INCIDENCIA DE CONSIDERAR MOBILIARIO Y OCUPANTES EN LAS MÉTRICAS DE ILUMINACIÓN NATURAL

Jorge Hernán Salazar Trujillo (1); Laura Andrea Arias Valencia (2)

(1) Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura, Calle 59 A N 63-20 Edificio 24. Medellín, Colombia, e-mail: jhsalaza@unal.edu.co

(2) Estudiante de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura, Calle 59 A N 63-20 Edificio 24. Medellín, Colombia, e-mail: laaariasva@unal.edu.co.

RESUMEN

Los estudios de iluminación natural experimentan un veloz desarrollo gracias a las herramientas computacionales que simplifican su implementación. Las simulaciones dinámicas consideran la variabilidad del cielo y en consecuencia, hay una intensa investigación acerca de la representatividad de los archivos climáticos. Algo similar sucede con las métricas con que se estudia la calidad del ambiente lumínico que por incluir factores humanos, son objeto de permanente refinamiento. Sin embargo, continúa siendo una práctica común el simular recintos vacíos a pesar de que en un espacio habitado siempre hay muebles, objetos y por lo menos una persona adentro. Este trabajo explora la incidencia del factor humano en los resultados de las simulaciones de iluminación con el objetivo de conocer qué tanto pueden variar los resultados de las simulaciones de iluminación cuando se decide modelar también las obstrucciones y absorciones lumínicas que ocasionan muebles y personas. Se empleó la plataforma de Grasshopper y el plugin Honeybee para hacer simulaciones paramétricas de iluminación considerando: a) variaciones en la distribución del mobiliario y b) variaciones en la posición de la persona que usaría esos muebles. Se estudió la habitación de un edificio de apartamentos típico y se usaron como Línea Base los resultados obtenidos al simular este mismo espacio completamente vacío. Se concluye calculando la variabilidad de los resultados cuando las simulaciones de iluminancia incluyen muebles y cuerpo humano y también se hacen recomendaciones acerca de qué muebles convendría modelar según la zona de la habitación en que se encuentren.

Palabras clave: simulación paramétrica, iluminación natural, iluminación y mobiliario, cuerpo e iluminación

ABSTRACT

Daylight analysis is undergoing rapid development thanks to computational tools that simplify their implementation. Dynamic simulations consider the variability of the sky and consequently there is intensive research into the representativeness of climate files. Something similar happens with the metrics with which the quality of the lighting environment is studied that, including human factors, are subject to permanent refinement. However, it is still a common practice to simulate empty rooms despite the fact that in an inhabited space there are always furniture, objects and at least one person inside. This work explores the incidence of the human factor in the lighting simulation output, with the aim of knowing how much the illuminance results can vary if the light obstructions and absorptions originated by furniture and people are also modeled. The Grasshopper platform and the Honeybee plugin were used to make parametric lighting simulations considering: a) several furniture layouts and b) changes in the position and posture of people. A typical room in an apartment building was studied and the results of simulating the same room completely empty were used as the Baseline. It is concluded by calculating the variability of the results when the illuminance simulations include furniture and the human body and recommendations are also made about which furniture should be modelled according to the region of the room in which they are located.

Keywords: parametric daylighting simulation, lighting and furniture, human body and lighting

1. INTRODUCCIÓN

Las viviendas en Colombia no se diseñan con la obligación normativa de garantizar ningún nivel lumínico en particular, a diferencia de como sí lo exige la ley cuando se trata de diseñar espacios de oficina o proyectos escolares. Claramente las tareas de alta exigencia visual también suceden adentro de una vivienda, pero el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, regularmente conocido por sus siglas como RETILAP (REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2010) se orienta exclusivamente a regular la iluminación en espacios laborales. Para vivienda, en su numeral 210.3.1, la ley se limita a dar buenos consejos del tipo: "Aprovechar al máximo la luz natural…", "Usar Colores claros en paredes y techos…", "No dejar encendidas fuentes luminosas que no se estén utilizando…" o "Limpiar periódicamente las bombillas y luminarias…" entre otras recomendaciones similares.

En conclusión, los edificios de apartamentos en Colombia se diseñan, licencian y construyen en ausencia de un marco normativo que asegure la correcta iluminación de sus espacios. Las consecuencias de esta situación son adversas, porque una porción significativa de la población permanece la mayor parte del día adentro de su vivienda y expuesta a condiciones de iluminación no regulada. Como no existe ningún soporte jurídico para establecer un vano mínimo y las ventanas son costosas, la tendencia en vivienda económica son las ventanas pequeñas y escasas. Son habituales las ineficiencias energéticas en vivienda por causa de la iluminación artificial de uso diurno, iluminación que con un mejor diseño de fachadas hubiera sido innecesaria. También hay problemas de salud pública por una población escolar y laboral que realiza sus tareas cotidianas en condiciones lumínicamente insuficientes.

La situación de confinamiento derivada de la pandemia está agravando esta situación, pues los requerimientos acústicos para sostener teleconferencias simultáneas hicieron necesario que cada uno se encierre en su alcoba para no interferir con las actividades del resto de personas con quienes comparte la vivienda. Para muchos hoy la alcoba es el lugar para trabajar o estudiar y es previsible que en el corto plazo parte de los criterios para promover la calidad del ambiente lumínico en espacios laborales se comiencen a aplicar en espacios residenciales, aunque es improbable que se apliquen normas y estándares para edificios educativos o de oficinas en los proyectos de vivienda, al menos en el corto plazo. Lo cierto es que se está discutiendo mucho acerca de la calidad lumínica en los espacios domésticos y las herramientas para ello son las mismas que ya se utilizan para analizar espacios laborales y educativos: simulaciones computacionales y mediciones en espacios ya construidos. Pero hay una particularidad que esta investigación pretende observar: los espacios domésticos no comparten la lógica funcional de colegios y oficinas.

