

USO DE BASES CLIMÁTICAS REGIONALES Y SU IMPACTO EN LA SIMULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN NATURAL DE ALTA PRECISIÓN.

J.M. Monteoliva¹, A. Villalba¹ y A. Pattini²

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV-INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Científico y Tecnológico – CCT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5244322 – Fax 0261-5244001 e-mail: jmonteoliva@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido: 8-4-13; Aceptado: 10-6-13.

RESUMEN.- La estimación precisa de la cantidad de luz que ingresa a un edificio, es el primer paso requerido para la evaluación de la capacidad visual y la eficiencia energética proporcionada por la luz natural. El objetivo del trabajo planteado es el estudio del impacto de diferentes bases climáticas, generadas y obtenidas (ARG_Mendoza CCT, ARG_MendozaMN6 y ARG_MendozaAP), en la simulación del factor de iluminación natural de alta precisión. La metodología empleada está dividida en la generación y obtención de archivos climáticos (Mendoza), análisis comparativo y su impacto en el cálculo predictivo del factor iluminación natural en interiores. El análisis reflejó mayores variaciones con el ingreso de radiación solar directa, principalmente en el interior del espacio. En períodos cercanos al solsticio de invierno y equinoccios, las diferencias promedio fueron entre 13726lux-2750lux, respectivamente. La importancia de contemplar estas diferencias radica no sólo en la predicción de valores mínimos y máximos; sino también, y fundamentalmente, en la elección y diseño de estrategias de control solar.

Palabras claves: iluminación natural, filtros de control solar, percepción visual, métricas dinámicas.

WEATHER DATA USE AND ITS IMPACT ON REGIONAL HIGH ACCURACY SIMULATION OF DAYLIGHTING

ABSTRACT.- accurate estimation of the amount of light entering a building is the first step required for the assessment of visual capacity and energy efficiency provided by natural light. The objective of the proposed work is to study the climatic impact of different weather data (ARG_Mendoza CCT, ARG_MendozaMN6 and ARG_Mendoza AP) in the simulation of daylight factor with high precision. The methodology is divided in three stages: generation and collection of weather records (Mendoza), comparative analysis and its impact on predictive calculation of indoor day lighting factor. The analysis reflected greater variation between simulations when direct sunlight incidence in the interior space was detected. In periods near to winter solstice and equinoxes, the average differences were between 13726lux-2750lux, respectively. The importance of considering these differences lies not only in predicting the minimum and maximum values, but also and mainly in the choice and design of solar control strategies.

Keywords: day lighting, solar radiation, dynamic simulations

1. INTRODUCCIÓN

El primer paso en la evaluación de la capacidad visual y la eficiencia energética proporcionada por la luz natural requiere una estimación precisa de la cantidad de luz que ingresa a un edificio (Li, Lau y Lam, 2004). La decisión más crítica para conocer el comportamiento de la iluminación natural en los interiores de los edificios se encuentra durante la fase del diseño; donde el sitio, la configuración, los aventanamientos y las estrategias de control son formulados. Estas decisiones afectan la cantidad y calidad de la iluminación, costos, vistas, ganancia solar y uso de energía.

El “modelado” de la luz natural es un reto cada vez más importante; además de producir potenciales beneficios en la salud y reducciones entre un 50% y 80% del consumo de iluminación artificial (Bodart, 2002); sigue siendo un factor predominante en el entorno percibido por los usuarios (Andersen, 2007). La última década ha sido testigo de múltiples avances en la forma de analizar numéricamente el comportamiento general de la iluminación natural en los diversos espacios. Entre los principales avances se puede mencionar: no sólo cálculos predictivos basados en modelos de cielo CIE (CIE Overcast, CIE Clear, CIE Sunny) - *simulación estática*- (Jarvis y Donn, 1997; Ward y Shakespeare, 1998); sino también basados en archivos de clima y distribución de luminancia de cielo (Pérez, Seal y Michalsky, 1993; Reinhart, 2006; Mardaljevic y Rogers, 2009) -*simulación dinámica*-. Asimismo cabe destacar otros

1. Becario del CONICET

2. Investigadora del CONICET

avances producidos en el campo del deslumbramiento (Wienold, 2006); y en modelos predictivos comportamentales de los ocupantes frente a los dispositivos de control (Reinhart, 2004).

Actualmente, las herramientas de simulación predictiva pueden modelar con precisión el comportamiento de la iluminación natural en los espacios interiores, disminuyendo la demanda y el empleo de modelos a escalas. Sin embargo requieren nuevos parámetros para la obtención de datos de precisión. Éstos se basan en la correcta descripción y caracterización de la fuente de luz -global y directa- (Pérez et al, 1993). Por esta razón, la disponibilidad de datos de la distribución de radiación solar global, resulta fundamentalmente importante. Sin embargo, la mayoría de los científicos y proyectistas abocados al estudio de la iluminación natural en cielos claros no disponen de estos datos para su localidad (Mardaljevic, 2000). Esto con lleva a la utilización de bases climáticas ofrecidas por softwares comerciales (ej. METEONORM) o de procedencia desconocida. En este marco, se plantea como objetivo del trabajo el estudio del impacto de diferentes bases climáticas -generadas para la ciudad de Mendoza (ARG_MendozaCCT) y obtenidas por software comercial (ARG_MendozaMN6 y ARG_MendozaAP)- en la simulación del factor de iluminación natural de alta precisión.

