



**XV ENCAC** Encuentro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encuentro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **DISCONFORT LUMÍNICO Y TÉRMICO GENERADO POR LA PROGRAMACIÓN DE LAS CLASES EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLÍN**

**(1) Juan Pablo Arango\*; (2) Luisa María Barrientos\*; (3) Santiago Barahona\*;  
(4) Carolina Patiño Vasquez\*; (5) David Palacio Zapata\***

\*Estudiantes pregrado de Arquitectura -Universidad Nacional de Colombia.

(1) jupararangopl@unal.edu.co , (2) lbarrientosm@unal.edu.co , (3) sbarahonas@unal.edu.co , (4) cpatinov@unal.edu.co , (5) dpalacioz@unal.edu.co

### **RESUMEN**

El confort térmico y lumínico en las aulas tiene un efecto significativo en el rendimiento académico de los estudiantes, por tal motivo esta investigación cuantifica el disconfort acumulado por los estudiantes durante los dos periodos académicos del año 2018 en la Universidad Nacional de Colombia; para ello se cruzaron tres bases de datos que permiten cruzar información tanto administrativa como del espacio físico y simulaciones de rendimiento lumínico y comportamiento térmico de las aulas, buscando que únicamente al redistribuir las clases, mejoren las condiciones de habitabilidad y aprendizaje, sin generar cambios en la infraestructura física. Los resultados obtenidos arrojan que las horas de disconfort sufridas las tuvieron que soportar el 60% de la totalidad de estudiantes que habitan las aulas evaluadas, a su vez demuestran que entre las 8:00 am y las 10:00 am la totalidad de las aulas se encuentran en condiciones de confort óptimo y que el rango de disconfort mayor está entre las 12:00 pm y 5:00 pm. Esta tendencia permite considerar una redistribución programática de las clases que aproveche el rango de confort de las aulas de estudio.

Palabras clave: Confort adaptativo, simulaciones dinámicas, distribución programática.

### **ABSTRACT**

Thermal and visual comfort in classrooms have a significant effect on the academic performance of the students, for this reason this research quantifies the discomfort experienced by the students enlisted in the two academic periods of 2018 at the National University of Colombia; For this, three databases were crossed that allowed to cross both administrative and physical information with simulations of light performance and thermal behavior of the classrooms, hypothesizing that, with a redistribution of classes, there would be improvement of habitability and learning conditions, without generating changes in the physical infrastructure. The results obtained show that the hours of discomfort suffered were experienced by 60% of the total number of students who study in the classrooms evaluated, which in turn show that between 8:00 a.m. and 10:00 a.m. there was optimal comfort conditions in the classrooms, and that the highest discomfort range is between 12:00 pm and 5:00 pm. This tendency allows to consider a programmatic redistribution of the classes that takes advantage of the comfort range of the classrooms.

Keywords: Adaptive comfort, dynamic simulations, program distribution.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la distribución de las actividades académicas en las aulas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, son concebidas considerando variables de densidad máxima de estudiantes y disponibilidad horaria que determina en gran cantidad de casos el uso ineficiente de las aulas disponibles, muchas veces asignan las aulas con mejor iluminación a las clases con requerimientos de proyección o asignando en las horas más calientes clases con numerosos estudiantes que termina en gastos energéticos por uso de iluminación artificial, refrigeración o problemas de desconfort tanto térmico y lumínico, creando posibles problemáticas como la disminución de la concentración, la incomodidad térmica y el deslumbramiento; entorpeciendo así el proceso de aprendizaje.

Se desarrolla un estudio de caso en la Universidad Nacional de Colombia en la ciudad de Medellín, que está ubicada en 6°14'N 75°34'O, a 1495 msnm. La latitud y altitud de la ciudad dan como resultado un clima tropical monzónico (Am) templado y húmedo, con una temperatura promedio de 22°C, variando anualmente entre mínimo 17°C y máximo 28°C. La humedad relativa entre 40% y 93% y la velocidad del viento es de aproximadamente 6 m/s. (IDEAM, 2018). Donde se evalúan las aulas más representativas de dos bloques, 21 y 46 con un total de 19 aulas, agrupadas en 8 tipologías.



