

# Simulación en la Casa Histórica de Tucumán

María del Rosario

Pérez Zamora

mariahperezamora@hotmail.com

Estudio comparativo con mediciones in situ

## Resumen

El estudio de la iluminación como factor contribuyente al deterioro de objetos patrimoniales en museos ha cobrado importancia para mejorar las condiciones de preservación a pesar de su inevitable exhibición. En general, se encuentran museos que no están ambientalmente preparados para garantizar la integridad material de su patrimonio y muchos no cuentan con el equipamiento necesario para determinar si una sala acuerda con las normativas de conservación de museos. Este trabajo compara los datos de iluminancia medidos in situ con un luxómetro *Minolta T-1M* en febrero-abril de 2013 en el museo Casa Histórica de la Independencia (Tucumán, Argentina), con los obtenidos mediante el software de simulación *Radiance*, herramienta de excelencia en el diseño de acondicionamientos lumínicos de recintos. Los resultados comparativos indican que es posible estimar la dosis de exposición anual lumínica previamente a la exposición de los objetos museísticos, empleando la simulación como herramienta de análisis ambiental.

**Palabras clave:** conservación, exhibición, iluminación, simulación, normativas.

## Introducción

Los museos, como toda otra institución destinada a la difusión de las piezas de valor histórico, artístico y cultural que componen la colección transitoria o permanente de un patrimonio, constituyen el medio de comunicación fundamental para la comprensión de la historia del hombre en el presente y en su

presente-futuro, y de allí la necesidad ineludible de mantener en las mejores condiciones posibles su estado de conservación. La apropiación de la historia pasada, presente y futura se realiza mediante la manipulación de objetos con significado simbólico y su contextualización. Los edificios que por ser testigos de la historia se terminan convirtiendo en verdaderos museos (casas-museo) merecen especial atención, pues constituyen en sí mismos un patrimonio artístico-arquitectónico que debe ser exhibido evitando intervenciones que comprometan sus características intrínsecas.

La organización como museo de una casa-museo tiene, generalmente, una intencionalidad que se manifiesta en mayor o menor medida en la forma en que se representan o contextualizan los objetos para transmitir un determinado mensaje al público visitante. Tanto la subjetividad del autor de un guión museográfico, como el contexto social del tiempo en que la representación tiene lugar, se hacen presentes continuamente.

Es entonces donde debe iniciarse conscientemente la labor de la exhibición, con todo lo que ello implica, dirigiendo los esfuerzos hacia la difusión del patrimonio edilicio así como también del custodiado, ajustándose a los criterios de una conservación preventiva.

Surge el dilema de hasta qué punto es posible exhibir un edificio museo y los objetos alojados en él sin causar perjuicios irreversibles. Son variados los recaudos que pueden tomarse en este campo, sin embargo, es necesario demostrar su efectividad, tanto en el corto, como en el largo plazo. En este sen-

tido, el daño por radiación es acumulativo y debe, por ello, ser estudiado como tal (Michalsky, 2009).

En lo que respecta al estado de conservación de los objetos patrimoniales, es el tipo de material y la composición de sus partes los que serán sensibles en mayor o menor medida a un ambiente de exhibición. Así es que las condiciones de humedad, temperatura y contaminación ambiental, como la iluminación empleada en la percepción de los objetos se consideran como agentes de deterioro si no se encuentran acordes al material que se pretende exhibir (Pavlogeorgatos, 2006).

La iluminación como recurso fundamental en el diseño museográfico se emplea para posibilitar la tarea visual (percibir y contemplar) y para otorgar la emotividad y el mensaje a las muestras exhibidas. Según el caso, pueden hallarse uno o ambos tipos de iluminación: la iluminación natural, que prevalece particularmente en las casas-museo, pues acompaña al edificio desde su creación; y la iluminación artificial, que se incorpora intencionalmente para contribuir a la percepción visual durante las horas diurnas y permitirla fuera de ellas.