El entorno para la simulación del factor de iluminación natural fue el software DAYSIM (v3.1e beta), herramienta basada en RADIANCE, desarrollada por el Consejo Nacional de Investigación de Canadá en coparticipación con el Instituto Fraunhofer de Energía Solar de Alemania. Éste emplea métodos de optimización del cálculo de iluminancia y distribución de luminancia bajo distintas condiciones climáticas -información climática del sitio en estudio- a lo largo del año, bajo el Modelo Pérez de Cielo. Asimismo aporta diferentes métricas para el análisis predictivo del factor de iluminación natural como: DF (coeficiente de luz diurna), DA (luz natural autónoma), UDI (iluminación natural útil), DSP (porcentaje de saturación de luz natural) y Exposición de luz natural anual. La justificación en la selección de DAYSIM como entorno de simulación, se debió a limitaciones encontradas en software similares como EnergyPlus (Versage, Melo y Lambert, 2010; Ramos y Ghisi, 2010), que demuestran que el algoritmo empleado por esta herramienta sobreestima los valores de iluminancia para los puntos más lejanos a los aventanamientos. Sin embargo, como se reconoce el uso masivo de esta herramienta en el análisis energético predictivo, los *output* brindados por DAYSIM (consumos energéticos de iluminación) son totalmente compatibles y exportables a EnergyPlus, como a otros software de esas características Esp-R, TRNSYS, DIVA (Jakubiec y Reinhart, 2011). Por último el espacio virtual elegido para realizar las pruebas predictivas fue un aula típica (5mts x 9mts x 2.80mts) de Nivel Inicial (EGBI-EGBII) propuesta por la norma IRAM AADL J 20 04 y los Criterios y Normativas Básicas de Arquitectura Escolar (CyNBAE); emplazada en la provincia de Mendoza (32.52 S, 68.52.45 E -700msm-)

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada puede ser dividida en tres etapas principales: (1) *Generación y obtención de archivo climático para la ciudad de Mendoza*, (2) *Análisis comparativo general entre bases* y (3) *Impacto de éstas en el*

cálculo predictivo de precisión del factor iluminación natural en interiores.

2.1. Generación y obtención de archivo climático para la ciudad de Mendoza.

La construcción de un paquete o archivo climático, como los ofrecidos por la IES, TAS y EnergyPlus, son empleados para representar con mayor precisión el clima anual de una región o ubicación en estudio. Estos archivos pueden tener las características de: año de referencia (TRY), año típico meteorológico (PLT), año de tiempo estándar (EWY); si embargo todos coinciden en una representación de *patrones climáticos típicos de un año de datos hora-hora* (8.760 horas). Como foco particular de estudio y objetivo del trabajo, se hablará de *archivos climáticos* en aspectos relacionados a indicadores predictivos del factor de iluminación natural de un espacio; es decir, nos centraremos en los parámetros de: *irradiancia horizontal global, irradiancia directa e irradiancia difusa*. Como se ha mencionado en trabajos presentados anteriormente (Villalba, Monteoliva y Pattini, 2011), no existen actualmente archivos climáticos para la ciudad de Mendoza, en paquetes predictivos como DAYSIM ni Energy Plus. Por esta razón se tomó la iniciativa de *generar archivos climáticos propios* -a partir de la estación de iluminación del INCIHUSA CCT Mendoza- (Pattini, 2011) para ser comparados con archivos climáticos *brindados por el software METEONORM* (v.7. shareware).

2.1.2. *Generación de archivos climáticos propios*: se formula esta etapa desde la necesidad de contar con datos de irradiancia global horizontal y difusa, validados y confiables, para la ciudad de Mendoza. Los datos minuto-minuto fueron aportados por la estación de medición de iluminación natural del Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA) - Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda-, ubicado en el Centro Científico y Tecnológico Mendoza (CCT Mendoza) (32.53S y 68.51O). Estos datos son tomados automáticamente por un micro-controlador MC68H11 provisto de cuatro sensores (Iluminancia e irradiancia horizontal, global y difusa respectivamente) y chequeados de acuerdo a los controles de calidad establecidos por la CIE (Tregenza et al.,1994) para las estaciones de la red mundial. Para el compilado anual hora-hora -parámetros de irradiancia horizontal global e irradiancia difusa- se utilizaron los datos correspondientes al período 2009-2011. Si bien se reconoce la necesidad de contar con períodos de 5 años promedio, se presentó la dificultad de prolongados períodos de inactividad de la estación por tareas de mantenimiento; lo cual generó una falta de datos continuos disponibles de sólo 2 años de datos controlados (*fig. 1*)



Fig. 1: Estación de medición de iluminación natural del Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales.