Figura 2. De izquierda a derecha bloque 46 y 21 respectivamente



Figura 3. De izquierda a derecha planimetría bloque 46 y 21 respectivamente

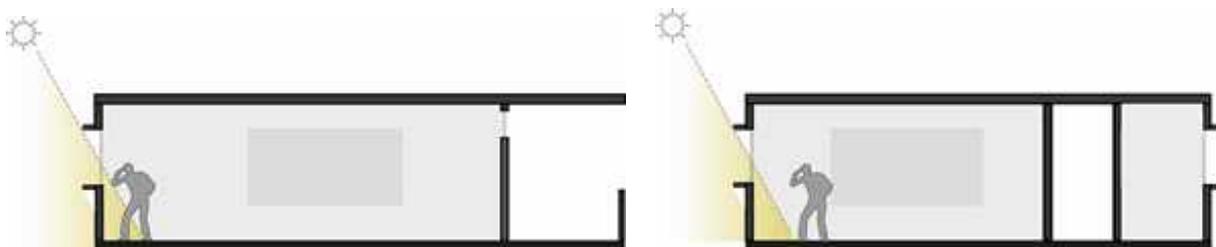


Figura 4. Secciones bloque 46 y 21

Diversos estudios han determinado desde distintas perspectivas la relevancia temática aplicada en el campo del confort térmico y lumínico para las aulas de clase; en primer lugar Matysiak (2004) fundamenta su trabajo en la preocupación por los efectos en el rendimiento escolar a causa de la temperatura en el aula pues se hace importante analizar el ambiente interior de estas y formas de disminuir los posibles efectos de desconfort en los estudiantes. Otros autores como Wong; Khoo (2003) y Buratti; Ricciardi (2009) demuestran el nivel de desconfort que puede generar el no tomar en cuenta estos valores ambientales y que a partir de estos se puedan plantear modelos de correlación de datos para determinar rangos de aceptabilidad de confort térmico en los usuarios. Se soporta en esta investigación como metodológicamente se cuantifican los valores de desconfort en relación entre las personas y el lugar.

En el contexto local, Ortega (2014) realizó un estudio piloto de la caracterización térmica de dos

aulas de la Universidad Nacional de Colombia mediante mediciones en sitio de temperatura, humedad y simulaciones de ventilación, que pretendían buscar una reprogramación del horario de clases. Se concluyó que horarios en la mañana y en tarde se encontraban en confort, mientras en medio día sufría problemas de sobrecalentamiento. Este contó con bajo alcance al tener sólo dos aulas evaluadas, por lo que se hace necesario una metodología que pueda ser aplicada al diagnóstico y organización a la totalidad de aulas con las que cuenta un campus universitario.

## 2. OBJETIVO

Cuantificar el nivel de desconfort térmico y lumínico generado durante el año 2018, al programar las aulas de la Universidad Nacional de Colombia sin priorizar las calidades ambientales de cada una de ellas, así poder estimar el potencial de mejoramiento de confort de los estudiantes, en función de una nueva distribución programática.

## 3. METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico empleó como material de base la selección de bloques con características espaciales similares como orientación, materialidad, tipología edilicia y planta arquitectónica; que permite evaluar a partir de su similitud las diferentes condiciones de cada bloque con su entorno. Se toma en cuenta la información administrativa que tiene la universidad para el planteamiento de la distribución de las clases, tomando en cuenta el horario de cada clase y el día para dictarse; a partir de lo mencionado se realizan simulaciones dinámicas de temperatura operativa, rendimiento lumínico e ingreso solar que permiten la integración de bases de datos para diagnosticar la problemática de desconfort de manera global.

### 3.1 Información física preliminar

Se realizó una revisión de la información planimétrica con el fin de reconocer posibles tipos de:

**Bloques:** Los factores que se tuvieron en cuenta para la definición de 2 bloques en el campus universitario fueron su similitud en la ubicación norte - sur, la planta rectangular, tipología de patio central, materialidad: estructura en concreto, cerramiento en mampostería y vidrio, cuatro pisos y su destinación especial a cursos teóricos.

**Aulas:** Se consideró para la definición de 8 tipologías, el nivel de piso en el que se ubican, la orientación con respecto a los puntos cardinales, las dimensiones del aula, el número y tipo de ventanas y su disposición espacial respecto a cada uno de los bloques (adosado, al lado de un corredor y la disposición de sus fachadas).

**Cursos:** se encontró la clasificación de los cursos divididos por dos categorías, teóricas y prácticas, diferenciándose únicamente por el tipo de mobiliario utilizado y la posible carga calórica por la interacción entre las personas con sistemas electrónicos. Se seleccionan únicamente cursos con destinación teórica y de lunes a sábado.



Figura 4. Bloque 46 y 21 dentro del campus.

### 3.2 Criterios de clasificación

Se hizo la integración de dos bases de datos que permiten cruzar información administrativa y del espacio físico; con resultados de confort en las aulas. Éstas se organizan de la siguiente manera:

**Cursos:** Es la base de datos con la que se realiza la distribución programática día a día y hora a hora en el semestre; presenta datos como el nombre del curso, cupo teórico del aula y número de inscritos en el curso, el día en que se dicta, su hora de inicio y finalización, así como la nomenclatura de su ubicación física en el bloque.