El control lumínico es diferente según el tipo de iluminación de que se trate. La iluminación natural, si bien resulta necesaria en algunos casos para apreciar correctamente una casa-museo, puede resultar altamente peligrosa para los bienes exhibidos por su contenido de energía ultravioleta capaz de penetrar los materiales, y por lo tanto debe regularse empleando dispositivos externos (por ejemplo, vidrios difusores con filtros para el ultravioleta). Por el contrario, el control de la iluminación artificial posee la ventaja de ser regulable con mayor facilidad debido a que se disponen de diversas lámparas y luminarias a la hora de seleccionar la iluminación para objetos de museos, además de otorgar una correcta visibilidad y desempeño de

las tareas. No obstante, se debe insistir en el estado de conservación de los objetos previo a su iluminación, ya que pueden contar con daños anteriores que imposibiliten su iluminación en los niveles teóricamente admisibles.

La radiación a la que están expuestas las colecciones puede tener distintos niveles de energía según se trate de radiaciones ultravioletas (menores a 380 nanómetros), visibles (entre 380 y 780) o infrarrojas (mayores a 780). Los daños típicos ocasionados por una iluminación inadecuada se resumen en el cambio del color de la superficie de los objetos y en la fragilidad de sus fibras materiales. Otra consecuencia no menor es el aumento de la temperatura superficial de los objetos, con los mismos daños atribuibles a una variación brusca de temperatura ambiente en una sala (por ejemplo, expansión y dilatación de los materiales). Lo anterior implica controlar el tipo de iluminación que se emplea para evitar que otros agentes de deterioro ocasionen daños aún mayores en los objetos exhibidos. Puesto que no todas las longitudes de onda son perceptibles para el sistema visual humano, las demás longitudes del espectro (ultravioleta e infrarroja) deben evitarse decididamente en la iluminación de objetos de museos (Michalsky, 2009; CIE, 2004).

Son muchos los estudios realizados en el intento de controlar la envolvente como un filtro ambiental para evitar el daño por luz, y diferentes normas aportan a la problemática de la conservación preventiva, recomendando los niveles admisibles de exposición a la luz según el tipo de composición material de los objetos. Se hallan, por un lado, ciertos estudios que destacan la importancia de la medición in situ de las condiciones termohigrométricas y de radiación mediante el uso de instrumentos medidores como la base para el análisis ambiental de una sala expositiva. Y por otro, estudios específicos

Categoría	Descripción
Insensible	Objetos compuestos enteramente de materiales inorgánicos permanentes. La mayoría de los metales, piedra, la mayoría de los vidrios, cerámicas, minerales, esmaltes
Sensibilidad baja	Óleos y témperas, frescos, cuero y madera sin teñir, lacas, algunos plásticos, hueso, marfil
Sensibilidad media	Pasteles, acuarelas, tapices, dibujos o impresos, manuscritos, pinturas sobre destemple, empapelados, cueros teñidos, y la mayoría de objetos históricos naturales que incluyen especímenes botánicos, piel, plumas, etcétera
Sensibilidad alta	Sedas, colorantes con alto riesgo de decoloración como las anilinas, manuscrito con tintas anteriores al siglo XX

Tabla 1. Clasificación de los materiales que se exponen de acuerdo a su sensibilidad a la radiación luminosa. (CIE, 2004)

Categoría	Iluminancia máxima	Exposición máxima
<b>Insensible</b>	sin límite	sin límite
<b>Sensibilidad baja</b>	200 lux	600.000 lux-hora/año
<b>Sensibilidad media</b>	50 lux	150.000 lux-hora/año
<b>Sensibilidad alta</b>	50 lux	15.000 lux-hora/año

**Tabla 2: Recomendación CIE sobre niveles de iluminación y exposición anual máximos. (CIE, 2004)**

que emplean la simulación como herramienta de excelencia en la predicción de las condiciones ambientales de espacios, con el objetivo de brindar recomendaciones para proteger a los objetos en exhibición del daño higrotérmico.