Es habitual es que en los espacios de uso público las personas lleguen con los pocos objetos que pueden llevar consigo y por eso al simular la iluminación en espacios educativos o de oficina es previsible que la variabilidad del mobiliario, acabados y objetos sean poco pronunciadas. Por el contrario, cualquier espacio residencial ofrece un nivel de diversidad en ocupación y acabados notoriamente mayor. Por excelencia lo doméstico es donde la individualidad se expresa; encontramos allí una diversidad de objetos, muebles, colores y texturas que apuntan en dirección contraria a lo que las normativas suelen tener en consideración. Salvar esta brecha reclama trabajos de corte etnográfico (MOUSAVI ET AL, 2016) que le den soporte empírico a las configuraciones de mobiliario que deberían ser modeladas, los niveles de absorción lumínica que deberían ser considerados como típicos, y la densidad de objetos, adornos y recuerdos que, superpuestos a paredes y muebles, podrían alterar notoriamente la representatividad de los resultados obtenidos. Pero trabajos así son escasos en extremo.

En consideración a esta dificultad y en ausencia de estudios etnográficos locales donde se estudien los patrones de ocupación y uso de los espacios domésticos aplicando técnicas de muestreo que permitan identificar las configuraciones de mobiliario más frecuentes en un contexto cultural concreto, los espacios residenciales se simulan completamente vacíos. Esto contradice la experiencia directa porque si algún lugar va a tener objetos, son precisamente las viviendas. En la literatura especializada los estudios de iluminación de este tipo son escasos y cuando se les encuentra, rara vez hacen referencia al sistema de mobiliario, decoración y acabados del espacio en estudio. Estudios previos (GIRALDO Y MUÑOZ, 2018) (PABON Y RIASCOS, 2018) ya habían planteado la discusión acerca de si conviene modelar algún tipo de mobiliario al momento de realizar simulaciones de iluminancia en espacios domésticos, pero ellos reportan no haber encontrado referentes bibliográficos acerca de la conveniencia de complejizar los procesos de modelación y en consecuencia, alargar el tiempo de simulación. Cuando un texto muy citado y punto de partida de la mayoría de las investigaciones acerca de las métricas de iluminación natural (MARDALJEVIC ET AL, 2009), hace mención a los factores humanos tampoco menciona las configuraciones de mobiliario, a pesar de que sí llega a niveles de detalle muy elevados cuando sugiere incluir en los modelos algo tan pequeño como las divisiones de las ventanas y el diseño y acabado de los marcos de las ventanas.

Se han logrado encontrar algunas excepciones, como por ejemplo un trabajo en Malasia (MOUSAVI ET AL, 2018), quien concentra sus esfuerzos en identificar el impacto de las configuraciones de mobiliario en espacios laborales para teletrabajadores en informática. En el mencionado estudio se tienen en consideración tres distribuciones de mobiliario pero el trabajo experimental, al igual que su complemento computacional, se orientan a estudiar espacios amoblados pero desocupados. Es importante resaltar que en los espacios domésticos los ventanales corridos no son la norma y esto da origen a sombras marcadas cuando sucede que la posición del cuerpo del ocupante con respecto a la ventana son tales que su sombra termina proyectada justamente sobre la zona de trabajo. Si el cuerpo humano está ausente en los análisis de iluminación podrá suceder que una configuración de mobiliario en apariencia muy favorable, en realidad podrá ser la peor de todas. A la fecha, no ha sido posible encontrar una sola referencia a estudios de iluminación natural en los que se tenga en consideración la presencia del cuerpo humano con las posiciones y posturas más probables de acuerdo a una determinada configuración de mobiliario.

Conviene asegurar desde la fase de diseño que una ventana ofrezca toda la versatilidad posible al futuro usuario de un espacio y no inducir a que ciertas configuraciones de mobiliario resulten obligadas si las condiciones de iluminación no van a ser óptimas. Hoy sucede lo contrario y cuando se simulan espacios vacíos puede suceder que se validen espacios con unas condiciones de iluminación inapropiadas por culpa de haber tomado la decisión a partir de una simulación erróneamente interpretada. La simplificación de simular un espacio sin muebles y sin personas puede ser aceptable en colegios y oficinas, pero conviene revisar si es una práctica aceptable en espacios domésticos donde el habitante sí tiene control sobre la disposición de los muebles y el resto de los objetos que allí coloca y donde adicionalmente es altamente probable que haya ventanas pequeñas y por tanto, una iluminación muy focalizada.

2. OBJETIVO

Calcular el margen de variabilidad de los resultados obtenidos al simular iluminación natural con y sin mobiliario en viviendas, para determinar si justifica complejizar los modelos a partir de los cuales se hacen las simulaciones y en segundo lugar, explorar la hipótesis de si conviene “sobredimensionar” las ventanas para compensar los aminoramientos de iluminancia que se darán a efecto una vez las habitaciones se encuentren habitadas.