Salones: Definición de 8 tipologías con el fin de acotar y agrupar las aulas para la modelación energética y lumínica. En esta base de datos se encuentran, el nivel de piso, el número del salón, su clasificación en tipo, la orientación, la existencia de superficie de sombreado o no, el tipo de actividad, y promedio de inscritos.

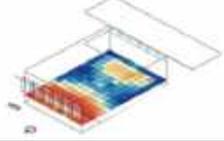
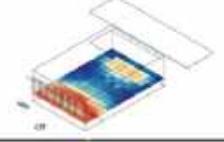
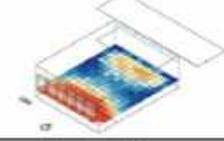
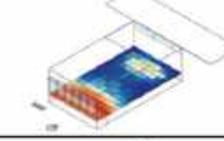
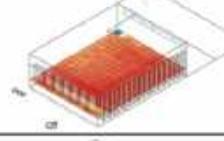
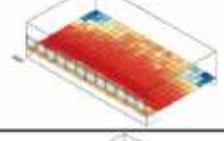
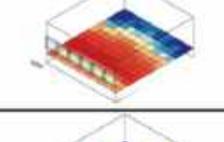
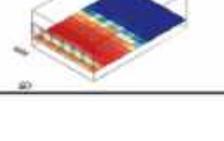
Tipología	Dimensiones	Bloque donde se ubica	Capacidad física
A 	5,85x8,69x3m	46	72
B 	5,90x8,90x3m	46	40
C 	6,87x8,68x3m	46	46
D 	5,00x8,85x3m	46	30
E 	6,90x8,85x3m	46	47
F 	11,80x6,80x3m	21	74
G 	5,90x6,55x3m	21	35
H 	5,90x8,64x3m	21	30

Figura 5. Características Físico-espaciales de las Tipologías

Características físicas simuladas: A partir de la definición de tipologías se dieron los siguientes datos; el tipo de salón, la fracción de ventana operable, metros cuadrados de ventilación adicional (no translúcido), coeficiente de fricción de ventilación adicional, capacidad física de la tipología, y la ocupación promedio.

Para el estudio realizado no se tiene en cuenta la orientación de las tipologías a pesar de que el mayor ingreso solar sea por el sur, todas las aulas cuentan con dispositivos de sombreado por lo que los resultados generan métricas similares entre tipologías.

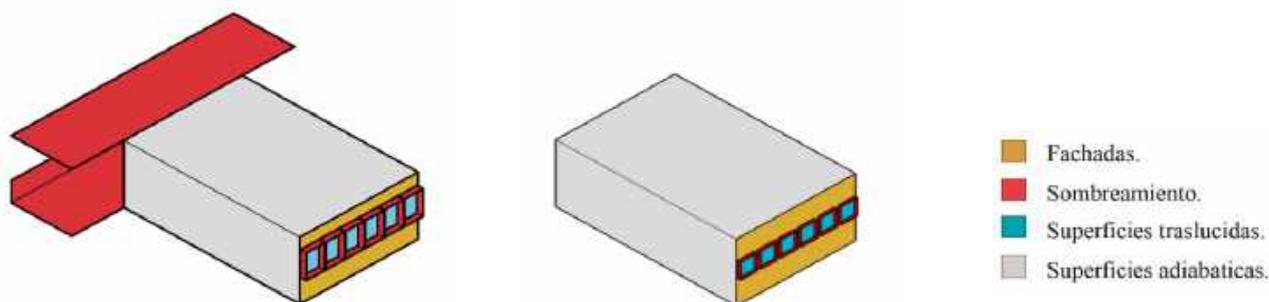


Figura 6: Tipologías Representativas simuladas bloque 46 y 21 respectivamente

### 3.3 Características de los modelos

Se tomó como unidad de estudio las aulas, por lo que se modelaron independientes como 1 zona térmica y lumínica con las superficies de techo, piso y muros laterales como adiabáticas. Todos los parámetros lumínicos y térmicos de este modelo, como coeficientes de reflexión de las superficies opacas, y los coeficientes de Transmisión Visual, SHGC y Valor U de las superficies translúcidas se visualizan en la Tabla 2:

Opacas	Superficies	Reflectividad	Valor R (SI) [W/m. K]	Translúcidas	Superficies	Reflectividad	SHGC	U-Value
	Muros Exteriores	0.5	1.5		Ventana	0.2	0.9	5.8
Muros Divisórios	0.5	-						
Techo	0.6	-						
Piso	0.3	-						
Contexto	0.5	-						

Tabla 2– Características de los materiales utilizados en la simulación computacional. Superficies sin valor R corresponden a condiciones adiabáticas.