### Las recomendaciones de exhibición

El Comité Internacional de Iluminación (CIE, 2004), por ejemplo, clasifica a los materiales en cuatro categorías según su sensibilidad a la iluminación (ver tabla 1).

La CIE (2004) también elaboró recomendaciones de iluminancias máximas en función del tiempo de exhibición que tendrán los objetos en cuestión (Ver tabla 2).

La realidad de los museos en Argentina, más particularmente en el caso de las casas-museo es muchas veces desalentadora en materia de conservación. Los motivos son variados, pero en la mayoría de los casos se debe a cuestiones económicas y a la desinformación del personal encargado de la muestra. Intentos poco exitosos por revertir las malas condiciones de exhibición pueden observarse en varios espacios abiertos al público. Quizás el recurso más utilizado sea la hermetización de los recintos donde los objetos se encuentran exhibidos, transformándolos en cajas cerradas, dejando de lado el rol que la casa cumple como bienpreciado en exhibición.

Este estudio contribuye a la puesta a prueba de los resultados de iluminancias obtenidos mediante el uso de los sistemas de simulación en iluminación en comparación con medidas de iluminancia reales, tomadas in situ a lo largo de un período determinado para una de las salas pertenecientes a la Casa Histórica de la Independencia ubicada en San Miguel de Tucumán.

La capacidad que poseen los sistemas de simulación, softwares, para reproducir, tanto las condiciones arquitectónicas de un edificio y sus salas interiores, como la iluminación artificial que dispone, hace que sea posible estimar la cantidad de radia-

ción incidente en las obras exhibidas y, en el caso de ser necesario, analizar alternativas que brinden una posible solución al inconveniente de daño por exceso de luz. Lo anterior resulta de suma importancia, especialmente en las casas-museo, puesto que la simulación permite analizar diferentes opciones antes de intervenir en un espacio ineficazmente. Además brinda a los diseñadores de museos alternativas a la hora de diseñar sus muestras temporales, ya que mediante esta herramienta es posible simular las interacciones entre los distintos tipos de materiales y la luz, sea natural o artificial, evitando que se produzcan iluminaciones no deseadas.

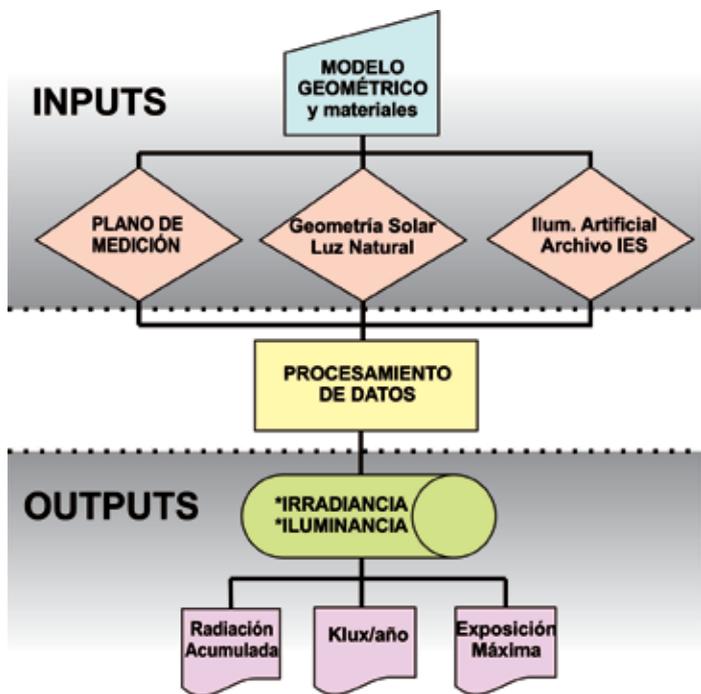
### La simulación como recurso

Los softwares destinados a simulación son complejas redes de cálculo. El usuario debe introducir la información necesaria (modelado del edificio, archivo de cielo, trayectoria solar, etcétera) para que el programa pueda operar. Los resultados serán devueltos en múltiples formatos, estos pueden ser imágenes de luminancias, iluminancias, falso-color, isocontornos, valores numéricos provenientes de grillas de cálculo establecidas por el usuario, secuencias de imágenes con la trayectoria solar, entre otras. De este modo, es posible analizar en forma aislada los factores que serán tenidos en cuenta para realizar este estudio:

- » Fuentes de iluminación: natural, directa, difusa y reflejada
- » Fuentes de iluminación artificial
- » Tipo de reflectancia de la superficie

Para una descripción completa de la iluminación, deberían ser consideradas y simuladas cuatro fuentes de iluminación:

- » iluminación directa por parte del sol de magnitud variable en función de la época del año y latitud del lugar;
- » iluminación difusa, dependiente principalmente del ángulo de incidencia solar, la altitud, la dispersión y la absorción atmosféricas;
- » iluminación indirecta reflejada por la envolvente circundante (interior y exterior), dependiente de las características de las superficies y las luminarias introducidas;



(Diagrama 1). Flujo de los diferentes factores intervinientes.

» iluminación directa por parte de las fuentes artificiales cuya magnitud no varía. Su éxito dependerá de los datos que sean tomados por el software para realizar la simulación. En este caso son utilizados los archivos IES con formatos estandarizados por la Sociedad de Ingeniería de la Iluminación de Norteamérica (*IESNA*, por sus siglas en inglés), creados en 1986. Los *IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data* ('estándar recomendado de formato de archivo para la transferencia de información fotométrica') son archivos creados por los fabricantes de luminarias a partir de los datos fotométricos que pueden ser interpretados por los softwares de simulación y transformados en datos útiles para el usuario (*Jacobs*, 2012).

Otra variable que se debe tener en cuenta es el porcentaje de exposición anual, el cual, para poder simularse, requiere de la utilización de la métrica dinámica que permite estimar el tiempo de exposición a lo largo de un año en función de la cantidad de horas de exposición por día que tendrá el objeto en cuestión.

Para este estudio resulta de vital importancia el correcto modelado y parametrización del cielo. Actualmente, las herramientas de simulación usadas para predecir permiten modelar de modo muy eficaz la variación de la iluminación natural para el interior de un recinto (*Pérez et al.*, 1993). La variación natural del tipo de cielo a través del paso del tiempo es lo que va determinando los diferentes valores de iluminancias en los períodos en estudio. La importancia de contemplar estas diferencias radica, no solo en la predicción de valores mínimos y máximos, sino también, y fundamentalmente, en la elección y diseño de estrategias de control solar, para evitar las faltas de control térmico y visual que conduzcan al bloqueo de los aventanamientos y generen sombras que requieran ser iluminadas durante el día (*Andersen et al.*, 2008). Estos intentos por proteger el interior de los recintos con métodos invasivos a su estructura conllevan a la pérdida de valor del edificio en sí mismo como objeto de exhibición, resultando en una apreciación distorsionada del bien como fue concebido (ver diagrama 1).

Entre los diferentes softwares de simulación de iluminación disponibles actualmente, por ser el más validado, se optó por *Radiance*, que es un conjunto de programas para la visualización y análisis en el diseño de iluminación. Diseñado por Greg Ward (1998) para un entorno UNIX, permite realizar cálculos de iluminación natural y artificial evaluando radiancia espectral (luminancia más color), irradiancia (iluminancia más color) e índices de brillo. Los resultados se pueden obtener mediante imágenes a color, valores numéricos y gráficos de isocontorno. La principal ventaja de *Radiance* sobre el resto de los softwares de simulación de iluminación es que no presenta limitaciones en la geometría y los materiales simulados.

John Mardaljevic (1995) concluyó que *Radiance* estaba habilitado para predecir iluminancias interiores con un altísimo grado de precisión para un amplio rango de actuales condiciones de cielo.

