

SeasonSIM©, una herramienta de análisis dinámico de la luz natural adaptada a regiones de cielo claro. Caso Estudio: Aulas (Mendoza, Argentina)

Juan Manuel Monteoliva¹, Andrea E. Pattini²

Resumen

El primer paso en la evaluación de la capacidad visual y la eficiencia energética proporcionada por la luz natural es estimar con precisión la cantidad de luz que ingresa a un edificio. A partir del *paradigma dinámico de simulación*, nuevas herramientas como RADIANCE-DAYSIM, han ofrecido importantes avances en el cálculo numérico anual de la iluminación natural (IN). Sin embargo, éstas traen consigo nuevos desafíos regionales. La correcta implementación de estas herramientas dependerá de: (i) las características particulares de cada región en estudio y (ii) un know-how sobre el uso adecuado de los programas de simulación existentes, actualmente al alcance de los profesionales proyectistas. En este marco, el presente trabajo tiene por objetivo la difusión y aplicación de la herramienta desarrollada SeasonSIM©. Ésta presenta una nueva propuesta de post-procesamiento estadístico de métricas dinámicas adaptada a regiones de cielo claro, preservando la rigurosa metodología de los simuladores dinámicos.

Palabras clave: iluminación natural, métricas dinámicas, simulación.

©SeasonSIM, a dynamic analysis tool of daylight adapted to regions of clear sky. Case Study: Classrooms (Mendoza, Argentina)

Abstract

The first step in visual efficiency assessment of the capacity and energy is provided by daylight to accurately estimate the amount of light entering a building. From dynamic simulation paradigm, new tools such as RADIANCE-DAYSIM, have offered significant advances in the annual numerical calculation of daylighting. However, they bring new regional challenges. The correct implementation of these tools will depend on: (i) the particular characteristics of each region under study and (ii) a know-how about the proper use of existing simulation programs currently available to professional designers. In this context, this paper aims at the implementation and dissemination of the tool developed SeasonSIM ©. This presents a new proposal for statistical post-processing of dynamic metric adapted to regions of clear sky, preserving the rigorous methodology of dynamic simulators.

Keywords: daylight, dynamic metrics, simulation.

^{1y2} Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (INCIHUSA CCT CONICET Mendoza). Av. Ruiz Leal S/N Parque Gral. San Martín CP5500 Ciudad, Mendoza, Argentina. Tel/fax: +54-261-524-4322.

Introducción

El uso de la iluminación natural en espacios interiores requiere de una cuidadosa planificación y diseño, debido a su característica de fuente de luz dinámica. En los últimos años se han producido importantes avances en los métodos de cálculo numérico predictivo de la luz natural. A partir del *modelo de la iluminación natural basado en el clima* (siglas en inglés CBDM) (Mardaljevic, Heschong & Lee, 2009) y las *métricas de desempeño dinámico de la iluminación natural* (Reinhart, Mardaljevic & Rogers, 2006) se origina lo hoy denominado, en simulación, *paradigma dinámico*. Sin embargo la búsqueda de indicadores más representativos de la fuente natural, en nuestro entorno regional y sus condiciones de cielo característico, lleva a considerar las limitaciones de los simuladores actuales. La adecuada implementación de herramientas de simulación dinámica dependerá de dos factores: (i) las características particulares de cada región en estudio y (ii) un know-how sobre el uso adecuado de los programas de simulación existentes, actualmente al alcance de los profesionales proyectistas. En este marco, el presente trabajo tiene por objetivo la difusión y aplicación de la herramienta desarrollada *SeasonSIM*® (Monteoliva & Cortegoso, 2015), la cual ofrece a partir de los resultados obtenidos en el trazado de rayos de los simuladores dinámicos -como DAYSIM-RADIANCE (Ward & Shakespeare, 1998) o DIVA (Reinhart et al., 2011)-, un pos-procesamiento estadístico de métricas dinámicas adaptada a regiones de cielo claro.

Metodología

Descripción general de la herramienta SeasonSIM®.

