

# Propuesta de máximo factor de iluminación natural admisible para paramentos verticales en salas de museos españoles

*Olvido Muñoz Heras, Juan José Sendra Salas - Doctores Arquitectos, Universidad de Sevilla*

## 1. Introducción y objetivos

En un trabajo de investigación<sup>1</sup> realizado sobre la iluminación de los doce museos más significativos construidos en España en las dos últimas décadas del pasado siglo XX<sup>2</sup>, y en los que la luz natural juega un papel fundamental en la configuración del espacio arquitectónico, se ha detectado que en muchos de ellos se han hecho reformas, principalmente debido a su presencia no suficientemente controlada. Dichas intervenciones se realizaron posteriormente a la apertura, como medidas correctoras ante los problemas detectados. Algunas de ellas, con escaso presupuesto, produjeron la disminución de la calidad espacial de las salas expositivas.

Sólo en la mitad de las veintidós salas más representativas de los doce museos estudiados, no se han producido cambios en lo referente a su iluminación natural, en un 25% de las mismas las modificaciones han sido para reducir el nivel de iluminación natural del interior y en el otro 25% se han realizado obras para anular totalmente la entrada de la luz natural en las salas.

Tan sólo en uno de los museos, en el Museo Thyssen, ha habido estudios del comportamiento de la luz diurna previo a su construcción. El empleo de los sensores daylight, además de posibilitar el control de la iluminancia interior, posibilitaría la reducción del consumo energético.

En todos estos museos se ha trabajado con la luz natural como elemento de proyecto, pero para ello no basta sólo con la intención, ni con la intuición. El edificio se debe diseñar conociendo en todo momento cómo afectan nuestras decisiones proyectuales al paso de la luz, para poder dar respuestas eficaces además de sensibles, que no produzcan sensación de falta de control de la misma.

El estudio de la luz natural en el museo es un tema presente en las publicaciones científicas desde finales del siglo XIX. Hoy, rebatiendo las teorías de los años setenta que estaban en contra del empleo de la luz natural en los museos que exponen arte, hay una clara tendencia a favor de la introducción de la misma, salvo en los Centros de Arte Contemporáneo, que basan gran parte de sus exposiciones en proyecciones. Para estos últimos la luz es un enemigo y la oscuridad un gran aliado.

<sup>1</sup> O. Muñoz Heras, Condiciones de iluminación natural en museos construidos en los años ochenta y noventa en España. La luz en los museos que vi nacer, tesis doctoral, Universidad Sevilla 2006

<sup>2</sup> Fundación Joan Miró, Barcelona; Museo Nacional de Arte Romano, Mérida; Centro Atlántico de Arte Moderno, Las Palmas de Gran Canaria; Instituto Valenciano de Arte Moderno, Las Palmas de Gran Canaria; Instituto Valenciano de Arte Moderno, Valencia; Fundación Joan Miró, Palma de Mallorca; Museo Thyssen Bornemisza, Madrid; Museo de Arte Contemporáneo de Barcelona; Museo de Bellas Artes de La Coruña, Museo de Arte Contemporáneo de Santiago de Compostela; Museo de Bellas Artes de Zamora; Museo de Bellas Artes de Castellón; Museo Guggenheim, Bilbao.

El empleo tanto de la luz natural como de la artificial en el museo es una cuestión delicada. El conocimiento de la luz y el dominio de la tecnología no son requisitos suficientes para crear una buena iluminación. El sistema de iluminación elegido se tendrá que adaptar a un contenedor determinado, teniendo en cuenta que cada lugar demanda una instalación específica. El éxito de la intervención no estará condicionada por la naturaleza de la fuente de luz, natural o artificial, dado que ambas fuentes de energía pueden generar problemas si no se utilizan adecuadamente.

La luz influye de dos maneras muy distintas en el interior de museos: como componente en la configuración del espacio arquitectónico, lo que genera una percepción cualitativa del ambiente por parte de las personas, y por la repercusión que tiene su incidencia física sobre los objetos expuestos y sobre las personas, lo que genera una percepción cuantitativa que afecta a los primeros, desde el punto de vista de la conservación, y a los segundos, desde el punto de vista del confort visual y la capacidad de observación.

El regreso de la luz natural al museo contribuyó a la aparición de una arquitectura dedicada a museos muy interesante. En los años ochenta y noventa, fue la tipología arquitectónica que más se construyó en España.