### 3.4 Métricas de evaluación

El rendimiento lumínico se evaluó empleando la Iluminación de Luz Día Útil (UDI) Nabil; Mardaljevic (2006), esta es una métrica de disponibilidad de luz día que corresponde al porcentaje del tiempo ocupado cuando la luz diurna cumple con un rango objetivo de iluminaciones en un punto de un espacio.

Para medir el ingreso solar se implementó la Exposición Solar Anual (ASE) Illuminating Engineering Society (2013), que indica el porcentaje del plano de trabajo horizontal que excede un nivel de iluminancia directa de la luz solar especificado, más un número específico de horas por año durante un programa diario específico con todos los dispositivos de sombreado operables retraídos. En éste estudio se presenta los valores de ASE en m2.

El desempeño térmico del aula se cuantificó empleando la Temperatura Operativa ( $T_o$ ) resultante de la simulación con EnergyPlus. Además, se cualifica el estado de confort filtrando la temperatura operativa con respecto a los rangos de confort adaptativo antes mencionados.

Las luminancias de luz día en el rango de 100 a 300 lux se consideran efectivas ya sea como la única fuente de iluminación o junto con la iluminación artificial. Las iluminaciones de luz diurna en el rango de 300 a alrededor de 2000 lux a menudo se perciben como deseables (MARDALJEVIC, 2006).

Con el propósito de conocer el número de estudiantes afectados, se calcula el Discomfort Acumulado en Horas por el Estudiante (DAHE), relacionando las características dimensionales y proporcionales del aula con su capacidad de ocupación y su condición de confort durante el transcurso del día; lo que permitió relacionar el estado térmico del aula en horas específicas con el número de estudiantes que la ocupan en esas horas determinadas. Esta métrica evidenciará entonces el número de personas que estarán en discomfort, diferente al número de horas que estará en discomfort el aula.

A partir de estos dos análisis, se determina las franjas horarias del confort térmico y lumínico. Se define un rango de confort térmico adaptativo a partir de los datos proporcionados por el plugin Ladybug para Grasshopper que implementa una versión nativa de la herramienta Berkeley Comfort Tool, CBE (2017). Se concluye que, para la semana más caliente el rango de confort se encuentra entre 22,3°C y 27,3°C y para la semana más fría entre 21,56°C y 26,62°C, rangos con los cuales es posible estimar los horarios en estado de discomfort.

Se utilizaron programas de simulación paramétricos implementando EnergyPlus (NREL, [s.d.]

como motor térmico siendo una de las herramientas de simulación más eficientes y confiables que modela intercambios energéticos entre diferentes superficies teniendo en cuenta la multiplicidad de variables; y Radiance (WARD, [s.d.]) como motor de iluminación de luz día; ambos integrados en los plugins de Ladybug y Honeybee Roudsari, Sadeghipour(2009). Posteriormente fueron analizados y graficados los resultados haciendo uso de programas de hojas de cálculo.

### **3.5 Simulaciones**

Se ejecuta una revisión sobre el comportamiento térmico y lumínico de las tipologías de salones obtenidas, con el fin de generar un promedio para cada día y época del año; para reconocer el desconfort que se presenta en cada espacio. Para los resultados térmicos se simularon las semanas más críticas según lo obtenido en el archivo climático recolectado en dos semanas; es decir 7 días que se promedian hora a hora para obtener los rangos más extremos; la semana más fría y la más caliente; para tener dos series de 11 datos en 11 horas analizadas, dando como resultado un total de 22 datos para el análisis térmico.

Para el análisis lumínico y solar se toman 2 días de cada mes (1 y 15), exceptuando los días entre enero y diciembre al no presentar actividad académica, evaluando 11 horas por día y promediando la información de estos 20 días para determinar el promedio del salón en todo el año.

#### **3.5.1. Variables**

Se identificaron tres variables globales: Tipología de Aula, condiciones de sombreado y orientación que generaron un total de 32 simulaciones permitiendo explorar las 19 aulas estudiadas.