SeasonSIM® surge como resultado de un trabajo de tesis doctoral (Monteoliva, 2014) con el objetivo de brindar una herramienta que flexibilice nuevos estudios en el campo de la iluminación natural de espacios interiores, preservando la rigurosa metodología predictiva de cálculo de las herramientas dinámicas (trazado de rayos). Sus principales prestaciones son: (i) proporcionar rangos ajustables de uso del espacio a través del *índice ajustable útil de luz natural* o “adjustable useful daylight index” (siglas en inglés aUDI) (Monteoliva & Pattini, 2013) y (ii) análisis por periodo estacional de métricas dinámicas (DA, DAm_{ax}, UDI y aUDI entre otras). Actualmente, la segunda versión del programa *SeasonSIM*®, se encuentra disponible gratuitamente en el repositorio del Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (INCIHUSA CCT Mendoza), en la siguiente dirección: <http://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/seasonsim>.

SeasonSIM® v2.0 requiere para el análisis: (i) archivo con los resultados obtenidos del trazado de rayos en simuladores dinámicos (*.ill); (2) archivo de ocupación del espacio (*.csv) y (3) iluminancia mínima y máxima para el cálculo de las métricas dinámicas [en lux]. A partir de la carga de los datos mencionados, esta herramienta procesa y gráfica² el “rango útil” especificado, preservando la metodología predictiva de las herramientas dinámicas. Los resultados son descriptos en cuatro solapas: (i) “Porcentajes por rango”, presenta un análisis descriptivo de los resultados por unidad de medición (sensor) y por grilla (conjunto de sensores); (ii) “Gráfico de barras”, se visualizan los resultados anuales obtenidos en el rango útil –como así también las iluminancias inferiores y superiores al rango útil-; (iii) “Promedio por período”, se visualizan en gráficos de tortas el promedio anual y estacional (estival, invernal y media estación) del indicador aUDI; (iv) “Valoración rango útil”,

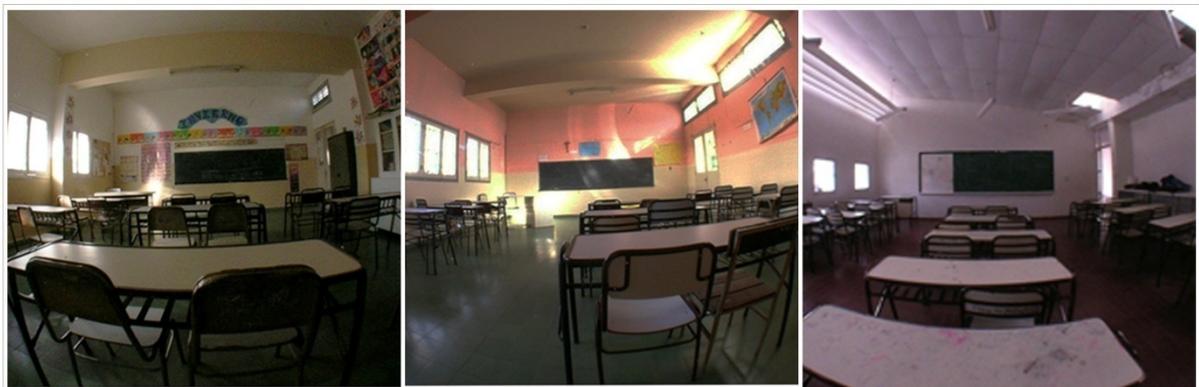
²*SeasonSIM*® utiliza la biblioteca pChart 2.0 (licencia GNU GPLv3) como soporte para los gráficos.

se gráfica los resultados obtenidos en aUDI en una barra de valoración (Valoración: 0-49% Bajo; 50-74% Aceptable; 75-100% Óptimo). La página Web donde se visualizan los resultados presenta por defecto el mismo nombre del archivo procesado (*.ill). De esta manera, utilizando la función de los navegadores "Guardar página como...", se puedan guardar ordenadamente los resultados obtenidos (tablas y gráficos) de SeasonSIM© en la computadora del usuario.

Simulación de métricas dinámicas y análisis con la herramienta SeasonSIM©.