Una vez obtenidos los datos anuales hora-hora de la estación, fue necesaria la conversión de la irradiancia horizontal global en irradiancia directa, parámetro utilizado por el simulador DAYSIM, en el cálculo predictivo de la iluminación natural. Para ello se utilizó el modelo DISC, producido por el Centro de Datos de Recursos Renovables (RReDC) de Estados Unidos. La herramienta usada (DISC), es un código para el cálculo de la radiación solar directa, desarrollado y validado por el Dr. E. Maxwell Daryl Myers, del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) (Maxwell, 1987). La conversión de los datos se basa en una relación entre el índice de claridad global (Kt) y el índice de claridad directa normal (Kn), y la geometría solar. Es decir, a partir de datos globales horizontales medidos en promedio por hora se obtiene datos de irradiancia directa. Los datos de irradiancia directa obtenidos en conjunto con los de irradiancia difusa fueron compilados utilizando la herramienta Weather Manager (ECOTECH 2011), para el compilado final y generación de las extensiones climáticas (*.wea y *.epw). Este compilado presenta como *input* un archivo de texto tabulado (*.txt). En él se expresan en columnas los siguientes datos: columna 1, 2 y 3 el *mes* (1-12), *día* (1-31) y *hora* (1-24) respectivamente, columna 4 *irradiancia directa* (W/m²) y columna 5 *irradiancia difusa* (W/m²). El archivo generado de *output* fue: ARG_MendozaCCT (latitud -32.5; longitud 68.5; Zona de Tiempo 60, elevación del sitio 700msm) en extensión (*.wea) y (*.epw).

2.1.2. Obtención de Archivos de Clima de METEORNOM: METEORNOM es un producto desarrollado por METEOTEST, con experiencia en el desarrollo de bases de datos meteorológicas para aplicaciones energéticas. Presenta como características generales: datos climatológicos de 7400 estaciones meteorológicas actualizables. Parámetros de medición (radiación, temperatura, humedad, precipitación, días con precipitación, velocidad del viento y dirección, horas de sol, UVA global) a partir de la utilización de *datos basados en satélites* para áreas con baja densidad de estaciones meteorológicas. Los archivos obtenidos para la ciudad de Mendoza fueron: ARG_MendozaMN6 (latitud -32.70; longitud 68.00; Zona de Tiempo 60, elevación del sitio 780msm) y ARG_MendozaAP (latitud -32.83; longitud 68.78; Zona de Tiempo 60, elevación del sitio 704msm). Las extensiones de los archivos de clima aportados por el programa son: archivo de clima EnergyPLUS (*.epw), informe de síntesis de los datos (*.stat) y diseño de condiciones diarias (*.ddy), información sobre aspectos y limitaciones del METEORNOM (*.info) y detalles sobre el proceso estadístico (incluye errores) (*.audit).

2.2. Análisis comparativo general entre las base climática

En esta etapa se compararán los datos obtenidos en la base climática generada (ARG_MendozaCCT) y los ofrecidos

por el software comercial (ARG_MendozaMN6 y ARG_MendozaAP). El análisis estadístico se basará en los valores máximos alcanzados, las medias aritméticas y la distribución de frecuencias. Posteriormente, para profundizar en la temática, se realizará una reagrupación de los datos climáticos anuales de las bases mencionadas; en cinco (6) intervalos ($r = 200w/m^2$ y valores >1).

2.3. Impacto del uso de bases climáticas en el cálculo predictivo de precisión del factor iluminación natural.

En un día soleado, la principal fuente de luz en el cielo viene directamente del sol. Pero a medida que la luz solar directa se dispersa dentro de la atmósfera de la Tierra, la bóveda celeste también se convierte en una fuente de luz visible. Es decir, que podemos dividir a la luz solar en componentes directa y difusa. En cielos claros o soleados, como el caso de la provincia de Mendoza y muchas provincias del país, el tipo del modelo de cielo aporta a procesos de simulación predictiva más precisos. A diferencia del modelo de cielo CIE utilizado en *simulaciones estáticas* (Desktop RADIANCE), el *Modelo Pérez de Cielo* (DAYSIM) ofrece predecir el acondicionamiento lumínico anual de un espacio; a partir del uso de un archivo climático del sitio en estudio -*simulaciones dinámicas*-. Este archivo contiene información de la fecha, hora, sitio y los valores de irradiancia directa y difusa, que en conjunto con el Modelo de Pérez, permite el cálculo de la distribución de luminancia del cielo (Pérez et al, 1993). Este modelo consta de cinco parámetros influyentes: la oscuridad o claridad del horizonte, el gradiente de luminancia cerca del horizonte, la intensidad relativa de la región circunsolar, la anchura de la región circunsolar y la intensidad relativa de la luz difundida (Pérez, Ineichen, Seals, Michalsky y Stewart, 1990). Por lo expresado, se empleará como entorno de simulación la herramienta DASYSIM, anteriormente descrita.

Como fue mencionado anteriormente, se trabajará como modelo virtual, un aula típica (5mts x 9mts x 2.80mts) de Nivel Inicial (EGBI-EGBII), emplazada en la provincia de Mendoza (32.52 S, 68.52.45 E -700msm-) -sitio sin obstrucciones ni arbolado con acceso pleno al sol, de uso fundamentalmente diurno-. Ésta presenta una arquitectura de bloque compacto con ventana orientada al norte con un área vidriada en relación al área del piso del 25% y un aventanamiento posicionado a 1mt sobre nivel de solado (Apartado 4 Requisitos Especiales –IRAM AADL J 20 04- y Apartado 4.6.2.1 Requisitos –CyNBAE-(fig. 2) de transmitancia 1, reflectancia y absorción 0. A continuación se detallan el grillado establecido para los puntos de medición -sobre plano horizontal de trabajo 0.80cm- (fig. 3) y los parámetros ópticos de los materiales, los cuales fueron tomados de las normas y criterios vigentes para la edificación de espacios educativos (tabla 1).