3. METODO

Actualmente los apartamentos en Colombia suelen tener entre 2 y 3 alcobas, distribuidas en un área entre 45 y 65 m² donde los espacios con destinación diferente al comedor, la alcoba o la cocina son raros. La sala, el estudio, la biblioteca o el estar son espacios que actualmente sólo se observan en el programa arquitectónico de una vivienda suntuaria. Como en apartamentos tan reducidos no es viable destinar un espacio para configurar allí un estudio, una biblioteca, un taller o un espacio de oficina, la combinación de cama y escritorio adentro de la alcoba es el amoblamiento más probable en viviendas para núcleos familiares de más de dos personas. En este tipo de espacios es donde los ocupantes se enfrentan a la condición lumínicamente menos favorable: escasas posibilidades de hacer modificaciones sustanciales en el tipo de mobiliario y donde forzosamente se realizan tareas de alta exigencia visual durante periodos prolongados.

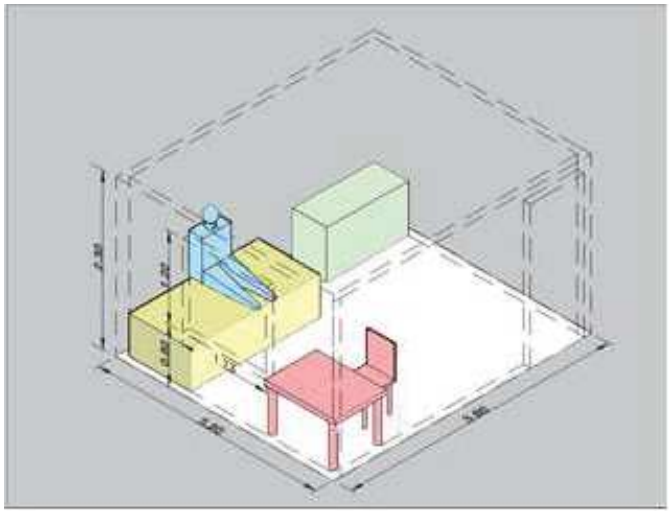


Figura 1: Dimensiones del espacio simulado. Los códigos de color son los mismos de la Figura 3.

Se estudió una habitación con unas dimensiones de 3.2m de ancho, 3.8m de profundidad y 2.3m de altura, Figura 1. con una sola ventana centrada sobre la pared más estrecha, un sillar a 1.20m y un dintel a 2.00m con vidrio claro de transmitancia 0.76. Las simulaciones inicialmente se hicieron con el espacio vacío y luego se repitieron para las mismas condiciones de cielo, pero considerando las diferentes configuraciones de amoblamiento y la presencia de una persona de talla grande ocupando el espacio para hacer las restas punto a punto y calcular la variabilidad de los resultados obtenidos.

Se modelaron una cama, un escritorio con su silla y un pequeño mueble para el almacenamiento, asumiendo que las paredes carecían de objetos colgados en ellos. Los acabados se dejaron inalterados durante todas las simulaciones, con una reflectancia de 0.35 en paredes y piso con el fin de comparar exclusivamente aquellos cambios que se pudieran derivar de una configuración de amoblamiento particular. Para los muebles se optó por asignar una absorción lumínica elevada. Una reflectancia de 0.1 corresponde a un mobiliario muy oscuro o repleto de objetos encima, que se corresponde con la situación lumínicamente más desfavorable y cuando se presentaría la mayor demanda de luz natural y presumiblemente, las máximas variaciones en los resultados de las simulaciones. Todo el proceso de repitió luego pero con una reflectancia de 0.5, valor que típicamente se le asigna a los muebles y demás objetos adentro de un espacio cuyas condiciones de iluminación van a ser simuladas.

Fue posible obtener seis combinaciones de amoblamiento diferentes, todas ellas respetan el radio de apertura de la puerta. Cada una se simuló dos veces, para estudiar las dos posturas corporales más frecuentes: sentado frente al escritorio o sentado en medio de la cama. Las posturas estándar de pie y totalmente acostado fueron descartadas de este estudio, la primera de ellas porque no es una postura que se sostenga largo rato en una alcoba y la segunda, porque en esa postura no se realizan tareas de alta exigencia visual.

Las simulaciones de iluminancia operan con procedimientos estocásticos y por esta razón cuando se repite una simulación y a pesar de no haber cambiado absolutamente nada, es completamente normal que los resultados cada vez sean diferentes. Esta circunstancia hizo necesario un trabajo previo para determinar el nivel de variabilidad normal de los resultados y que determina la resolución que ofrecen las herramientas con las que se trabajó. Hay una relación no lineal entre la demanda computacional requerida para correr una simulación de iluminancia y el margen de variabilidad de sus resultados. En las publicaciones científicas es habitual informar los parámetros de configuración de las simulaciones, los cuales se pueden modificar de acuerdo con las características de aquello que requiere simular. Aristas redondeadas o rectas, acabados satinados o metálicos, entre otros, son características que permiten decidir el valor adecuado para cada uno de los 21 parámetros involucrados. Sin embargo, hay tres conjuntos de valores de entrada que han ido ganando aceptación en el medio y que se reconocen como “Nivel de calidad de los parámetros de Radiance”. Con esos tres conjuntos de valores la calidad de los resultados es progresivamente mayor, pero los tiempos computacionales también aumentan. Tabla 1.

Tabla 1: Conjunto de parámetros para una simulación en Radiance según el nivel de calidad requerido, tal como las sugiere el comando RADParameters (Honeybee versión 0.0.66 julio_7_2020).

