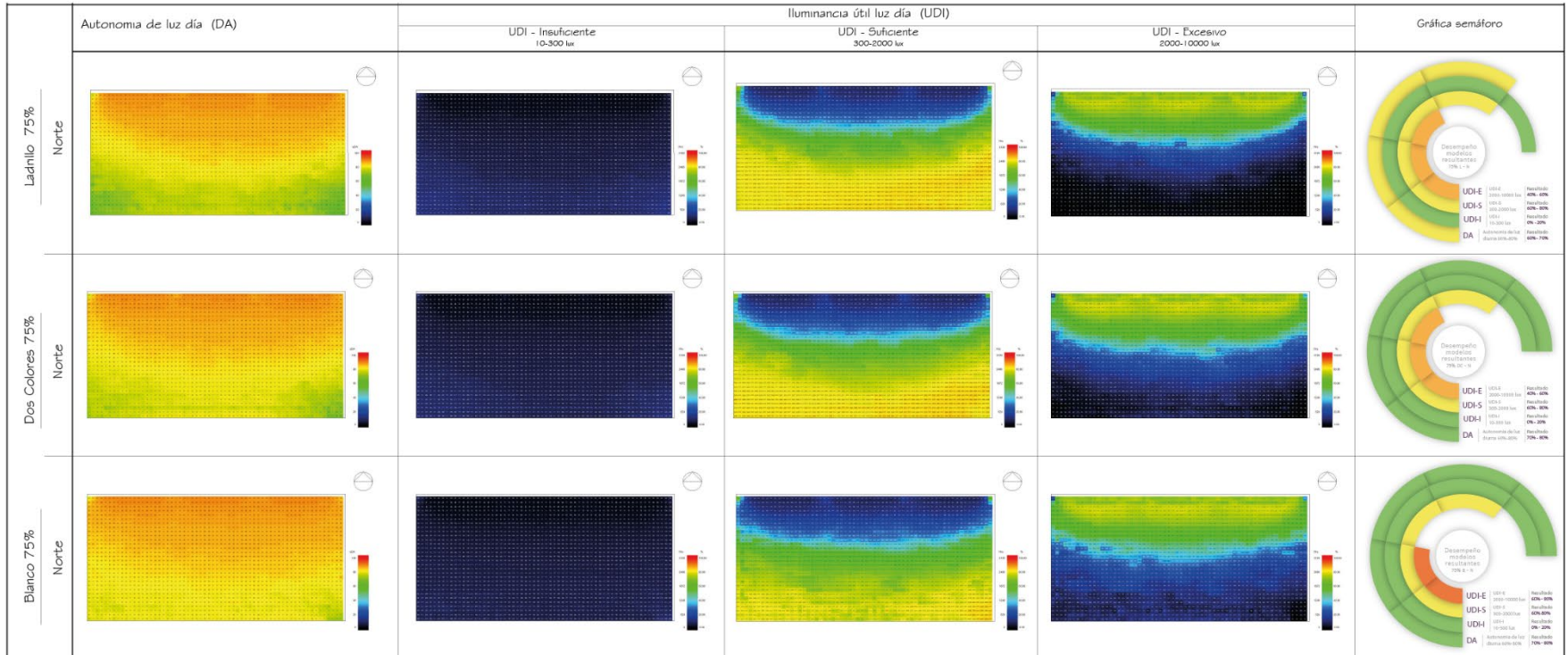
11.21. Anexo 21 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Este