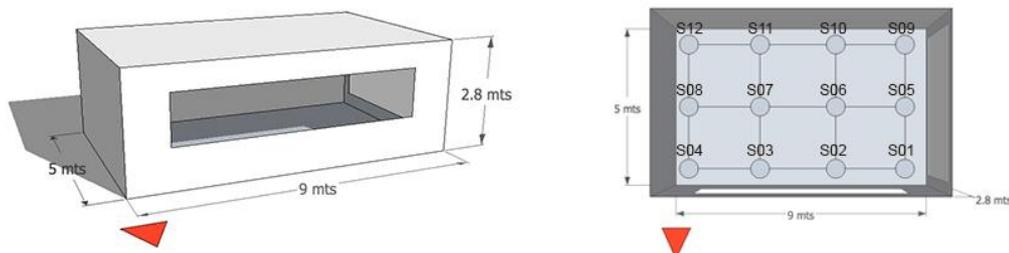


Fig. 2: Modelo Virtual utilizado para el análisis predictivo del factor de iluminación –orientación Norte-
Fig. 3: Grillado establecido para los puntos de medición (altura 0.8cm)

Tabla 1: Propiedad ópticas de los materiales y características del grillado en el plano útil.

Factores de reflexión recomendadas para las superficies interiores de los locales (IRAM AADL J 20 04)		Materiales RADIANCE empleados
Cielorraso	70 – 80 [%]	beige paint LBNL 2k216
Muros	40 – 60 [%]	beige 2k210 LES091
Solados	10 – 30 [%]	beige-brown 3k313 LES091
Grillado en el Plano Útil* (IRAM AADL J 20 02)		
Cantidad de puntos calculados por la fórmula aportada por la normativa		(12) puntos (4 x 3)
Plano de Trabajo		h= 0.8 m.

* Plano útil se considera la zona del plano de trabajo, determinadas por las líneas trazadas a 1m de la pared

Los parámetros de simulación utilizados por DAYSIM fueron los correspondientes a un escena simple (ab) 5; (ad) 1000; (as) 100; (aa) 0.1; (ar) 300; (dt) 0; (ds) 0; Formato de archivo DDS; Horario 1:00 a 24:00; iluminancia mínima 200lux. Como resultado se obtendrá tres simulaciones correspondientes a un mismo modelo virtual (aula típica), ya descritas, en relación a las 3 bases climáticas analizadas (ARG_MendozaCCT, ARG_MendozaMN6 y ARG_MendozaAP). El estudio se basará, en primera instancia, en un análisis comparativo de los resultados obtenidos en las métricas dinámicas DA (luz natural autónoma) y UDI (iluminación natural útil) ofrecidos por el simulador. En segunda instancia, se analizará el caso

particular de tres puntos de medición (S02, S06 y S10) en diferentes periodos del año, a partir del criterio de horas de disponibilidad de radiación solar (HsDRS) (tabla 2). La conversión de las unidades de radiación [W/m²] a unidades fotométricas [lux] serán por medio del coeficiente de iluminación natural “daylight coefficient” (Tregenza y Waters, 1983; Reinhart y Walkenhorst, 2011); parámetro brindado por el simulador DAYSIM. La principal ventaja de este modelo, es la posibilidad de calcular a partir de este coeficiente y la distribución luminosa del cielo (Perez et al., 1990) iluminancias o luminancias de un punto de referencia bajo diferente condición de cielo.

Tabla 2: Criterio utilizado para la agrupación anual en períodos

Período	Valor Central	Rango	HsDRS
1	Solsticio Verano (21 de Diciembre)	Del 6 de Noviembre al 5 de Febrero	14hs
2	Equinoccio Otoño (21 de Marzo)	Del 6 de Febrero al 5 de Mayo	12hs
3	Equinoccio Primavera (21 de Septiembre)	Del 6 de Agosto al 5 de Noviembre	8hs
3	Solsticio Invierno (21 de Junio)	Del 6 de Mayo al 5 de Agosto	8hs

3. RESULTADOS

(2) Análisis comparativo general entre las base climática

A continuación se presentan gráficamente los archivos de climas obtenidos (fig. 4, 5 y 6), tanto por METEORNOM (a) y (b), como los generados a partir de la estación del CCT Mendoza (c). Donde el eje (x) representa las semanas del año [Wk] y el eje (y) los [W/m²].

Los estadísticos generales para las tres bases analizadas ARG_MendozaCCT (EMza), ARG_MendozaMN6 (MN6) y ARG_MendozaAP (AP) para valores >1 -contemplando con ello la existencia de la fuente natural como recurso disponible para el acondicionamiento lumínico- en parámetros de irradiancia directa (ID) e irradiancia difusa anual (IDif) se presenta en la siguiente tabla (tabla 3).