Al trabajar en el proyecto de un museo y estudiar la iluminación, se debería decidir, en primer lugar, si la luz natural entra en la sala o se reserva para las zonas de comunicación, como ocurre en las salas interiores del Centro Atlántico de Arte Moderno de las Palmas de Gran Canaria. En el caso de que la luz entre en la sala, si el cometido de ésta es iluminar el plano expositivo, como ocurre en el Museo Thyssen, o de servir de luz ambiente, como ocurre en el Museo de Bellas Artes de La Coruña. En los dos casos es importante conocer su alcance, en el primero por cuantificar la iluminancia en el plano de trabajo en las distintas épocas del año, y en el segundo por controlar las variaciones de luminancia e iluminancia, y comprobar que las zonas más iluminadas se corresponden con los lugares del espacio que reclaman más atención, ya que al primer lugar donde accederá la mirada es al punto más iluminado de la estancia.

Como primera medida para empezar a trabajar en este sentido, y en la fase de recopilación de la información necesaria para comenzar un proyecto, se deberán conocer varios parámetros lumínicos: el número de luxes que una obra de arte puede recibir a lo largo del año y el valor máximo de la iluminancia (tabla 1) recomendados por criterios de conservación preventiva; el valor de la iluminancia exterior a lo largo del día y del año y el máximo factor de iluminación natural que podemos admitir en nuestro interior, en el caso de que la luz natural esté destinada a iluminar un plano expositivo.

**Tabla 1: Límites recomendados de exposición a los rayos luminosos**

Categoría de objetos artísticos exposición	Máxima aconsejada Lux x hora x año		Iluminación máxima aconsejada en lux
	IES 1981	IESNA 1993	
Objetos poco sensibles	No limita	No limita	300
Objetos moderadamente sensibles	180.000	500.000	75-150
Objetos muy sensibles	120.000*	54.000	40-50

\* Aproximadamente: 50 lux x 8 horas/día x 300 días/año.

Si bien encontramos referencias de los valores del factor de iluminación natural<sup>3</sup>, hemos de hacer notar que estos no son de aplicación universal, ya que su resultado está condicionado por el tipo de cielo. La mayoría de las investigaciones realizadas publicadas están realizadas en países del norte de Europa, donde los cielos son muy diferentes al español, por lo que esos datos no son aplicables en nuestras latitudes.

El principal objetivo del trabajo consiste en determinar el máximo factor de iluminación natural admisible en las salas de los museos españoles y demostrar su aplicación práctica en el campo del diseño arquitectónico.

Con ésto se daría respuesta a una cuestión que en su día planteaba el ingeniero José María Casal López-Valeiras en sus escritos sobre la luz en los museos<sup>4</sup> en los años 70, cuando estas cuestiones empezaban a formularse. En ellos hablaba de la necesidad de establecer este valor. El físico Miguel Angel Rodríguez Lorite, especialista en luminotecnía y en conservación preventiva, y Raquel Puente García, también hacen referencia a la necesidad de evaluar el factor de iluminación natural en el interior de todos y cada uno de los posibles planos expositivos, con anterioridad a la toma de cualquier decisión para su control y su modelación, ya que los resultados de este estudio darán idea de la medida en que es preciso actuar<sup>5</sup>.

## 2. Metodología

Se ha realizado un estudio de iluminación, tanto con mediciones reales de niveles de iluminación efectuadas in situ como con ayuda de programas de simulación.

Se han seleccionado diez salas iluminadas por un hueco de luz cenital (figura 1), elegidas por ser salas que permiten un análisis de conjunto, al tener características físicas similares. Pertenecen a los siguientes museos: Instituto Valenciano de Arte Moderno (IVAM), Museo de la Fundación Thyssen-Bornemisza (Thyssen), Centro Gallego de Arte Contemporáneo (CGAC), Museo de Bellas Artes de la Coruña (La Coruña) y Museo de Bellas Artes de Zamora (Zamora).