RAD quality = 0	**RAD quality = 1**	**RAD quality = 2**
pt = 0.15	pt = 0.1	pt = 0.05
ds = 0.5	ds = 0.25	ds = 0.05
aa = 0.25	aa = 0.2	aa = 0.1
pj = 0.6	pj = 0.9	pj = 0.9
dt = 0.5	dt = 0.25	dt = 0.15
ad = 512	ad = 2048	ad = 4096
dj = 0	dj = 0.5	dj = 0.7
dp = 64	dp = 256	dp = 512
lw = 0.05	lw = 0.01	lw = 0.005
xScale = 1	xScale = 2	xScale = 6
yScale = 1	yScale = 2	yScale = 6
ar = 16	ar = 64	ar = 128
as = 128	as = 2048	as = 4096
dc = 0.25	dc = 0.5	dc = 0.75
av = 0	av = 0	av = 0
lr = 4	lr = 6	lr = 8
ps = 8	ps = 4	ps = 2
st = 0.85	st = 0.5	st = 0.15
sj = 0.3	sj = 0.7	sj = 1
dr = 0	dr = 1	dr = 3
ab = 2	ab = 3	ab = 6

Las simulaciones de iluminación se realizaron en la plataforma de Rhino+Grasshopper3D empleando los algoritmos de Ladybug y Honeybee (ROUDSARI, 2013), dos aplicativos ambientales de código abierto que importan archivos meteorológicos en formato EnergyPlus estándar (.EPW) en Grasshopper3D y los conectan con EnergyPlus, Radiance, Daysim y OpenStudio para hacer simulaciones de energía e iluminación natural. Pruebas preliminares realizadas en esta y otras plataformas habían permitido ratificar que efectivamente los resultados jamás coinciden cuando se repite una simulación y que esta variabilidad es mayor cuando se simula un recinto con incursión solar directa. Por este motivo lo primero fue determinar el umbral a partir del cual no sería posible saber si la variabilidad de un resultado depende de los cambios en la configuración de muebles o de la variabilidad propia al proceso estocástico de cada simulación.

Para los cálculos de iluminancia el plano de trabajo se estableció a una altura de 0.71m de forma que no se presentaran intersecciones con la mesa, cuya superficie superior fue modelada a una altura de 0.70m. En la literatura especializada no fue posible encontrar ninguna recomendación ni experiencia previa orientada a estudiar el efecto de las sombras proyectadas por las personas sobre su entorno inmediato. Por ello se empleó una malla de 525 puntos distribuida a lo largo y ancho de toda la habitación con una separación entre puntos de análisis de 0.15m. Es una malla atípicamente densa para estudios de iluminación, pero que asegura un buen nivel de sensibilidad para registrar las consecuencias lumínicas de la obstrucción que ocasiona un cuerpo humano sobre el plano de trabajo en aquellas configuraciones de amoblamiento en las que el ocupante no está enfrentado a la ventana.

Se procedió a repetir 39 veces una misma simulación, 13 reiteraciones por cada uno de los tres niveles de calidad ya mencionados. El modelo empleado fue el de la habitación vacía, con la puerta cerrada y en condiciones de cielo despejado. Para cada uno de los 525 puntos de análisis se obtuviron, tres veces, un conjunto de 13 valores de iluminancia. La diferencia entre los dos valores extremos (el valor máximo menos el valor mínimo) se dividió por la media de los 13 datos obtenidos y este cociente corresponde al porcentaje de variabilidad de los resultados de iluminancia en comparación con la iluminancia media para cada punto. Finalmente, este listado de 525 porcentajes de variabilidad para cada uno de los tres niveles de calidad de simulación fue procesado estadísticamente para encontrar los percentiles 0.025, 0.25, 0.5, 0.75 y 0.975, valores con los que se elaboró la figura 2.



Figura 2: Variabilidad de los resultados de iluminancia según los parámetros de Radiance empleados en la simulación. Este rango de variabilidad determina el umbral a partir del cual no es posible saber si la variación em un resultado depende de alguna modificación en las características del modelo simulado o de la variabilidad intrínseca asociada al proceso estocástico de la simulación.

Analizando los rangos de variabilidad obtenidos se pudo concluir que los resultados de simulaciones realizadas con parámetros de baja calidad (RAD parameters = 0) serían inútiles para esta investigación, porque los cambios en la configuración del mobiliario tendrían que ocasionar variaciones de más de un 10% en la iluminancia para poderlas considerar como consecuencia de los muebles. Esta podría ser una primera conclusión de este trabajo, pero un nivel de calidad tan bajo sólo se usa para verificar un algoritmo, nunca para obtener datos de investigación. El parámetro “ab” (ambient bounces) es muy relevante para investigaciones como esta porque lo que interesaba revisar era el efecto del mobiliario y es necesario un número de “rebotes” elevado para modelar el impacto de disponer los muebles de una u otra forma, el valor máximo es 8 y para esta investigacion se usó 6. Hecho este análisis previo, el tiempo extra requerido para las simulaciones quedó claramente justificado y se tomó la determinación de hacer todas las simulaciones empleando los parámetros de alta calidad (RAD parameters = 2). En consideración a ello, durante el procesamiento de los resultados toda variación menor al 2% fue ignorada y no hace parte de las discusiones ni análisis aquí presentados.

Definido el umbral de sensibilidad de las simulaciones, se procedió a simular cada una de las seis configuraciones de mobiliario ante condiciones de cielo despejado, situación atmosférica que origina la menor homogeneidad lumínica al interior de los espacios. Los resultados obtenidos al simular la habitación vacía fueron empleados como Línea Base para realizar todas las comparaciones. Figura 3.



Figura 3: Esquema de las doce simulaciones realizadas con las seis configuraciones de mobiliario analizadas, indicando la posición del cuerpo en cada caso. Los códigos aquí empleados son los mismos nombres que se utilizan para nominar los resultados.