- 1) 8 Tipologías de Aula donde se determina sub-variables como capacidad promedio, coeficiente de apertura de ventana, coeficiente de fricción de ventilación y área de ventilación adicional.
- 2) 2 Condiciones de sombreado donde se determina si el aula posee sombra por efectos del contexto o no; es decir si se encuentra cerca a otros edificios o si el aula específicamente por su ubicación espacial dentro de la edificación está posicionado en un lugar que pueda generar un sombreado adicional.
- 3) 2 Orientaciones determinadas en este caso por la disposición Norte-Sur.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Con el fin de entender los resultados globales del estudio, se presentarán los datos térmicos y lumínicos obtenidos por las simulaciones de la semana más caliente, siendo más pertinentes en nuestro contexto geográfico. En cuanto al comportamiento térmico, se hace evidente como entre las 8:00 am y las 6:00 pm las aulas se encuentran en un ambiente de desconfort, con algunos casos donde la zona de confort se extiende hasta las 10:00 am, como en la tipología C. Con respecto a la información lumínica se presenta que las únicas horas que se encuentran debajo del confort visual es en las horas de la tarde (5:00 pm a 6:00 pm), y de la mañana (6:00 am a 7:00 am) (Figura 7 y 8). De esto inferimos que, para optimizar el nivel de confort de las tipologías, es necesario utilizar la mayor cantidad de ocupación en el mejor rango horario térmico (6:00 am a 8:00 am), y disminuir las clases que se encuentran entre las 12:00 am a 4:00 pm.

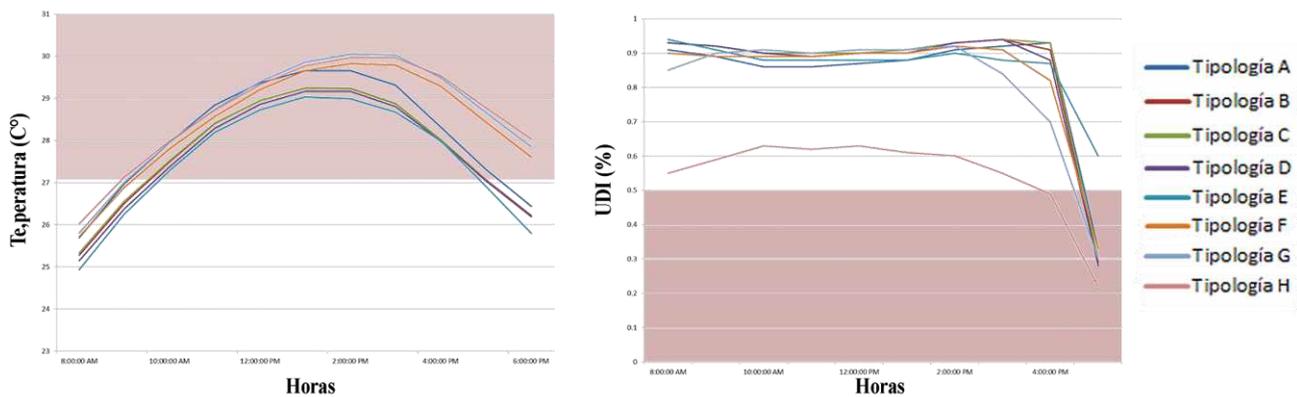


Figura 7 y 8. Representación de los valores de desconfort térmico y lumínico en un día típico. En rojo, las horas en desconfort.

Se encuentra entonces que, en promedio, de las 12 horas en que hay disponibilidad lumínica para dictar clase (6:00 am a 6:00 pm), 8 de ellas están en desconfort térmico, y 3 en lumínico, por lo cual el análisis de estos datos se enfocara en el desconfort térmico, dado que el desconfort lumínico es causado principalmente por el contexto geográfico del estudio. Si los estudiantes inscritos se distribuirán equitativamente en estas condiciones, 60% de ellos estarían afectados. Sin embargo, tanto la distribución de las clases en las distintas tipologías como la infraestructura de estas aumentan el porcentaje de desconfort al que se ven expuestos los estudiantes, como en el caso de la tipología H, que posee un porcentaje de ocupación (relación del número de estudiantes con capacidad física del aula) del 98.86%, siendo esta la tipología que presentó un porcentaje de mayor tiempo en desconfort lumínico y térmico.

Al cruzar estos datos con las bases de datos de ocupación de los bloques, se demuestra que en total un tercio de las clases dictadas entran en las horas de desconfort. Sin embargo, la ocupación de las horas de mayor confort térmico no son optimizadas. Como fue previamente mencionado, en el mejor de los casos la distribución de las clases implicaría que aquellas que poseen la mayor cantidad de estudiantes se encontrarán en las horas de la mañana, representando un porcentaje de tiempo ocupado (Figura 11). En total, se presenta un aumento de desconfort de 6.8% en las clases dictadas, sin contar el número de estudiantes.