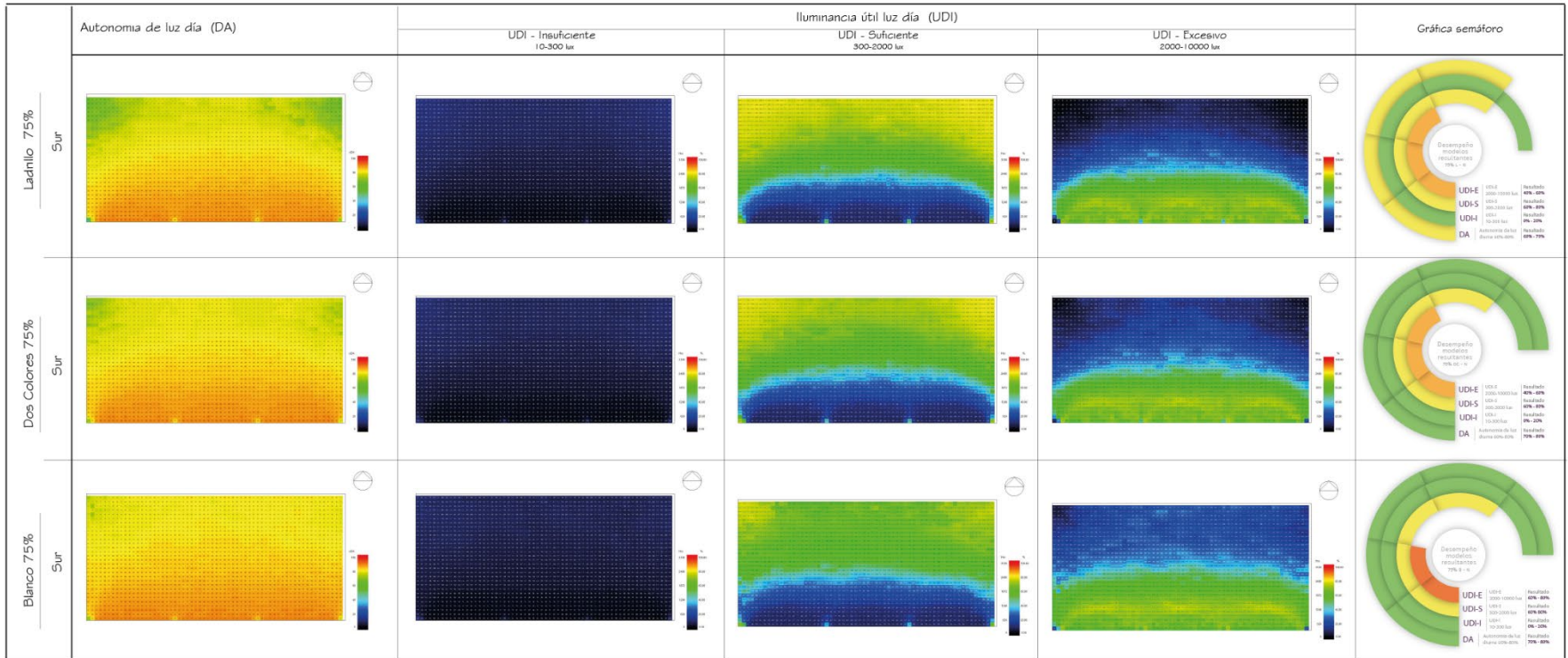
11.22. Anexo 22 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 50% Oeste



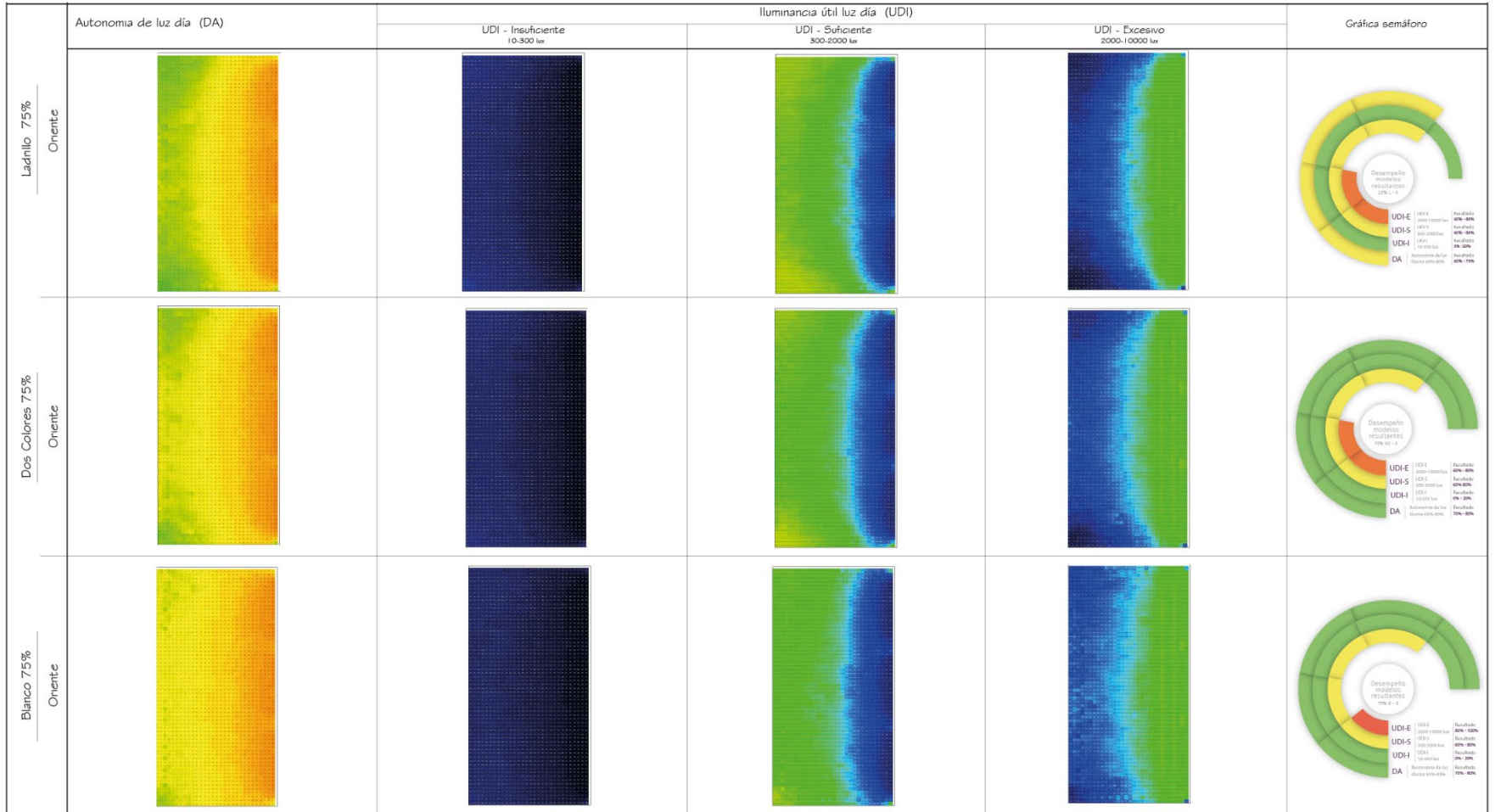
11.23. Anexo 23 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Norte