### Metodología

Estudios comparativos de iluminación se llevaron a cabo en la sala 8 (sala de la Jura de la Independencia) del museo Casa Histórica de la Independencia (figura 1). Dicha sala exhibe mobiliario, pinturas al óleo de los siglos XIX y XX, copias del acta manuscrita de la Declaración de la Independencia e impresos de 1816 del texto en castellano y quechua y en castellano y aymara (usados para difundir dicho acontecimiento en todo el territorio, figura 2). Está precedida por una antesala que conduce a los patios internos de la Casa.



Figura 1. Frente este de la Casa Histórica de la Independencia



Figura 2. Sala 8

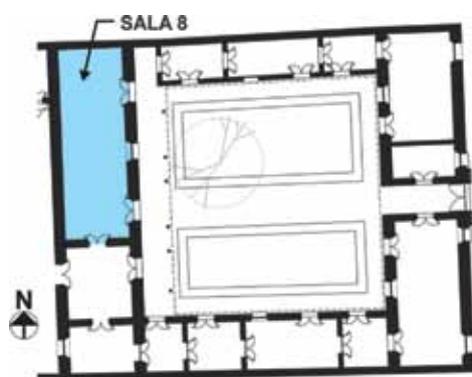


Figura 3. Ubicación de las salas en el plano.

La iluminación natural dentro de la sala es reducida pues por razones de preservación de los objetos exhibidos se mantienen cerradas las puertas y ventanas que dan al exterior; únicamente permanece abierta la puerta de ingreso de los visitantes. Respecto de la iluminación artificial, se conforma por lámparas halógenas AR 111 de cincuenta watts (50 W) agrupadas de a dos, tres y cuatro luminarias sostenidas por la estructura de la cubierta y separadas cada 1,4 metros.

Se midió y simuló la contribución de la iluminación natural y artificial en el periodo de febrero-abril de 2013 en la sala 8. Se realizaron tomas diarias entre las 8:00 y las 13:00 horas en

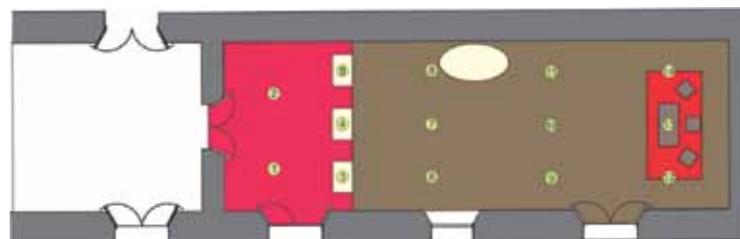


Figura 4. Localización de los puntos de medición

catorce puntos de medición (P1, P2, P3,..., P14) abarcando la totalidad de la superficie de la sala de 93 metros cuadrados

#### Método de medición in situ

La medición de la iluminación in situ se realizó mediante un luxómetro *Minolta T-1M*, cuyo rango de medición es de 0,01 a 299.900 lux. En cada uno de los puntos seleccionados se ubicó el sensor del luxómetro a un metro del nivel del suelo, para mediciones en el plano horizontal.

En el momento del relevamiento de los niveles de iluminación a partir de la medición de iluminancias, se tuvo en cuenta en primer lugar que el luxómetro estuviera correctamente calibrado, para que no se modificaran la dirección de las luminarias ni la ubicación de los objetos durante el periodo de estudio. Se prestó especial cuidado para evitar sombras sobre el sensor del luxómetro y que las mediciones se tomen siempre de la misma manera, es decir, respetando la ubicación del punto y la distancia entre la fotocélula y el instrumento.

#### Ejecución de la simulación

El modelo geométrico fue ejecutado conforme al relevamiento planimétrico de la sala. Fue realizado con el software *Sketchup8 pro* y luego exportado a *Radiance* mediante el *plugin su2rad* desarrollado para tal fin. Para la modelización de la iluminación natural, se utilizó el modelo geométrico, el cual calcula la luminancia del cielo correspondiente al momento del día solicitado a partir de los datos de latitud y longitud. El cálculo de la luminancia del cielo se realizó según las opciones correspondientes al cielo claro definido por la CIE, en función de que es el tipo predominante durante el periodo en el que las mediciones in situ se llevaron a cabo. Los puntos virtuales de medición se situaron del mismo que las mediciones in situ, elevados un metro sobre el nivel del suelo.