4. RESULTADOS

Para cuantificar el efecto de incluir en las simulaciones de iluminancia los muebles y el cuerpo de sus ocupantes, se realizaron varias agrupaciones de los resultados obtenidos. La primera de ellas consistió en promediar los 525 valores de iluminancia para calcular la iluminancia media de la habitación. En la figura 4 se puede observar que en todos los casos incluir mobiliario da como resultado una reducción en los valores de iluminancia media, reducción que oscila entre un 3% y 23% dependiendo de la configuración analizada. Tal como sería de esperar, la menor variación corresponde al mueble más grande (cama) ubicado en la pared contraria a la ventana (Mueble 3) y la mayor variación cuando la cama se encuentra junto a la ventana (Mueble 10). Como resultado general, la iluminancia media que se obtuvo cuando en la simulación se incluyeron los muebles es entre un 3% y un 8% menor a las obtenida con la habitación vacía.

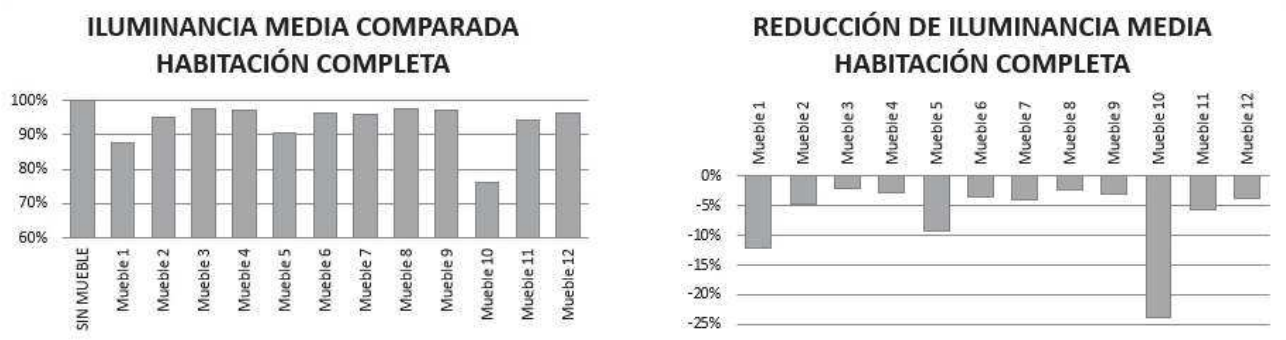


Figura 4: Iluminancia media de la habitación completa en comparación con la habitación vacía y que se usa aquí como Línea base para hacer las transformaciones porcentuales (izquierda) y las restas para calcular el aminoramiento en la iluminación interior de la habitación (derecha) para las configuraciones de amoblamiento en estudio.

Conviene resaltar que cuando la cama se ubica en los sectores más iluminados de la habitación entra a reemplazar piso (reflectancia 0.35) por textil, que en este caso se consideró con un bajo nivel de reflexión (reflectancia 0,1). Siempre que la reflectancia del mueble sea menor que la del piso acercar los muebles a la ventana estará acompañado de una reducción en las condiciones de iluminación. Ante condiciones de cielo nublado esta variación también se presenta, pero será menor porque en la habitación habrá ahora una mayor homogeneidad lumínica. En la investigación se mantuvo constante la reflectancia de los muebles, pero en la etapa final se repitió todo el procedimiento para explorar el efecto de emplear muebles con una reflectancia de 0.5, con el propósito de comprobar si un mobiliario con una reflectancia típica genera alteraciones en los resultados lo suficientemente pequeños como para hacer innecesario su modelado.

Para una segunda agrupación de los resultados se tuvo en consideración que los sectores más iluminados son los que terminan aportando mucho al valor final de una métrica, a pesar de que en temas de iluminación natural lo que conviene mirar con especial atención son precisamente los lugares menos iluminados. Para darle un mayor peso a los valores más bajos los resultados se clasificaron por rangos de iluminancia donde el 100% corresponde al área de la habitación (12.16m² en este caso) y una variación del 10% corresponde a 1.2m² de superficie que cambian de un rango de iluminancia a otro. En la figura 5 se pueden observar las variaciones, por rangos de iluminancia, que generaron las diferentes configuraciones de muebles. Al lado derecho ahora se observan también variaciones positivas, que es lo que sucede cuando una parte de la superficie ha dejado de pertenecer a un grupo (cambio negativo) para sumarse a otro (cambio positivo). Esto lo originan los sectores de la habitación que antes estaban excesivamente iluminados (>1000 lx) y que con un material lumínicamente absorbente entran a pertenecer a un rango de iluminancia menor. Se observan también variaciones negativas, mayoritariamente cuando los muebles se ubican al medio o al fondo del espacio, ubicación en la que proyectan más sombra.