Configuración del espacio (Figura 1). La herramienta SeasonSIM© es aplicada a tres espacios de aprendizaje (A2), (A3) y (A4) seleccionados como caso de estudio. Éstos corresponden a tipologías más frecuentes de aulas de la región (Pattini, 2009) y pertenecen a instituciones educativas de la provincia de Mendoza: Escuela República de Chile N° 1256 (A2 y A3) y Escuela Marcelino Blanco N° 4042 (A4).

Figura 1. Tipologías de aulas analizadas (A2), (A3) y (A4).



Escena simple: inter-reflexiones (ab) 5; divisiones (ad) 1000; muestreo (as) 100; precisión (aa) 0.1; resolución (ar) 300; umbral directo (dt) 0; sub-muestreo directo (ds) 0

Escena compleja: (ab) 7; (ad) 1500; (as) 100; (aa) 0.1; (ar) 300; (dt) 0; (ds) 0

Fuente: Imágenes tomadas por el autor.

- A2 orientación (E-O). La principal superficie vidriada se ubica en la fachada (E), a la altura de visión, abarcando aproximadamente un 90% del largo la misma. La relación entre la superficie vidriada (SV) y superficie de piso (SP) (Norma IRAM AADL J20 04) es del 13%.
- A3 orientación (N-S). El sistema de iluminación natural consta principalmente de una superficie vidriada ubicada en la fachada (S), a la altura de visión, abarcando aproximadamente un 90% del largo de la misma. En relación a las superficies vidriadas de la fachada (N), se ubica en la parte superior y se encuentra parcialmente obstaculizado por arbolado exterior de especie ciprés. La relación entre SV y SP es del 19%.
- A4 orientación (N-S). La principal superficie vidriada se ubica en la fachada (N), en la parte superior abarcando aproximadamente el 90% del largo de la misma y cuatro ventanas a la altura de la vista. El sistema de iluminación natural del aula se completa con difusores opacos en el interior de las ventanas altas; con acabado en esmalte sintético color blanco (Mitchell et al., 1999). La relación entre SV y SP es del 20%.

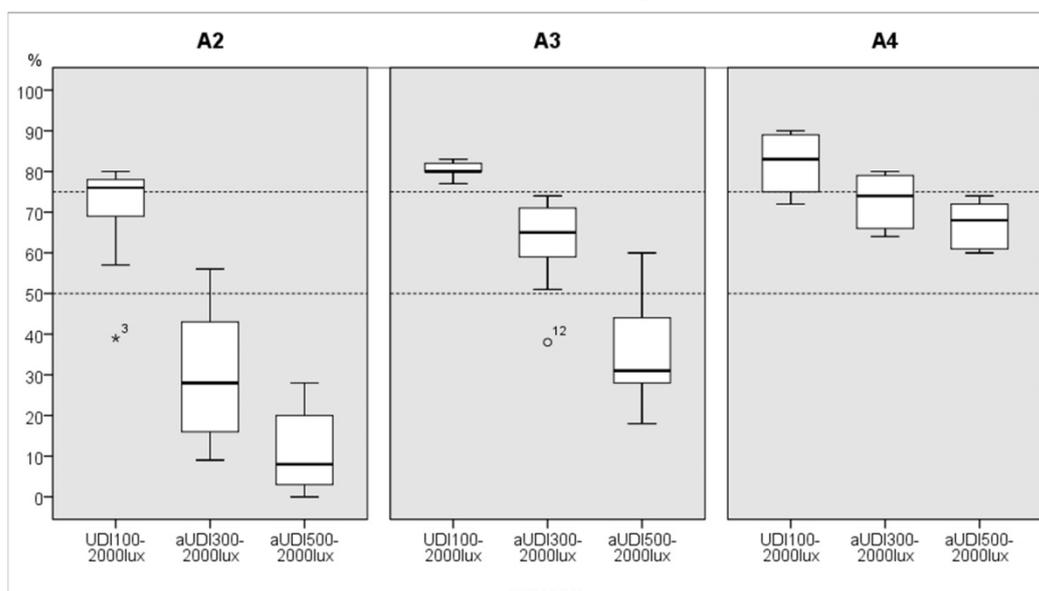
Parámetros de simulación. El "rango útil de iluminación natural" establecido fue de iluminancias horizontales (E_h) de 100-2000 lux, 300-2000 lux y 500-2000 lux registrados en una grilla de 9 puntos