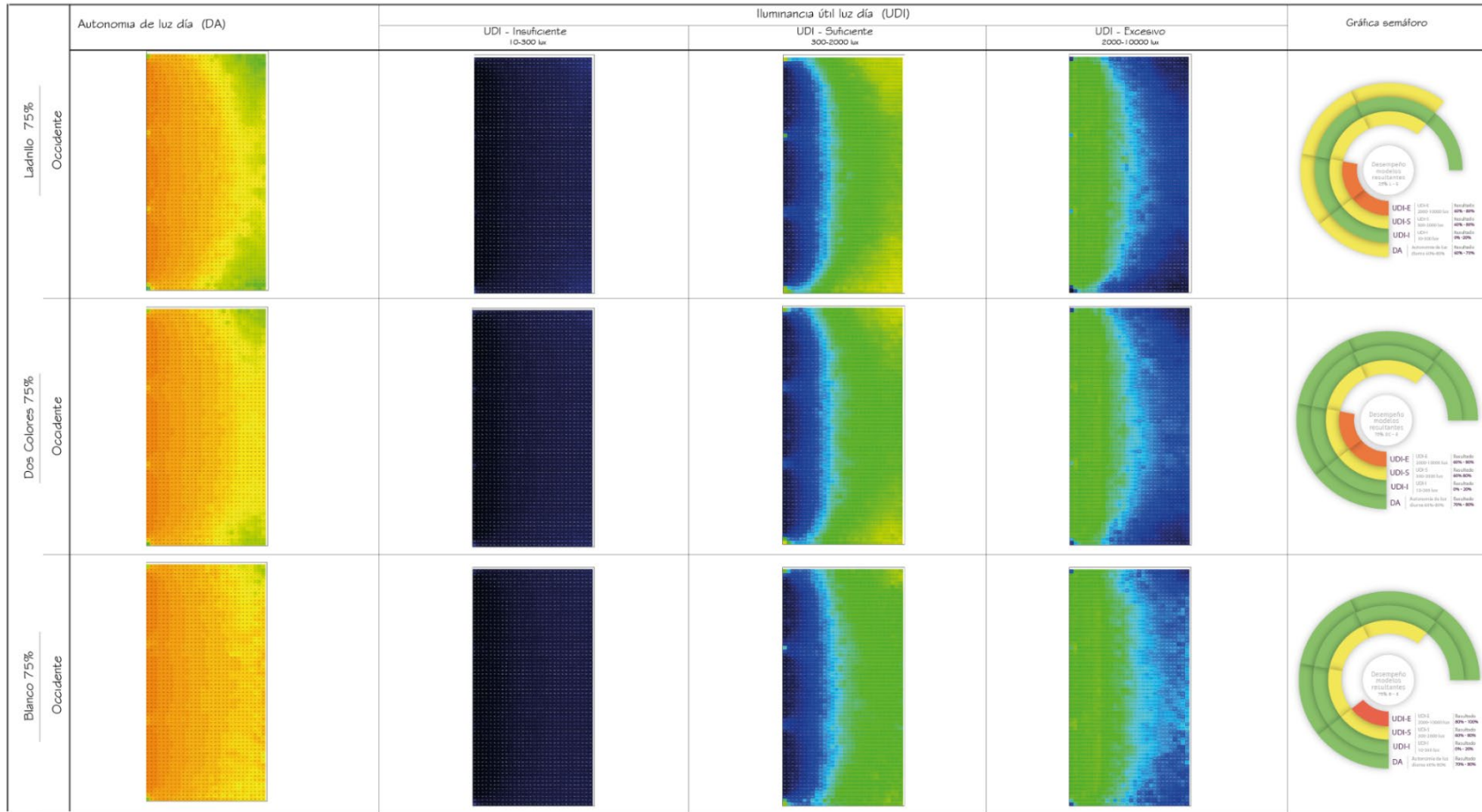
11.24. Anexo 24 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Sur