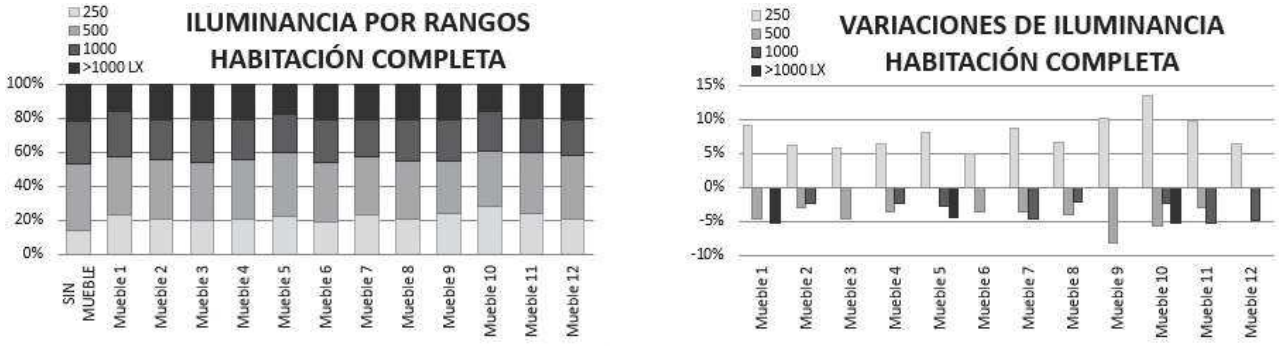


Figura 5: Izquierda: Iluminancia en la habitación completa clasificada por rangos de iluminancia. Derecha: Variación porcentual de la iluminancia de la habitación completa, separada por rangos de iluminancia, cuando en el modelo se han incluido los muebles.

Idealmente la totalidad de la habitación debería estar en el rango entre 250 y 500 lx y se puede notar que desde este punto de vista la configuración que presenta "más mejoría" corresponde a Mueble 10, donde cerca de un 8% del espacio deja de estar sobreiluminado para ofrecer un 13% adicional (1.6m²) en el rango entre 250 y 500 lx. Esta es una segunda manera de interpretar los errores de valoración que implica no incluir el mobiliario en las simulaciones de iluminación natural: se puede tener errores de apreciación de hasta un 13% por encima (Mueble 10) en el rango de los 0-250 lx y de hasta un 8% por debajo (Mueble 9) en el rango comprendido entre los 500 y 1000 lx.

Para complementar el análisis y dar un tratamiento más detallado a los sectores menos iluminados, los mismos resultados se agruparon finalmente por zonas, según correspondieran al primer tercio de la habitación (zona fachada), el tercio medio (transición) o en el tercio final, es decir al fondo de la habitación y lo más alejado posible de la ventana. Como se podría esperar, los resultados en sector más cercano a la fachada sólo presentaron variaciones significativas cuando los muebles se ubicaron allí Figura 6. Se presentaron variaciones de hasta un 12% en los valores medios de la zona fachada y en todos los casos esto se explica por la presencia de la cama (Mueble 1, 5 y 10). Conviene precisar que ahora el 100% no corresponde a la habitación completa, sino a un tercio y por eso en esta, y las siguientes dos figuras, un cambio de 12% equivale a 0.5m².

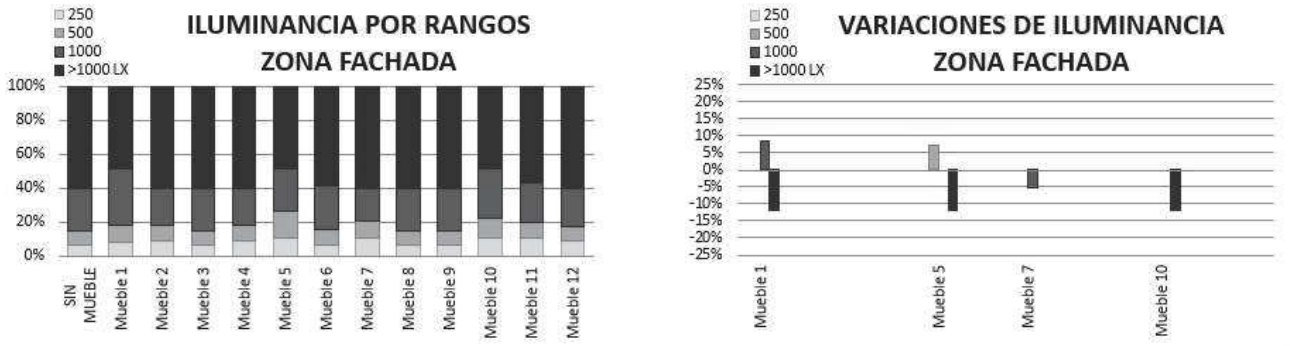


Figura 6: La zona fachada corresponde al primer tercio de la habitación, el que se encuentra adyacente a la ventana. Izquierda: Iluminancia en la zona fachada clasificada por rangos de iluminancia. Derecha: Variación porcentual de la iluminancia en esta zona por rangos de iluminancia, cuando en el modelo se incluyen los muebles.

Los resultados para la zona media de la habitación se presentan en la figura 7 y permiten observar que en esta zona hubo una mayor participación de las iluminancias comprendidas entre 500 y 1000 lx, los mismos rangos donde se presentan las mayores variaciones, que en ocasiones alcanzaron a ser hasta del 17% por encima y del 15% por debajo. Se puede observar que bastantes configuraciones de amoblamiento tienen un efecto apreciable sobre los resultados. El rango de estas variaciones está comprendido entre 16% por encima, hasta un 10% por debajo del valor que se obtendría de hacer las simulaciones sin considerar ningún mueble.