La iluminación artificial se realizó mediante la incorporación de los archivos IES con los datos fotométricos de las lámparas actualmente colocadas en el cerramiento horizontal superior de la sala, las cuales también se encontraban afectadas por la depreciación (provocada por diferentes causas, como el envejecimiento de sus componentes, la acumulación de suciedad en alguna de sus partes, etcétera). El software tomó estos datos y mediante el método de backward raytracing (trazado de rayos hacia atrás) brindó datos de iluminancia para cada punto. El procedimiento se repitió para cada hora y día. Cada punto se comportó como una fotocélula de la cual los rayos parten reflejándose sucesivamente en búsqueda de la fuente de luz.

Los ángulos de inclinación de las fuentes se hicieron en función del relevamiento lumínico realizado en la sala. Además de medir los valores de iluminancia, se registró la posición y la orientación de las luminarias. Se obtuvieron, además, imágenes de la apariencia de la sala en el entorno simulado (figura 5).

### Comparación de los resultados

Para la interpretación de los datos obtenidos por ambos métodos, se recurrió a un análisis descriptivo y estadístico. Como factores esenciales, se tomaron en cuenta el día, la hora y el punto de medición.

### Resultados



Figura 5. Imagen obtenida mediante Radiance, con tipo de vista ojo de pez en dirección norte



Figura 6. Variación de la iluminancia medida ( $E_{med}[lux]$ ) por cada punto de medición entre las 8:00 y las 13:00 horas

### Análisis descriptivo de los datos

La figura 6 muestra la variación de la iluminancia medida en cada punto de medición a las 8:00 y las 13:00 horas durante los meses estudiados.

Los niveles de iluminación promedio en la sala durante los días son generalmente bajos para la mayoría de los puntos (menores a diez lux) a excepción del sector de puntos P12-P14 (iluminancias promedio hasta sesenta lux) y el sector de mayores iluminancias, dado por los puntos P4 y P5 (iluminancias promedio hasta 300 lux).

En general, se aprecian áreas fuertemente marcadas por las diferencias de iluminación entre los puntos de medición, y por otro lado, niveles estables de iluminación a lo largo de los días, a excepción de los puntos muy iluminados (P4 y P5).

En ambos casos, durante el día no se aprecian diferencias significativas entre los niveles de iluminación de las 8:00 las 13:00 horas, ya que la contribución de luz está dada principalmente por la iluminación artificial.

La figura 7 muestra la variación de la iluminancia simulada en cada punto de medición a las 8:00 y 13:00 horas durante los mismos meses.

La variación en los niveles de iluminación se puede apreciar claramente por rangos. El sector de iluminancias bajas (hasta

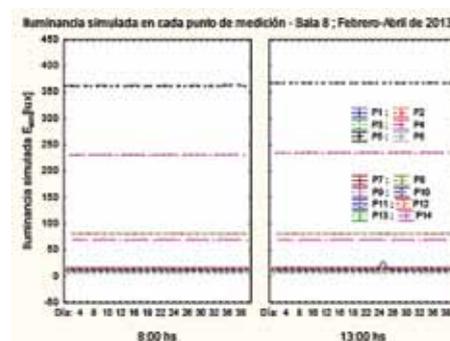


Figura 7. Variación de la iluminancia simulada ( $E_{sim}[lux]$ ) por cada punto de medición a las 8:00 y 13:00 horas

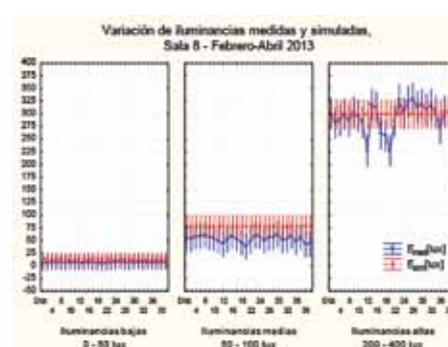


Figura 8. Variación de la iluminancia media medida y simulada (Emed y Esim[lux]), promediando los datos de cada hora de medición

quince lux, sectores P1-P3 y P6-P11), iluminancias medias (hasta ochenta lux, sectores P12-P14) e iluminancias altas (hasta 400 lux, sectores P4-P5).