de medición, a partir de los criterios empleados internacionalmente del índice de iluminación natural útil (*siglas en inglés* UDI) (Nabil & Mardaljevic, 2005) y valores mínimos (300 lux) y valores aconsejables (500 lux) propuestos en la normativa nacional vigente para edificios escolares (Norma IRAMAADLJ20 04), respectivamente. Todas las tipologías fueron desarrollados en su totalidad en RADIANCE-DAYSIM integrados en la herramienta DIVA generada para el entorno de Rhinoceros 3D (McNell et al., 2010).

Resultados

Al analizar en primera instancia el índice $UDI_{100-2000lux}$ en las tres tipologías se observa que éste supera el 80%. Las tipologías, A3 y A4 presentan el mayor porcentaje, siendo en ambos casos el $UDI_{100-2000lux} > 80\%$. Posteriormente, al establecer un nuevo rango “útil” a partir del valor de iluminancia mínima (E_{hM}) requerido por la normativa nacional de 300 lux ($aUDI_{300-2000lux}$), los resultados muestran una clara disminución en los promedios en comparación al indicador $UDI_{100-2000lux}$. Esto se debe al ajuste del rango a partir del incremento de la E_{hM} de 100 a 300 lux. La mayor disminución es del 39% y se encuentra en el espacio A2. En relación a los espacios restantes ésta no supera el 20%, siendo para A3 el $aUDI_{300-2000lux} = 62\%$ (disminución del 19%) y para A4 $aUDI_{300-2000lux} = 73\%$ (disminución del 9%). Finalmente, se establece un nuevo rango a partir del valor de iluminancia aconsejable (E_{hA}) requerido por la normativa nacional de 500 lux ($aUDI_{500-2000lux}$). Como resultado puede observarse una nueva disminución en los porcentajes generales del indicador de uso del espacio, la cual se encuentra principalmente en el espacio A3 con una disminución del 27%, mientras que en los casos restantes es menor al 20%.

Gráfico 2. Indicadores anuales UDI y aUDI en las tipologías seleccionadas A2, A3 y A4.



Fuente: Imágenes tomadas por el autor.

Conclusiones

Al aplicar la metodología de evaluación dinámica, se observaron diferencias importantes en los análisis, a partir de los rangos establecidos como “útiles”, poniendo en evidencia la necesidad de un adecuado ajuste de los rangos de uso de acuerdo a los parámetros específicos del espacio. De no ser

así, el uso de métricas dinámicas genéricas (UDI) -y la falta de herramientas de ajuste de las mismas-, generan una interpretación errónea del comportamiento de la iluminación natural en el interior del espacio.

La herramienta *SeasonSIM@* y el indicador *aUDI* fueron diseñados con el objetivo de lograr la aplicación de rangos específicos de uso de un espacio iluminado por luz natural. A partir de esta funcionalidad fue posible establecer diferentes rangos derivados de estudios experimentales, o bien de la especificidad propia de la temática abordada (p.e., en tipologías aulas establecer para su análisis como límite inferior E_{hM} (300 lux) y E_{hA} (500 lux)). Si bien se reconoce que el rango proporcionado por *aUDI* podría haber sido alcanzado a partir de la combinación de las métricas como $UDI_{100-2000lux}$ y DA_{300lux} , se estaría dependiendo de los desarrolladores de software para la incorporación de nuevos cálculos y métricas. De esta manera, a partir de *SeasonSIM@* se logra independizar el estudio de métricas dinámicas existentes (UDI, DA, DAcon, DAv entre otras) y sus rangos establecidos por *default*; posibilitando la generación de nuevos rangos de evaluación personalizados a través del ajuste de sus límites inferiores y superiores. Todo ello sin dejar de lado la rigurosa metodología predictivas de cálculo (trazado de rayos) de las herramientas dinámicas.