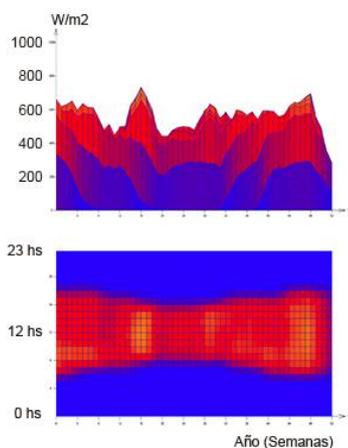


Fig. 4: (a) ARG_MendozaMN6
latitud -32.70; longitud 68.00
Zona de Tiempo 60
elevación del sitio 780msm

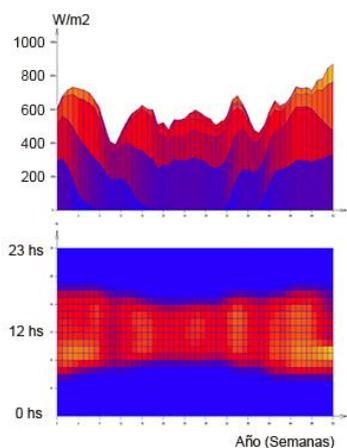


Fig. 5: (b) ARG_MendozaAP
latitud -32.83; longitud 68.78
Zona de Tiempo 60
elevación del sitio 704msm

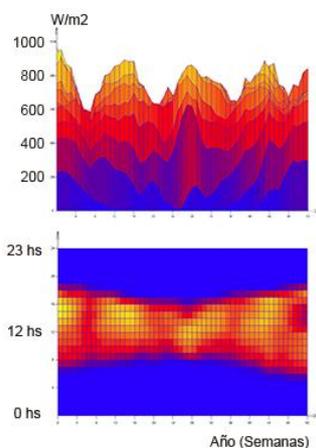


Fig.6: (c) ARG_MendozaCCT
latitud -32.5; longitud 68.5
Zona de Tiempo 60
elevación del sitio 700msm

Tabla 3: Estadísticos generales de las bases climáticas EMza – MN6 y AP para irradiancia directa y difusa

	EMza_ID	EMza_IDif	MN6_ID	MN6_IDif	AP_ID	AP_IDif
N						
Válidos (valores >1)	3680	4239	3775	4471	3800	4469
Perdidos (valores =0)	5080	4521	4985	4289	4960	4291
Media	598,34	117,72	514,91	146,84	524,69	143,70
Desviación típica	337,234	86,928	327,708	117,243	314,018	111,797
Asimetría	-,515	1,879	-,123	1,034	-,196	1,051
Error típico de asimetría	,040	,038	,040	,037	,040	,037
Curtosis	-1,182	4,076	-1,363	,273	-1,279	,449
Error típico de curtosis	,081	,075	,080	,073	,079	,073
Mínimo	2	11	2	2	2	2
Máximo	1075	630	1075	546	1073	529

Tabla 4: Estadísticos generales de las bases climáticas EMza – MN6 y AP para irradiancia directa y difusa

	EMza_ID [%]	EMza_IDif [%]	MN6_ID [%]	MN6_IDif [%]	AP_ID [%]	AP_IDif [%]
Intervalos						
1 - 200	21,3	85,4	25,0	73,6	22,2	75,1
201 - 400	8,0	13,1	14,5	21,9	15,6	21,3
401 - 600	11,2	1,4	15,7	4,5	15,9	3,7
601 - 800	21,4	0,0	17,2		19,9	
801 - 1000	33,1	0,0	25,5		25,0	
1001 - 1200	4,9	0,0	2,1		1,5	
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Los datos estadísticos obtenidos para las diferentes bases, como se puede observar presentan ciertas similitudes. Sin embargo, el estudio se centrará, para analizar con mayor profundidad, en los parámetros de media (X), desviación estándar (DS) y asimetría (A) obtenidos para irradiancia directa (ID) e irradiancia difusa ($IDif$).

En primera instancia se puede observar que la mayor diferencia entre medias aritméticas (ΔX) en (ID) fue de ($\Delta X = 83.4 \text{ W/m}^2$) entre la base EMza_ID ($X = 598.3 \text{ W/m}^2$) y MN6_ID ($X = 514.9 \text{ W/m}^2$); mientras que para la ($IDif$) fue de ($\Delta X = 26 \text{ W/m}^2$) entre EMza_IDif ($X = 117.7 \text{ W/m}^2$) y AP_IDif ($X = 143.7 \text{ W/m}^2$). En el caso de las desviaciones estándar (DS), la diferencia mayor en (ID) fue de ($\Delta DS = 9.5$) entre EMza_ID ($DS = 337.2$) y MN6_ID ($DS = 327.7$); y para ($IDif$) de ($\Delta DS = 30.3$) entre EMza_IDif ($DS = 87$) y MN6_IDif ($DS = 117.2$). Esto destaca, como se sabe, una mayor dispersión de los datos de (ID) con respecto a ($IDif$), sin embargo la diferencia mayor entre las bases se da en los valores de ($IDif$). En el caso de las asimetrías (A), se puede hablar de tendencia asimétrica negativa para EMza_ID ($A = -0.515$) y de cierta simetría para MN6_ID ($A = -0.123$) y AP_ID ($A = -0.196$). Es decir, la base EMza_ID muestra una concentración de frecuencias hacia los valores altos, mientras que para MN6_ID y AP_ID esta concentración está dada en los valores medios. La mayor diferencia de asimetría para (ID) fue entre EMza_ID ($A = -0.515$) y

MN6_ID ($A = -0.123$) de ($\Delta A = 0.39$). En relación al parámetro ($IDif$), las tres bases presentan la característica de asimetría positiva, donde la diferencia mayor de (ID) fue de ($\Delta A = -0.80$) entre la base EMza_IDif ($A = 1.879$) y MN6_IDif ($A = 1.034$).