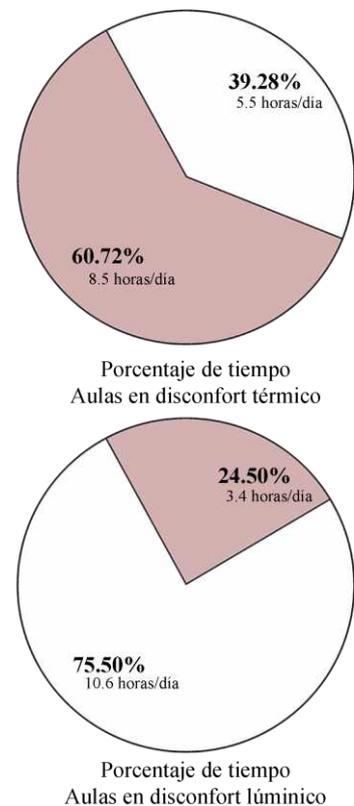


Figura 9 y 10. Porcentaje de desconfort térmico y lumínico total en las aulas.

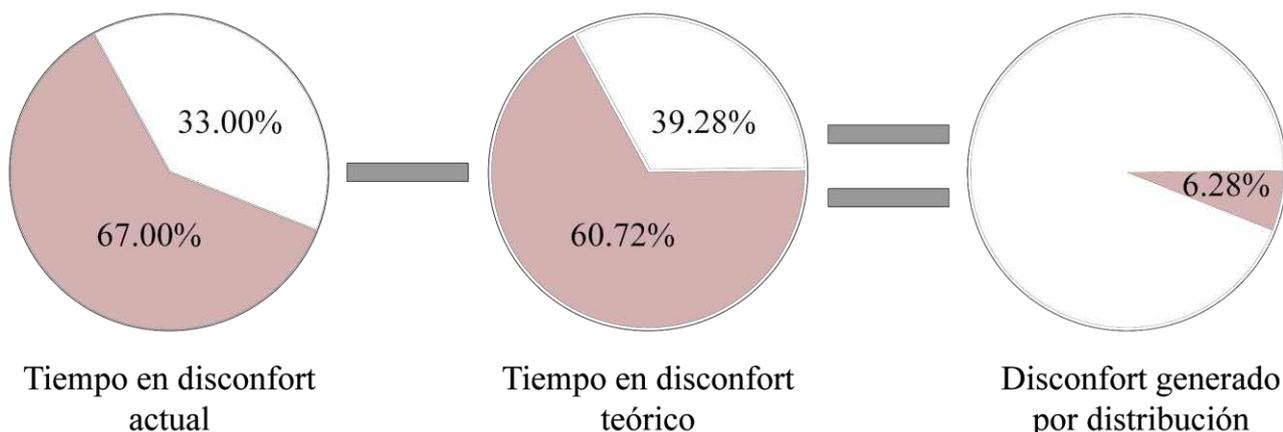


Figura 11. Porcentaje de discomfort térmico causado por la distribución administrativa

Se pueden llevar a cabo otros cambios en la distribución administrativa de las clases; actualmente en todas las tipologías no se optimizan las horas de mayor rendimiento térmico, tanto las horas de la mañana como de la tarde; están llegando a un 49.75% de rendimiento, generando que el 32.82% de las clases dictadas están en horas de discomfort cuando se podrían redistribuir.