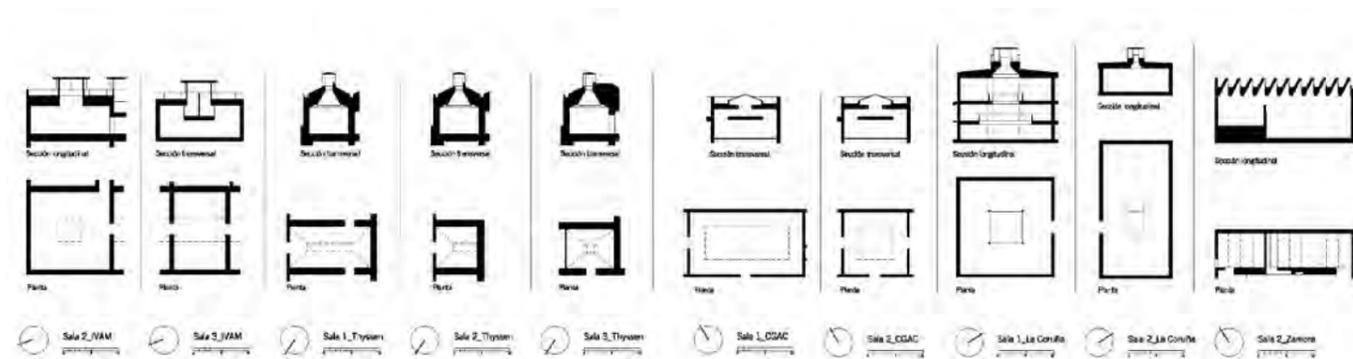


Figura 1: Salas iluminadas por un hueco de luz cenital

3 CIBSE: Window Design Applications Manual.

4 Casal López-Valeiras, J.M. "Comentarios sobre iluminación en museos", Optica pura y aplicada, Madrid, 1970.

5 Puente García, R, Rodríguez Lorite M.A., "Iluminación, tecnología y diseño", en Rico J.C., Los conocimientos técnicos. Museos. Arquitectura, Arte, editorial Sílex, 1999.

Dichas salas, cuyas características físicas se resumen en la tabla 2, son de geometría regular, de planta rectangular o cuadrada. Los paramentos verticales suelen ser de color blanco; los suelos tienen tonos claros, contruidos de madera o pétreos; los techos son siempre blancos. El tipo de lucernario más utilizado es la linterna, seguida de la montera y del diente de sierra. La entrada de luz suele ser directa; en ocasiones se colocan planos intermedios, provocando entrada de luz indirecta. El vidrio más utilizado es el laminado transparente que filtra una parte importante de radiación ultravioleta. Predominan los lucernarios con vidrios en sus cuatro laterales, seguidos de los de dos, siendo poco habitual la utilización de un único frente acristalado. La mayoría de los lucernarios necesitan elementos de protección solar adicionales para evitar la penetración de la radiación solar directa en el museo, ya que la propia geometría del lucernario no lo consigue por sí misma.

Tabla 2: Características físicas de las salas seleccionadas, todas ellas iluminadas con un hueco de luz cenital

Museo	Sala tipo		IVAM			Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
			sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2	
Sala	Geometría planta	Cuadrada	•										
		rectangular		•	•	•			•		•		•
	Paramentos	blanco	•	•					•	•	•	•	•
		color			•	•	•						
	solería	Madera							•	•	•	•	•
pétreo claro		•	•	•	•	•							
techo	blanco	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	
	tipo	linterna	•	•	•	•	•	•	•				
Lucernario		montera									•	•	
		diente de sierra										•	
		abocinamiento del techo	si			•	•	•	•	•			
	no		•	•					•	•		•	
	planos reflectores interiores	horizontal									•	•	
horizontal + vertical				•									
sin plano reflector		•		•	•	•	•	•	•			•	
vidrio	tipo	u-glass											•
		armado	•	•									
		laminado			•	•	•	•	•	•	•		
	número de caras	una cara											•
dos caras				•	•				•	•			
cuatro caras	•	•				•	•	•					
protección solar	sin protección		•										
	con protección	veneciana exterior			•	•	•						
		veneciana interior											•
		doble vidrio			•					•	•		
plano reflector interior									•	•			

Los datos tomados en las mediciones in situ sirven para contrastar los valores obtenidos por el programa de simulación, confirmando que estos son fiables. Véase como ejemplo la figura 3, donde se representan los valores de iluminación de la sala 1 del IVAM.

Con ayuda del programa informático Desktop Radiance<sup>6</sup>, se han realizado simulaciones para la obtención de la iluminancia en los paramentos verticales, sin considerar los elementos de protección solar existentes y estimando para los vidrios una transmisión luminosa del 100%. Posteriormente los resultados de la iluminancia obtenidos se multiplican por el coeficiente de transmisión del vidrio empleado (tabla 3) y por el coeficiente de protección solar indicado en la tabla 4. Finalmente estos valores de la iluminancia interior corregidos, obtenidos a 1,75m del suelo (la altura media de observación de un cuadro), se dividen por el valor de la iluminancia exterior correspondiente para obtener el Factor de Iluminación Natural (FIN).