Para profundizar en la temática, se realizará una reagrupación de los datos climáticos anuales de las bases mencionadas (EMza - MN6 y AP); en cinco (5) intervalos ($r = 200 \text{ W/m}^2$ y valores >1) (tabla 4).

Como resultado de la distribución de frecuencia de las bases mencionadas; se puede observar que las principales diferencias porcentuales entre los rangos se obtiene para la (ID) en el rango (4) (801 - 1000 W/m^2) con un valor del 8% entre EMza_ID (33%) y MN6_ID (25.5%) y para la ($IDif$) en el rango (1) (1 - 200 W/m^2) del 11% entre EMza_IDif (85.4%) y MN6_IDif (73.6%) (tabla 4).

(3) Impacto de éstas en el cálculo predictivo de precisión del factor iluminación natural en interiores.

En esta etapa utilizaremos el modelo virtual y las métricas brindados por DAYSIM (tabla 5). Cabe destacar que dadas las similitudes entre las bases obtenidas de software comerciales ARG_MendozaMN6 y ARG_MendozaAP, se opta por trabajar, desde este análisis en adelante, con la base climática ARG_MendozaMN6 para ser comparado con la base generada ARG_MendozaCCT.

Tabla 5: Métricas dinámicas obtenidas en simulaciones DAYSIM (DA y UDI).

Ptos.	DA [%]		UDI <100 [%]		UDI 100-2000 [%]		UDI >2000 [%]	
	ARG_MzaMN6	ARG_MzaCCT	ARG_MzaMN6	ARG_MzaCCT	ARG_MzaMN6	ARG_MzaCCT	ARG_MzaMN6	ARG_MzaCCT
S01	47	45	51	54	35	33	14	13
S02	49	48	51	50	8	8	41	41
S03	49	48	51	50	8	8	41	42
S04	47	45	51	54	36	33	12	13
S05	45	44	52	54	41	41	7	5
S06	47	45	51	54	30	27	19	19
S07	48	45	51	54	31	27	18	20
S08	45	44	52	54	40	41	8	5
S09	41	42	54	55	45	45	1	0
S10	43	44	53	55	44	45	3	0
S11	43	44	53	55	43	45	4	0
S12	41	43	54	55	45	45	2	0

000 Puntos seleccionados para profundizar en el análisis.

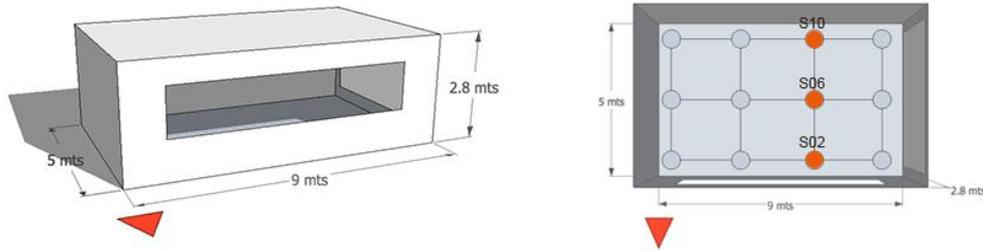


Fig. 7: Esquema general y específico de sensores evaluados en períodos

	EMza_S02	EMza_S06	EMza_S10	MN6_S02	MN6_S06	MN6_S10
Período 1						
Media	5466,8	1573,10	834,4	4673,3	1274,9	694,6
Máximo	22773	4737	2259	13092	2517	1336
Período 2						
Media	18115,6	2567,6	1129,5	20604,5	1671,8	842,7
Máximo	99989	21558	6302	98327	15713	1872
Período 3						
Media	13830,1	1148,5	635,0	22164,5	3135,5	1008,3
Máximo	88552	3402	1717	72877	26036	2075

Tabla 6: Estadísticos obtenidos para sensores S02, S06 y S10 en los períodos anuales (1, 2 y 3).



Fig. 8: Período 1 (S02, S06, S10), Período 2 (S02, S06, S10) y Período 3 (S02, S06, S10)

Como se observa en los porcentajes alcanzados por cada sensor en la *simulación dinámica* –DA (luz natural autónoma) y UDI (iluminación natural útil)- las diferencias porcentuales no superan el $\pm 4\%$. Sin embargo, como mencionamos anteriormente, estas métricas están basadas en cálculos de promedios. Por esta razón profundizaremos el análisis a partir de los resultados obtenidos del *raytrace* de la escena (sin procesar). Cabe destacar que este archivo se ubica dentro de los *output* ofrecidos por el software bajo la extensión (*.ill). A continuación se presenta una tabla con resultados promedio (tabla 6) y los gráficos estadísticos (fig. 8) obtenidos para los sensores S02, S06 y S10 en los distintos períodos mencionados en la tabla 2. La selección de estos sensores corresponde al área central del local y ubicados desde el aventanamiento hacia la profundidad del recinto (fig. 7).