La gráfica indica que el sector de bajas iluminancias coincide con el sector de bajas iluminancias de la figura 6, al igual que el sector de muy altas iluminancias en los puntos P4 y P5.

En ambos casos, a las 8:00 y 13:00 horas no se aprecian prácticamente variaciones en el nivel de iluminación puesto que el factor de depreciación en luz artificial es el mismo independientemente del día y la hora. Existe una variación casi despreciable aportada por la luz natural exterior. La variación de la iluminación a través de los días también es similar en cada punto de medición.

El análisis descriptivo de los datos indica que el comportamiento de la iluminación, en ambos casos, depende fuertemente del punto de medición y en menor medida de la hora y el día de medición.

#### Análisis estadístico de los datos

##### Iluminación in situ

Un análisis de varianza de tres factores —hora, punto de medición y día— indicó que el punto de medición es el factor fuertemente significativo en el comportamiento de la iluminación ( $F(13,742)=3705, p<0,05$ ) y en menor medida el día ( $F(27,742)=4,25, p<0,05$ ), resultando la hora un factor no significativo en acuerdo con el análisis descriptivo de la figura 6.

##### Iluminancia simulada

Mediante el análisis de varianza de los tres factores —hora, punto de medición y día— se obtuvo nuevamente que el punto de medición es el factor fuertemente significativo en el comportamiento de la iluminación ( $F(13,742)=544329, p<0,05$ ), resultando la hora y el día factores prácticamente no significativos ( $F(1,742)=154$  y  $F(27,742)=1, p<0,05$ , respectivamente) de acuerdo con la figura 7.

Dado que los niveles de iluminación dependen fuertemente del punto de medición y no así de la hora y el día, se analizaron las iluminancias en tres grupos de acuerdo a la ubicación del

punto dentro de la sala: iluminancias bajas (0-50 lux), iluminancias medias (50-100 lux) e iluminancias altas (200-400 lux).

La figura 8 muestra la variación de las iluminancias medidas y simuladas por grupo, promediando los datos de las 8:00 y 13:00 horas.

En la figura 8 se puede observar que las medias de los grupos de iluminancias bajas y altas son las que más se aproximan a la iluminación media real con un error menor al seis por ciento en ambos casos. Y la media del segundo grupo (50-100 lux), con un error menor al 25 por ciento. Respecto de las dispersiones registradas por grupo, fueron menores al cinco, diez y ochenta por ciento para los grupos de iluminancias bajas, medias y altas, respectivamente.

#### Discusión

Los datos obtenidos de la simulación de la iluminación dentro del recinto indicaron una aproximación de más del setenta por ciento del valor real de los datos, siendo el grupo de iluminancias bajas el que mayor exactitud y precisión presentó. El grupo de iluminancias medias mantuvo una dispersión menor al diez por ciento aunque con un error mayor que en el primer caso (menor al 25%). Respecto del tercer grupo, si bien las diferencias entre los promedios simulados y reales son reducidos (error menor al seis por ciento), las desviaciones de los datos reales fueron elevadas.

Sin embargo, puesto que el aporte de luz natural dentro de la sala es prácticamente nulo, el comportamiento de la iluminación está condicionado por las características del sistema de iluminación artificial empleado. Esto es el tipo de lámpara y su direccionamiento, la dimerización del flujo luminoso, la depreciación estimada por envejecimiento de la lámpara, etcétera.