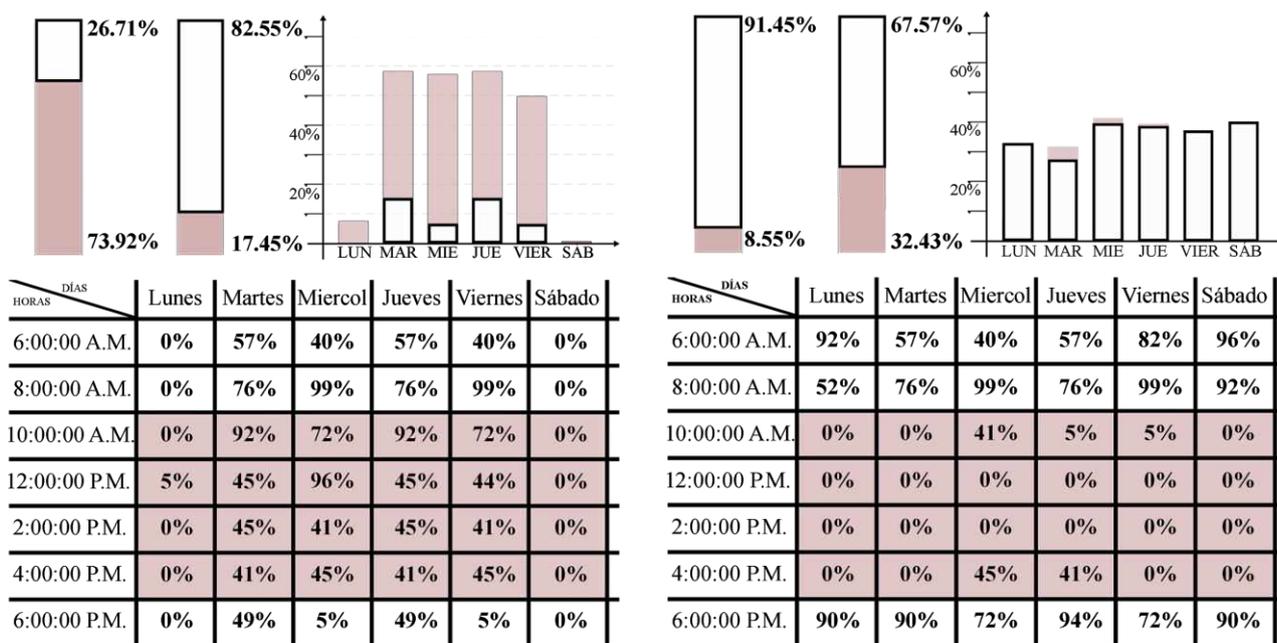


Figura 12. Comparación discomfort generado actual (derecha) con discomfort generado por propuesta (izquierda). En rojo, las horas en discomfort.

Desde las tipologías, se observan los horarios donde se podría mejorar la situación de los estudiantes. Tomando como ejemplo la tipología A (figura 13), que se compone por dos aulas y un número de inscritos en promedio de 140 por hora, de las cuales ninguna tiene programación de clase el día lunes a ninguna hora del día, condicionado por el número de lunes festivos que genera de manera significativa pérdida de clases; mientras que para el día viernes se tienen programadas clases a todas las horas del día. Hablando de la totalidad de estudiantes comparando por días hay una relación de que el día lunes hay un total de 433 estudiantes a un promedio de 2391 para el resto de los otros cuatro días que se resume además en la cantidad de horas y de tipologías ocupadas.

Se podría plantear el usar las horas óptimas de confort del día lunes de esta tipología para desplazar las clases del día viernes que no están en condiciones óptimas y así disminuir el disconfort durante todo el semestre. Esta condición es repetitiva en casi todas las tipologías estudiadas en las que por días; especialmente las del día lunes, donde las clases que están programadas se encuentran en las horas más críticas del día; es decir entre las 12:00 am a 4:00 pm.

De acuerdo a los resultados obtenidos y en búsqueda de soluciones al producto de la cuantificación del nivel de disconfort sufrido por los estudiantes en el año 2018, es posible plantear un nuevo horario en donde el inicio de la jornada académica comience a las 7:00 am en vez de las 6:00 am para algunos salones de los bloques analizados que no presentan las mejores condiciones de confort especialmente entre las 12:00 am del medio día y las 4:00 pm ,tomando como referencia que entre las 7:00 am y las 9:00 am son las horas más óptimas en condiciones tanto lumínicas como térmicas y de menor gasto energético. Al desplazarse el horario se tendrán dos jornadas de horarios en la tarde en vez de tres; siendo este el peor momento del día. Lo que evidencia la falta de distribución en los horarios de la Universidad Nacional es que algunas aulas se encuentran desocupadas a horas en las que están en condiciones óptimas de confort. Dando un ejemplo, la clase de Inglés clasificada en la tipología D, está programada en la mañana de 6:00 am a 8:00 am y de 8:00 am a 10:00 am. Se puede plantear que se realicen las mismas dos clases pero que comiencen una hora después, es decir a las 7:00 am para así evitar un consumo energético adicional y posible disconfort lumínico causado por la falta de iluminación en las primeras horas de la mañana o proponer en su defecto que sean programadas a estas primeras horas, clases que requieran el uso de video beam y la falta de luz natural no afecte el desarrollo de la misma.

Estas respuestas administrativas que buscan reducir el disconfort sufrido por los estudiantes durante todo el periodo académico se complejizan al cruzarse con los otros fines de la distribución actual: Los horarios de los estudiantes y profesores, la pérdida o dificultad de las clases de los días lunes por los días festivos y sábados por el mismo funcionamiento de la universidad, el aumento del consumo energético al redistribuir las clases hacia las horas de la tarde y la mañana, y la capacidad total de las aulas, debido a la diferencia de ocupación que ponen en cuestión la jerarquía que debería poseer el confort dentro de los procesos administrativos de las universidades y sus clases.

## 5. CONCLUSIONES

Para lo térmico: La población estudiantil que tuvo clase en los dos edificios estudiados durante el año 2018 tuvieron que soportar 234 horas de disconfort térmico;110 para las tipologías representativas del bloque 46 y 124 para el 21, sin embargo, si se plantea redistribuir las clases según sus horarios más óptimos: de 8:00 am - 10:00 am 4:00 pm - 6:00 pm, se puede reducir 14 horas de disconfort térmico.