Como se observa en el período 1 (6 de Noviembre al 5 de Febrero), la principal diferencia se encuentra en el punto S02 ($\Delta X=794\text{lux}$) -ubicado frente al aventanamiento-, seguida por los puntos S06 ($\Delta X=298\text{lux}$) y S10 ($\Delta X=140\text{lux}$). Es decir, los valores obtenidos en la simulación con la base ARG_MendozaCCT, son levemente más altos a los proporcionados por la base comercial ARG_MendozaMN6. En el período 2 (6 de Febrero al 5 de abril y 6 de agosto al 5 de noviembre) los puntos S06 y S10 ($\Delta X=240\text{lux}$ y $\Delta X=50\text{lux}$) presentan similar característica al período uno; es decir que se obtienen valores de iluminancia promedio más altos con el uso de la base generada, sin embargo S02 como S02, S06 y S10 del período 3 (Del 6 de Abril al 5 de

Agosto) se invierte la tendencia. Es decir, se obtienen valores más altos en las simulaciones con base climática comercial (ARG_MendozaMN6); acrecentando significativamente las diferencias en el punto S02 tanto en el período 2 ($\Delta X=2750\text{lux}$) como 3 ($\Delta X=13726\text{lux}$). Como podemos ver a partir de los períodos y los datos obtenidos en los diferentes modelos predictivos dinámicos, las principales diferencias se originan con la incorporación de la luz directa que ingresa en el local. Por esta razón analizaremos como último punto del trabajo las distribuciones de frecuencias de las bases ARG_MendozaCCT y ARG_MendozaMN6 para el período 3, donde se podrá visualizar (fig. 9) la falta de valores, principalmente en los rangos (2) ($201-400\text{W/m}^2$) y (3) ($401-600\text{W/m}^2$), rangos típicos diarios durante el período 3.

4. CONCLUSIONES

El uso y análisis de métricas dinámicas, ofrecen claramente un campo más representativo y sensible de las condiciones lumínicas de un espacio iluminado con luz natural, debido al dinamismo característico de dicha fuente. Esto se debe a un análisis a lo largo del “tiempo” con específicas condiciones climáticas. Sin embargo, trae consigo nuevos desafíos basados en la correcta manipulación y carga de los *input* intervinientes (geometría, grillado, materiales y archivo climático) para el análisis predictivo de alta precisión. Existe una elevada exactitud para los *input* “geometría” y “grillado”, brindada por el entorno de diseño asistido por

computadora (CAD); como para los avances producidos en las propiedades de los materiales, a través de la caracterización de la función de transmitancia y reflectancia bidireccional (BSDF). Sin embargo no se encuentra tal precisión en el *input* “archivos de clima”. Es por esta razón que se planteó como objetivo del trabajo aportar con la generación de archivos climáticos validados y confiables, los cuales brindan una adecuada representatividad del cielo de la región en estudio (Ciudad de Mendoza). Los resultados

permitieron una caracterización y tipificación del tipo de cielo de la región, como así también conocer el impacto de éste en simulaciones predictivas de precisión del factor de iluminación natural. Asimismo se encontraron coincidencias con resultados obtenidos en estudios comparativos recientes, donde se verifica una sobrestimación del recurso solar por parte de datos satelitales (Raichijk, 2009).

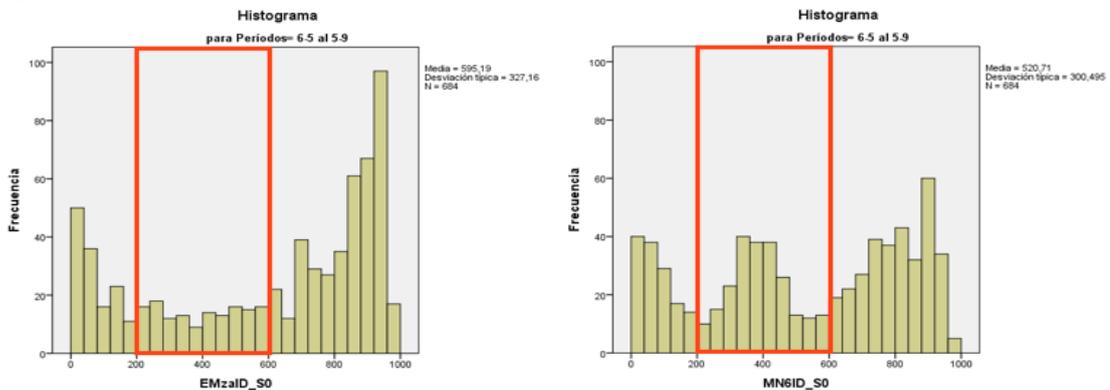


Fig. 9: Periodo 3 ARG_MendozaCCT y Periodo 3 ARG_MendozaMN6.

En relación a la iluminación natural y los modelos predictivos de precisión, aunque se reconoce la necesidad de contar con períodos más extensos de datos continuos - período utilizado (2009-2011); se han generado avances en la obtención de distribución de luminancias hora-hora para el cielo de la región (ARG_MendozaCCT60min). Asimismo se plantean nuevos desafíos con la incorporación de indicadores correspondientes al análisis térmico- energético (radiación, temperatura, humedad, precipitación, días con precipitación, velocidad del viento y dirección, horas de sol, UVA global), para la generación de un archivo climático completo.