Por lo tanto, la variación de los datos reales en el caso de iluminancias medias y altas podría atribuirse a una baja de tensión

en el sistema eléctrico, a una falla específica en las lámparas o a una dimerización no homogénea de las lámparas dentro del recinto. Todo esto considerando que para el estudio se escogió una sala en pleno funcionamiento y que se debieron simular las condiciones de iluminación en base a informes del museo sobre mantenimientos (antigüedad de lámparas, estado del sistema de iluminación, entre otras), ubicación y dimerización de las lámparas, pérdida del flujo luminoso, etcétera, empleando el mismo coeficiente de depreciación para todas las luminarias.

Si se contrastan los resultados de simulación y medición con las recomendaciones CIE, encontraremos que los objetos exhibidos (pinturas al óleo) se clasifican como de “sensibilidad baja”, esto implica, en términos prácticos, que no se admiten sobre las obras de arte valores superiores a doscientos lux (CIE, 2004). Dicho esto, además debe cumplirse que la acumulación de radiación no supere los 600.000 lux hora/año de exposición. En este caso, aun los valores cercanos a los doscientos lux podrían comprometer la preservación de los objetos exhibidos ya que el régimen de exhibición es de ocho o nueve horas diarias según temporada, (el museo Casa Histórica de la Independencia abre sus puertas prácticamente todos los días del año).

Como recomendaciones concretas, se puede decir que: la simulación puede indicar en cada caso hacia qué punto conviene orientar cada luminaria. En caso de no poder desplazarse el punto de mayor iluminancia de la superficie de la obra de arte, pueden simularse los porcentajes de dimerización respectivos a fin de no exceder los límites recomendados (es la sugerencia más simple y viable desde el punto de vista técnico-económico). Adicionalmente, con el propósito de asegurar que los resultados de la simulación se cumplirán luego en la práctica, es altamente recomendable un sistema de estabilización de las fuentes que asegure niveles de iluminación constantes.

## Conclusión

A partir del análisis comparativo de los métodos de medición in situ y simulación, se determinó que es posible simular recintos con errores aceptables conociendo el tipo de lámparas

y su disposición en el recinto, el porcentaje de dimerización (si lo hubiera) y la estimación de la pérdida de flujo luminoso por envejecimiento, adoptando un coeficiente de depreciación.

Esto se suma a las ventajas de la simulación de la trayectoria real del sol mediante el uso de modelos geométricos, que hace que la utilización del software para simular la iluminación arroje resultados aceptables. También es posible obtener resultados aún más precisos: incorporar los archivos de clima EPW (Energy Plus Weather Files) para determinar los valores de luminancias según el clima propio de cada región.

Este importante resultado permitiría a los conservadores y diseñadores museográficos conocer cómo se comportaría un recinto en determinadas condiciones (por ejemplo, apertura de ventanas, redirección de lámparas, aumento o disminución del nivel de iluminación, etcétera) y optar por la mejor alternativa en caso de requerir modificaciones, sea para acondicionar los niveles lumínicos en relación a los objetos expuestos, filtrar el paso de la luz natural, mejorar la percepción visual de los objetos o realizar muestras temporales con un nuevo diseño. Asimismo, determinar la dosis de exposición anual a la que se someterán los objetos expuestos en un espacio, sea exterior o interior, antes de someter dichos objetos a la radiación. Ello significaría contribuir a la conservación preventiva del patrimonio. ❖

**Nota del editor:** la nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar a los autores.

Por María del Rosario Pérez Zamora (becaria CONICET, arquitecta por la Universidad Nacional de Tucumán), María Silvana Zamora (becaria CONICET, ingeniera electrónica por la Universidad Nacional de Tucumán), Ricardo Ajmat (doctor en Diseño Arquitectural, docente del Instituto de Luz, Ambiente y Visión, ILAV-CONICET) y Dra. Beatriz O'Donnell (doctora en Ciencias de la Luz y la Visión, docente del Instituto de Luz, Ambiente y Visión, ILAV-CONICET).