Para lo lumínico: Ambos bloques estudiados se encuentran en posición norte a sur, en resultados se evidencia con porcentajes de UDI de 84% de optimización, lo que no representa un problema de

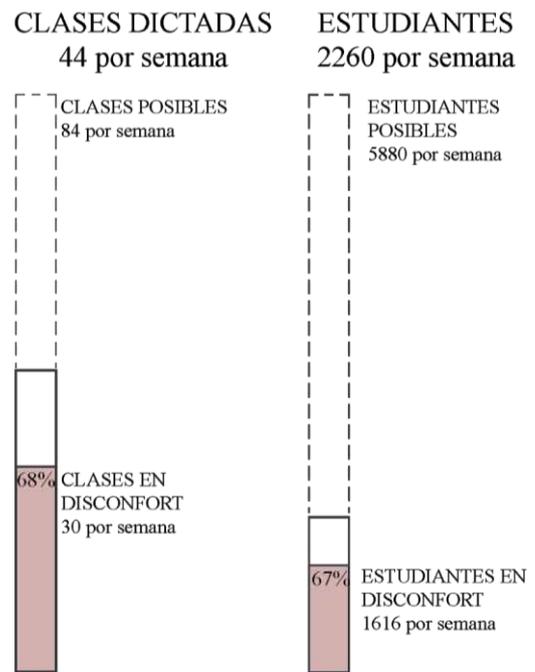


Figura 13. Cantidad de capacidad posible y actual de habitantes en la tipología A. Disconfort representado en rojo.

deslumbramiento, teniendo en cuenta otros factores como los aleros de la edificación, representado un 0.46m<sup>2</sup> en ASE, un valor casi despreciable; para las aulas con insuficiencia lumínica la redistribución horaria, podría asignar clases que sean compatibles con sus condiciones lumínicas; para así evitar el uso inadecuado de blackouts en aulas con eficiencia lumínica.

Los datos generales del estudio arrojan que de las 479 clases, teniendo en cuenta las 8 tipologías establecidas, 259 se encuentran en el rango de desconfort y 220 en el rango de confort adaptativo, considerando tanto el confort térmico como lumínico. Si se modifican los horarios de tan solo el 22% de clases para reubicarlos de salón, en el año 2018 se hubiera podido reducir el porcentaje de estudiantes afectado en un 60% que representan una cantidad total de 8000 estudiantes enfrentado al total de estudiantes del campus universitario que es de 12000 estudiantes; es decir, que la población afectada hubiera podido ser reducida a sólo un tercio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURATTI, C.; RICCIARDI, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 674–687, 1 abr. 2009.
- CBE, C. for the B. E. **CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55**. Disponible em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>>. Acceso em: 24 abr. 2019.
- IDEAM. Disponible em: <<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>>. Acceso em: 10 abr. 2019.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY, L. (Chair) et al. **IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE)**. [S.l.]: IES, 2013. Disponible em: <<https://infoscience.epfl.ch/record/196436>>.
- MARDALJEVIC, J. **Engineering the Future 21-22**. . [S.l.: s.n.], 2006. Disponible em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.573.3232&rep=rep1&type=pdf>>.
- MCNEEL, R. A. **Rhino 6 for Windows**. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponible em: <<https://www.rhino3d.com/>>. Acceso em: 3 ago. 2018.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905–913, jul. 2006.
- NREL. **EnergyPlus**. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponible em: <<https://energyplus.net/>>. Acceso em: 25 jan. 2019.
- ORTEGA, C. D. et al. AULAS UNIVERSITARIAS COMO APOYO A LA GESTIÓN ACADÉMICA. In: MACDES, 2014, La Habana, Cuba. *Anais...* La Habana, Cuba: MACDES, 2014.
- MATYSIAK, P. W. (2004). The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on performance of school work by children. *researchgate*, 5.
- ROUDSARI SADEGHIPOUR, M. M. C. **Ladybug Tools**. Disponible em: <<https://www.ladybug.tools/about.html#team>>. Acceso em: 3 ago. 2018.
- RUTTEN, DAVID, S. **Grasshopper - algorithmic modeling for Rhino**. [S.l.: s.n.], 2007. Disponible em: <<https://www.grasshopper3d.com/>>. Acceso em: 6 ago. 2018.
- WARD, G. **Radiance**. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponible em: <<https://www.radiance-online.org/>>. Acceso em: 10 abr. 2019.
- WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 4, p. 337–351, 1 maio 2003.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión del profesor Jorge Hernán Salazar Trujillo; a quien expresamos un agradecimiento muy especial por hacer posible la realización de este trabajo.