Como resultado se obtienen, al incorporar el pos-procesamiento estadístico, una mayor representatividad del comportamiento de la iluminación natural de espacio educativo con rangos específicos (IRAM AADL 20 04). Al emplear métricas genéricas como $UDI_{100-2000lux}$ las tipologías estudiadas presentan en general una ocurrencia de iluminancia “útil” del 70-80%. Sin embargo, estos valores están establecidos entre los 100-2000 lux. Al ajustar este rango al *valor mínimo* requerido por la norma ($E_{hM}= 300$ lux) se observó una disminución en el promedio de la iluminancia del 22%. En el caso de un nuevo ajuste al *valor aconsejable* ($E_{hA}= 500$ lux), éste se redujo en un 17% más. Como resultado general, se estima en 40% la diferencia porcentual entre el uso de rangos genéricos $UDI_{100-2000lux}$ y rangos ajustados $aUDI_{500-2000lux}$. De forma complementaria, el ajuste progresivo del límite inferior del rango (100 lux, 300 lux y 500 lux), permitió observar las dificultades que presentan las orientaciones E-O en la región –ejemplificado en el caso A2-. Al ajustar el *rango aconsejable* pudimos apreciar que en A2 durante la mayor parte del día los valores no superan los 100 lux, obteniendo $aUDI_{500-2000lux}= 12\%$.

Los resultados obtenidos son claramente alentadores. A partir de los mismos se espera contribuir a la evaluación de la capacidad visual y la eficiencia energética proporcionada por la luz natural, a través de herramientas que favorezcan estimar con más precisión la cantidad de luz que ingresa a un edificio.

Bibliografía

- Mardaljevic, J., Hescong L. & Lee E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*, 41(3), 261-283.
- McNeel, R. et al. (2010) Rhinoceros Version 4.0. Service Release.
- Mitchell, J. et al (1999). Escuela Marcelino Blanco: un edificio energéticamente eficiente en el este de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3(1).

- Monteoliva, J.M. & Cortegoso J.L. (2015) SeasonSIM v2.0 [CD-ROM]: Herramienta on-line de procesamiento estadístico de métricas dinámicas de iluminación natural. Versión 2.0. Mendoza: Grupo de Habiente Humano y Vivienda. (Registro CONICET, Exp. 5249299).
- Monteoliva, J.M. (2014). Iluminación en aulas. La dinámica de luz natural en cielos claros y su incidencia en el rendimiento atencional de los alumnos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Monteoliva, J.M., Pattini, A. (2013). Metodologías para el análisis dinámico del factor iluminación de alta precisión en espacios educativos en Memorias de XI Jornadas Argentinas de Luminotecnia: nuevas tecnologías para nuevos desafíos, Tucumán, Argentina. ISBN 978-987-1881-44-4.
- Nabil A. & Mardaljevic J. (2005). Useful daylight illuminance: A new paradigm to access daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41–59.
- Pattini, A. (2009). La Luz Natural en las Escuelas: aprovechamiento y control de la luz solar en aulas. Buenos Aires: Dunken.
- Reinhart C.F., Galasiu A. (2006). Results of an Online Survey of the Role of Daylighting in Sustainable Design. NRC-IRC Report.
- Reinhart, C.F. et al. (2011). DIVA for Rhino Version 2.0. Disponible en: <<http://www.diva-for-rhino.com/>>. Acceso en: 25 nov. 2013.
- Reinhart, C.F., Mardaljevic J. y Rogers Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design, *Leukos*, 3(1), 1-20.
- Ward, G.; Shakespeare, R.A. (1998). *Rendering with Radiance*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

Autores

Juan Manuel Monteoliva es Doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (UNT), Becario PosDoctoral CONICET y Docente de la Facultad de Artes y Diseño (UnCuyo). jmonteoliva@mendoza-conicet.gob.ar

Andrea E. Pattini es Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (UNT), Investigadora Principal CONICET y Directora del Grupo de Iluminación Natural y el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (INCIHUSA CCT CONICET Mendoza). apattini@mendoza-conicet.gob.ar