Del análisis de los datos de iluminancia obtenidos para cada uno de los tres periodos, se detectó que las mayores variaciones entre bases, se generan con el ingreso, al espacio interior, de la radiación solar directa principalmente; periodos cercanos al solsticio de invierno, alcanzó diferencias promedio de ($\Delta X=13726\text{lux}$) y en periodos próximos a los equinoccios ($\Delta X=2750\text{lux}$). La importancia de contemplar estas diferencias radica, no sólo en la predicción de valores mínimos y máximos; sino también, y fundamentalmente, en la elección y diseño de estrategias de control solar, para evitar situaciones de falta de confort térmico y visual que conllevan al bloqueo de los aventanamientos generándose espacios sombríos que requieren de energía eléctrica para la iluminación diurna, tornándose espacios energéticamente no sustentables (Pattini, 2009).

REFERENCIAS

- Andersen M. (2007). Pioneering Daylighting Design Tool to combine Architectural Form with Advanced Technology: The LightSolve Project. Massachusetts: Building Technology Program.
- Bodart, M. and de Herde, A. (2002). Global energy savings in office buildings by use of daylighting. *Energy and Buildings* 34, 5,421-429.
- Ibarra D. y Reinhart C. F. (2009). Daylight factor simulations - How close do simulation beginners 'really' get? Building Simulation. Glasgow, Scotland, IBPSA: 196-203.
- J A Jakubiec, C F Reinhart (2011). "The 'adaptive zone' – A concept for assessing glare throughout daylight spaces", accepted for publication in *Lighting Research & Technology*.
- Jarvis D. y Donn M. (1997). Comparison of Computer and Model Simulations of a Daylit Interior with Reality: Proceedings of Fifth International IBPSA Conference / Building Simulation 97. Sept. 8-10, Prag (Czech Republic). Vol III-9.
- Leslie R. P., Radetsky L. C. y Smith A. M. (2011). Conceptual design metrics for daylighting. *Lighting Research and Technology* 1477153511423076, first published on November 8, 2011 doi:10.1177/1477153511423076.
- Mardaljevic J. (2000) Daylight Simulation: Validation, Sky Models and Daylight Coefficients. PhD Thesis, De Montfort University. Cap. 5: Sky Models and Lighting Simulation. Pag. 163-209.
- Mardaljevic J., L. Heschong y E. Lee (2009). *Daylight metrics and energy savings*. *Lighting Research and Technology* 41(3): 261-283.
- Maxwell E. L. (1987). Un modelo cuasi-física para la conversión de hora mundial horizontal a direct insolación normal. Informe Técnico N° SERI/TR-215-3087, Golden, CO: Solar Energy Research Institute.
- Pattini A. (2011). Estación IDMP Mendoza, Argentina. Biblioteca de descargas LAHV. Iluminación Natural. <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/atm/>
- Pattini A., E. Betman, (1998). Estudios Preliminares para evaluar la iluminación natural exterior en Mendoza. Mediciones y modelizaciones". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2, I, 03.67-03.70.3 - ISSN 0329-5184.
- Pattini A., Mermet A., de Rosa C. (1996). An exterior illuminance predictive model for clear skies in mid-western Argentina. *Energy and buildings* 24(2): 85-93.
- Perez R., Ineichen P., Seals R., Michalsky J. y Stewart R. (1990). Modeling daylight availability and irradiance

- components from direct and global irradiance, *Solar Energy* **44**(5), 271 – 289.
- Perez R., Seals R. y Michalsky J. (1993). All-Weather Model for Sky Luminance Distribution - Preliminary Configuration and Validation. *Solar Energy* **50**(3), 235-245.
- Raichijk C. (2009). Comparación de valores satelitales de irradiación solar global con datos de tierra en la República Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **13**. ISSN 0329-5184
- Ramos, G., and E. Ghisi. 2010. Analysis of Daylight Calculated Using the EnergyPlus Program. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14** (7): 1948-58.
- Reinhart C. F. y Walkenhorst O. (2001) Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, **33** (7): 683-697, ISSN 0378-7788, 10.1016/S0378-7788(01)00058-5.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778801000585>)
- Reinhart C., Mardaljevic J. y Rogers Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS* **3**(1): 1-20.
- Reinhart, C. F. (2004). LIGHTSWITCH (2002): A model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy* **77**(1): 15-28.
- Tregenza P R, Waters I M (1983). Daylight Coefficients. *Lighting Research & Technology* **15**(2), 65-71.
- Tregenza P. et al. (1994). Guide to recommended practice of daylight measurement. CIE 108.
- Versage R., Melo A. P. y Lamberts R. (2010). Impact of different daylighting simulation results on the prediction of total energy consumption. Fourth National Conference of IBPSA-USA New York City, New York. August 11 – 13.
- Villalba A, Monteoliva J.M. y Pattini A. (2011) Filtros de Control Solar Sobre Superficies Vidriadas. Evaluación Lumínica Mediante Métricas Dinámicas y Preferencia de Usuarios. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **28**, 27-36. ISSN 0328- 932X.
- Ward L. G. y Shakespeare R., (1998). Rendering with Radiance: the art and science of lighting visualization. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Webb A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy and Buildings*; **38**(7): 721-727
- Wienold J. y Christoffersen J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction method for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings* **38**(7): 743-757.