11.25. Anexo 25 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Este



11.26. Anexo 26 Simulaciones y gráficas Aulas regulares Ventana 75% Oeste



Lista de referencias

- Agencia Chilena de eficiencia energética. (2012). *Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales*. Recuperado de https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/gui__a_gceeduc_-_baja
- Alcazar, M.C. (7 de septiembre de 2015). Confort Lumínico y visual. Prezi. Recuperado de <https://prezi.com/9dqfycq8osoe/confort-luminico/>
- Aliaga, K. (2016), Confort lumínico en las aulas de las escuelas nivel primario del barrio de chorrillos de Huancayo metropolitano ene l 2016, Huancayo, Perú. Recuperado de <https://es.slideshare.net/karlaaliagaatencio/tesis-confort-lumnico-karla-aliaga-atencio>
- Arquima. (30 de octubre de 2018). Qué es la arquitectura sostenible. Recuperado de <https://www.arquima.net/que-es-la-arquitectura-sostenible/>
- Atecos. (2014). Principios de diseño bioclimático: iluminación natural. Academia. Recuperado de https://www.academia.edu/11567614/PRINCIPIOS_DE_DISE%3%91O_BIOCLIM%3%81TICO_ILUMINACI%3%93N_NATURAL
- Building Smart. (s.f). ¿Qué es BIM? Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- Comité español de iluminación (CEI), (2005), *Guía técnica aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Recuperado de

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf

Decreto 1860/1994, agosto 5. Ministerio de educación. (Colombia). 15/marzo(2020).

Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-172061_archivo_pdf_decreto1860_94.pdf

Eadic, (2015), Tema 3 Arquitectura bioclimática, Madrid, España. Recuperado de

<http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>

Esarte, A. (16 de enero de 2020). Metodología BIM. Recuperado de

<https://www.espaciobim.com/metodologia-bim>

Fondo Nacional de Desarrollo Científico y tecnológico. (2016). Aula Ambiental. Recuperado de

http://aulambiental.ubiobio.cl/?page_id=122

Garrido, L (2019). *Manual de arquitectura ecológica. arquitectura y salud*. Buenos aires, Argentina: Nobuko.

Gonzalo, G.E. (2015). Condiciones de habitabilidad y confort en edificios escolares. iluminación

natural en aulas de escuelas de Tafi del valle, Tucumán. (Universidad Nacional de

Tucumán, Trabajo de maestría). Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/292995621_CONDICIONES_DE_HABITABILIDAD_Y_CONFORT_EN_EDIFICIOS_ESCOLARES_ILUMINACION_NATURAL_EN_AULAS_DE_ESCUELAS_DE_TAFI_DEL_VALLE_TUCUMAN

Hildebrandt Gruppe, (7 de diciembre de 2015). Elementos que definen el confort higrotérmico en un edificio. Recuperado de <http://www.hildebrandt.cl/elementos-que-definen-el-confort-higrotermico-en-un-edificio/>

Huellas de arquitectura (12 de septiembre de 2018). Medidas activas y pasivas en la arquitectura bioclimática. Recuperado de <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2018/09/12/medidas-activas-y-pasivas-en-la-arquitectura-bioclimatica/>

InnovaChile (2012). *Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos*. Recuperado de http://arquitectura.mop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif%20Publicos_Parte1.pdf

Isoverblog. (25 de septiembre de 2017). Ciclos de vida de los edificios y la importancia de cuidar el planeta – DAP TIPO III. Recuperado de <http://www.isoverblog.es/ciclos-de-vida-edificios-dap/>

Márquez, T. (9 de marzo de 2015). Simulación energética en edificación. Recuperado de <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/simulacion-energetica-en-edificacion/>