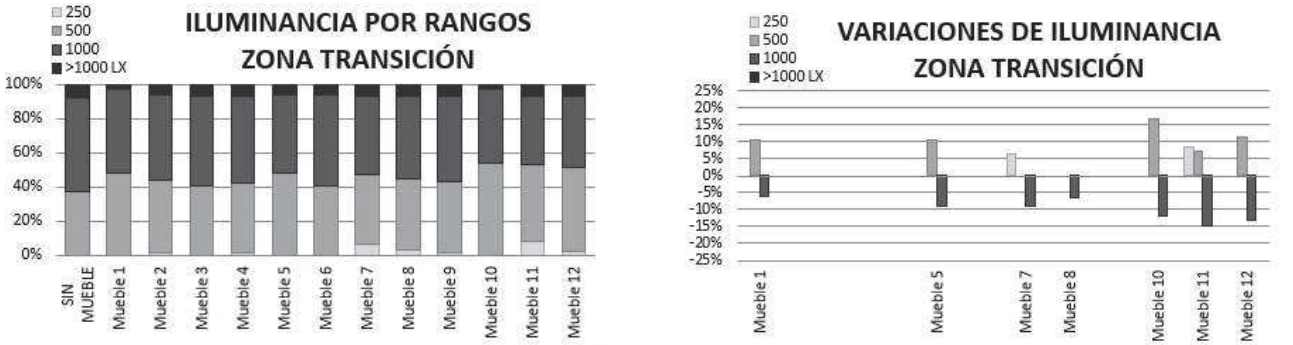


Figura 7: La zona transición corresponde al segundo tercio de la habitación, la que se encuentra en su centro. Izquierda: Iluminancia en la zona transición clasificada por rangos de iluminancia. Derecha: Variación porcentual de la iluminancia en esta zona por rangos de iluminancia, cuando en el modelo se incluyen los muebles.

Las variaciones de iluminación más pronunciadas se presentaron al fondo de la habitación. Allí los cambios se concentran en los rangos por debajo de los 500 lx porque en la zona más profunda de la habitación ningún valor alcanza a superar esta cifra. Tal como se puede observar en la figura 8, se presentaron variaciones para todas las configuraciones de amoblamiento, con cambios entre un 15% y hasta un 25% por encima o por debajo del valor que se obtiene al simular el espacio vacío. Variaciones totales entre un 30% y un 50% en comparación con los resultados que ofrece una simulación de un recinto vacío son suficientemente elevadas como para considerar conveniente agregar mobiliario a la simulación.

Las variaciones de los resultados de iluminancia se resumen en la Figura 9, izquierda. Allí se observa que para muebles poco reflectantes los rangos de variabilidad de los resultados fueron en promedio un 6.8% menores a los que se obtienen cuando se simula la habitación vacía. Sin embargo, también se observa que para ciertas configuraciones de mobiliario esta variabilidad es mucho más notoria y puede llegar a ser hasta de un 30%.

Para finalizar, todo el procedimiento de simulaciones, clasificación por zonas y obtención de rangos de variabilidad se repitió con muebles de un tono más claro y una reflectancia de 0.5. Es un valor de reflectancia notoriamente mayor que las paredes o el piso y podría parecer que el reemplazo de una superficie de reflectancia 0.35 por otra con reflectancia 0.5 debería elevar la iluminancia resultante. Pero el mobiliario tiene volumen y proyecta sombras sobre pisos y paredes, por lo que los resultados finales de todas maneras se reducen. En este caso la variabilidad media de los resultados en comparación con simular la

habitación vacía pasó de 6.8% a 3.8%, aunque para varias configuraciones de mobiliario esta variación continuó siendo de más de un 25%.

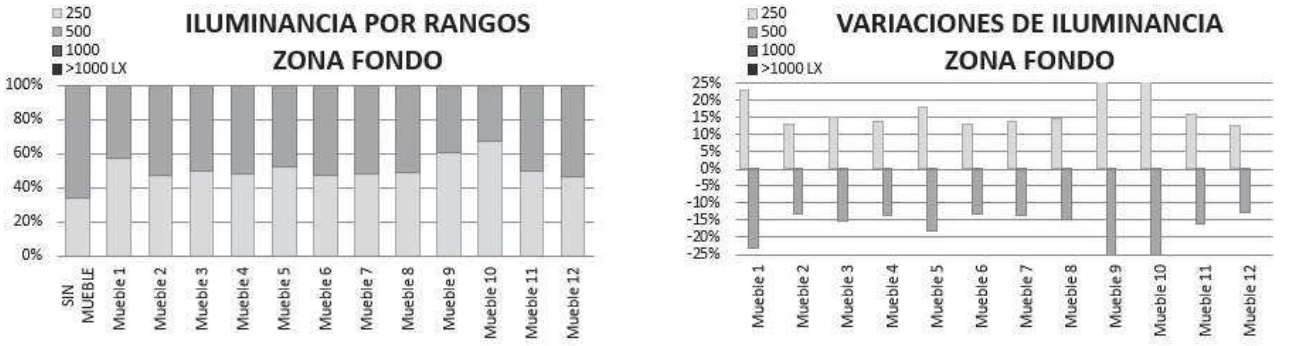


Figura 8: La zona del fondo corresponde al último tercio de la habitación, la que se encuentra en el extremo opuesto a la ventana. Izquierda: Iluminancia en la zona clasificada por rangos de iluminancia. Derecha: Variación porcentual de la iluminancia en esta zona por rangos de iluminancia, cuando en el modelo se incluyen los muebles.

Estas cifras ayudarán a estimar el nivel de incertidumbre de una simulación en la que no se considere mobiliario y tampoco la presencia del cuerpo humano y serán útiles para decidir acerca de la conveniencia de complejizar el análisis de iluminación. Una segunda opción consiste en compensar la dimensión de la ventana para que la métrica objetivo tenga un resultado más elevado de lo que recomienda la normativa o sistema de certificación empleado. De esta forma una vez el espacio se encuentre amoblado y ocupado, la ventana aparentemente más grande de lo necesario será capaz de absorber esa discrepancia.