Norma Técnica Colombiana 4595/2015, noviembre 27, 2015. Ministerio de educación. (Colombia). 15/febrero/2020. Recuperado de https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-355996_archivo_pdf_norma_tecnica.pdf

Palafox, C. (2002). La falta de luz natural es la causa de muchas enfermedades. *Discovery D Salud*. Recuperado de <https://www.dsalud.com/reportaje/la-falta-de-luz-natural-es-la-causa-de-muchas-enfermedades/>

Robles, M. L.F. (2014). Confort visual: estrategias para el diseño de iluminación natural en aulas del sistema de educación básica primaria en el AMM nuevo león. (Trabajo de grado, Universidad Autónoma Nuevo León). Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/4497/1/1080253695.pdf>

Rodríguez, P. (2014). Efectos de la iluminación inadecuada en la salud. El nacional. Recuperado de <https://elnacional.com.do/efectos-de-la-iluminacion-inadecuada-en-la-salud/>

San Juan, G. (2014). *Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Aprendizaje-en-las-escuelas-del-siglo-XXI-Nota-5-Auditor%C3%ADa-ambiental-y-condiciones-de-confort-en-establecimientos-escolares.pdf>

Seis cubos. (15 de febrero de 2020). Métodos de análisis dinámicos. Recuperado de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/metodos-de-analisis-dinamicos>

Siber ventilación inteligente. (2017). Salud y confort. Recuperado el 6 de marzo del 2020 en <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/que-es-el-confort-en-la-arquitectura/>

Significados. (26 de febrero de 2017). Significado de confort. Recuperado de <https://www.significados.com/confort/>

Sisternes, A. (16 de diciembre del 2019). Diseño pasivo: Concepto, ventajas y desventajas. Recuperado de <https://retokommerling.com/disenio-pasivo/>

Silvestre, E. (2014). *Vivir sin tóxicos*. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=kf_NDwAAQBAJ&pg=PT61&lpg=PT61&dq=do

RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT LUMÍNICO EN AULAS ACADÉMICAS
NUEVAS Y EXISTENTES

7

ctor+hollwich+iluminacion+natural&source=bl&ots=NJzFTfmXLf&sig=ACfU3U1MBd
eibMHO4jxlaoQHP35Umb9pyw&hl=es-
419&sa=X&ved=2ahUKEwjswpus19bnAhXrnuAKHXXbDoEQ6AEwAHoECAwQAQ#
v=onepage&q=doctor%20hollwich%20iluminacion%20natural&f=false

Lista Bibliográfica

CEN Europea luz normalizada (EN 17037), diciembre 17, 2018. Cen european daylight standard.

(Europa). 19/noviembre/2020. Recuperado de

<https://velcdn.azureedge.net/~media/marketing/ee/professional/28mai2019%20seminar/veluxen17037tallinn28052019.pdf>

Colegio Rochester. (2016). El colegio Rochester como texto vivo de aprendizaje. Recuperado de:

<https://rochester.edu.co/wp-content/uploads/2018/09/Cartilla-Cientifica-Rochester.pdf>

García, V. (2016). *Confort ambiental en escuelas públicas de Cali*. Cali: Universidad del Valle

Ingeniería de la edificación. (2016). Estrategias bioclimáticas para mejorar la eficiencia

energética en edificios. Recuperado de <https://angelsinocencio.com/estrategias-bioclimaticas-mejorar-eficiencia/>

Ministerio de educación. (Enero del 2016) Colegio 10, Lineamientos y recomendaciones para el diseño arquitectónico del colegio jornada única... Recuperado de

https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-355996_archivo_pdf_colegio_10.pdf

Norma española UNE-EN 12464-1, octubre, 2003. Comité técnico AEN/ CTN 72. (España).

19/noviembre/2020. Recuperado de https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf

Quintero, J. (2005). Ambientes escolares saludables *Revista Salud Publica.*, 17(2), 12-13.

Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/35882>

Troncoso, J.C. (2015). Elevado gasto energético en edificios por concepto de climatización.

Revista EMB Construcción. Recuperado el 6 de marzo del 2020 de

<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3318&ni=elevado-gasto-energetico-en-edificios-por-concepto-de-climatizacion>

Universidad Pontificia Bolivariana. (2015). Guía para el diseño de edificaciones sostenibles.

Recuperado de

https://www.metropol.gov.co/ambiental/Documents/Construccion_sostenible/Guia-4-GCS4EdificacionesSostenibles.pdf

Zapata, C. (2018). *Comodidad ambiental en las aulas escolares*. Bogotá: Universidad de La Salle.