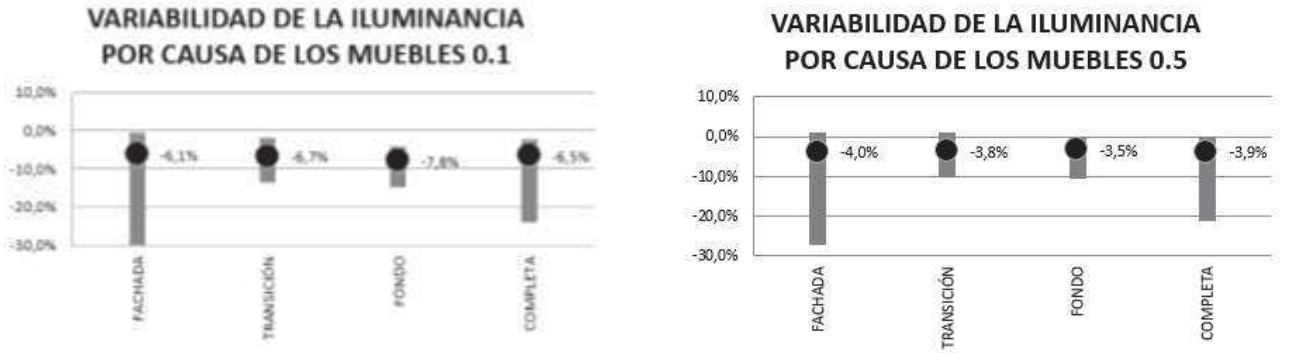


Figura 9: Izquierda: Variabilidad de iluminancia en habitación completa y clasificada por zonas cuando los muebles tienen una reflectancia de 0.1. El punto corresponde a la variabilidad media y los extremos de la barra gris el rango de variabilidad de los resultados entre la variación mínima y la máxima. Para saber qué configuración de muebles es la que origina dichos valores extremos basta recurrir a las figuras 5 a 8. Derecha: Variabilidad de iluminancia con muebles que tienen una reflectancia de 0.5

5. CONCLUSIONES

Cuando el tamaño de las ventanas en un edificio de vivienda se determine con la ayuda de simulaciones computacionales en las que los muebles no hayan sido tenidos en consideración, conviene que las ventanas provean al menos una iluminancia media entre un 4% y un 7% mayor para compensar la absorción lumínica y las sombras proyectadas por muebles y ocupantes. A pesar de ello, para algunas configuraciones de mobiliario esta precaución será insuficiente.

En la zona próxima a la fachada es posible simplificar el modelo y será suficiente modelar la cama para tener una variabilidad de los resultados aceptable, dado que con excepción de la cama, ningún otro mueble fue capaz de generar alteraciones significativas en los resultados. Es de anotar que las camas son el mueble "más estándar" (en tamaño y algura) en comparación con los muchos otros tipos de muebles que existen. En aras de la economía computacional, se podría compensar el efecto de absorción lumínica de la cama diseñando una ventana capaz de ofrecer un nivel de iluminancia 12% más alto del que genera la ventana modelada.

El caso es totalmente diferente para la zona del fondo, donde resulta conveniente incluir en el modelo los muebles, pues para todas las configuraciones de amoblamiento al fondo de la habitación se

presentarán variabilidades de hasta un 50% (25% por encima o por debajo), de los valores que se obtienen cuando se simula el espacio vacío. Se trata de una variación muy apreciable como para considerar aceptable suprimir el mobiliario de la simulación.

Para la siguiente fase de esta investigación queda completamente justificada la necesidad de construir una base estadísticamente significativa acerca de los enseres y acabados típicos en las habitaciones en el contexto local. La literatura científica aporta coeficientes de reflectancia típica para muebles, pero el tipo de muebles y en especial la forma de disponerlos es algo culturalmente sesgado y que reclama información de base para poder refinar los diseños técnicos de la iluminación natural en vivienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

GIRALDO, Juliana; MUÑOZ, Andrés Felipe. 2018. "**Criterios de distribución interior en la vivienda en altura de Medellín para aprovechar la iluminación natural y reducir la iluminación artificial diurna**". Memorias Octava Jornada EMAT. Medellín. Universidad Nacional de Colombia.

MARDALJEVIC, J.; HESCHONG, L.; 2,, E.S. "Daylight metrics and energy savings". **Lighting Research + Technology**, 2009, 0: pp. 1-23

MOUSAVI, Seyed; KHAN, Tareef; LIM, Wah. "A Critical Review of User Fit-out in Habitable Rooms in High-Rise Residential Apartments in Malaysia". **Assian Social Science**, 2016, vol 12, No. 2. pp 184, 194. doi:10.5539/ass.v12n2p184

MOUSAVI, Seyed; KHAN, Tareef; LIM, Wah. "Impact of Furniture Layout on Indoor Daylighting Performance in Existing Residential Buildings in Malaysia". **Journal of Daylighting**, 2018, vol 5, pp 1-13. doi:10.15627/jd.2018.1

PABÓN, Julián; RIASCOS, José G. 2018. "**Incidencia lumínica generada al interior de una manzana de vivienda en Medellín por la morfología de sus patios**". MACDES 2018. Quinto Congreso Internacional en Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable. Habana, Cuba.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía. **Resolución No. 180540 30/04/2010**. Reglamento técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

ROUDSARI, Mostapha; SADEGHIPOUR, Michelle. 2013. **Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design**. In: Proceedings of the 13th International IBPSA Conference Held in Lyon, France Aug 25–30th. (http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2499.pdf)