**Tabla 3: Coeficientes de transmisión luminosa de distintos tipos de vidrio<sup>7</sup>**

Tipo de vidrio	Espesor mm	Transmisión luminosa %	Reflexión exterior %	Reflexión interior %	Transmisión ultravioleta %
planilux	4	90	8	8	56
	5	89	8	8	56
	6	89	8	8	53
	8	87	8	8	48
	10	86	8	8	44
stadip	33.1	89	8	8	2
	44.1	87	8	8	2
	55.1	86	8	8	2
	66.1	85	8	8	2
	33.2	88	8	8	<1
	44.2	87	8	8	<1
	55.2	86	8	8	<1
stadip blanco	66.2	85	8	8	<1
	33.1	64	6	6	2
	44.1	64	6	6	2
	55.1	63	6	6	2
climalit	66.1	62	6	6	2
	4-12-8	69	12	13	10
	6-12-33.1	79	14	14	2
	6-12-44.1	78	14	14	2
	4-12-33.2	80	14	14	<1
u-glass	44.1-12-64.2	76	14	14	<1
	pared simple	78	-	-	100
vidrio armado	pared doble	60	-	-	100
	6	80	-	-	100

El estudio se ha hecho tanto para condiciones de cielo nublado como despejado, teniendo en cuenta que será en estas últimas condiciones cuando se pueden producir los máximos niveles de iluminación que provocan la posterior reforma del museo.

<sup>6</sup> Desktop Radiance es la versión de PC del programa Radiance. Este programa se usa para realizar estudios detallados de iluminación natural, utiliza la técnica de lanzar rayos en sentido inverso a su dirección natural de propagación, partiendo del punto de vista del observador. Radiance permite obtener con calidad fotográfica imágenes de síntesis de ambientes luminosos en locales, determinar isólineas para los factores de iluminación natural, y evaluar el confort visual. Las simulaciones se han realizado considerando para cada rayo seis reflexiones especulares y cuatro difusas.

<sup>7</sup> Manual del vidrio, Saint-Gobain Glass, 2001.

**Tabla 4: Coeficientes de protección solar<sup>8</sup>**

Tipo de vidrio	Sin persiana o pantalla	Persianas venecianas interiores. Listones horizontales o verticales inclinados 45° o cortinas de tela			Persianas venecianas exteriores. Listones horizontales inclinados 45°		Persiana exterior. Listones inclinados 17° (horizontales)		Cortina exterior de tela. Circulación de aire arriba lateralmente	
		Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Ext. Claro Int. Oscuro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Color medio u oscuro
vidrio sencillo ordinario	1,00	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
Vidrio sencillo 6mm	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
Vidrio absorbente										
Coef. Absorción 0,40-0,48	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Coef. Absorción 0,48-0,56	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,16	0,11	0,15	0,18
Coef. Absorción 0,56-0,70	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16
Vidrio doble										
Vidrios ordinarios	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,14	0,18	0,22
Vidrios de 6mm	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Vidrio interior ordinario										
Vidrio ext. Absorb. 0,48-0,56	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13
Vidrio interior 6 mm										
Vidrio ext. Absorb. 0,48-0,56	0,50	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,12
Vidrio Triple										
Vidrio ordinario	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Vidrio de 6 mm	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,10	0,14	0,17
Vidrio pintado										
Color claro	0,28									
Color medio	0,39									
Color oscuro	0,50									
Vidrio de color										
Ambar	0,70									
Rojo oscuro	0,56									
Azul	0,60									
Gris	0,32									
Gris verde	0,46									
Opalescente claro	0,43									
Opalescente oscuro	0,37									

Las simulaciones se han hecho en los días más representativos del año: solsticio de invierno, equinoccio y solsticio de verano, al mediodía solar, tanto en condiciones de cielo nublado como despejado. Además se han realizado otras simulaciones en los días y horas en que hubiera penetración solar directa en las salas, para lo cual fue necesario realizar un estudio previo de soleamiento. Para completar el análisis, se han efectuado simulaciones adicionales, en condiciones de cielo despejado, en el solsticio de verano a las 9:00 h y a las 15:00 h, y en el solsticio de invierno a las 10:00 h y a las 15:00, con objeto de observar el comportamiento de la luz en los días más extremos del año en el horario de apertura al público del museo<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Manual de climatización, Carrier 2001.

<sup>9</sup> Los resultados de la simulación de la mañana son interesantes a partir de las 11:00 h local, por lo que varía la hora solar de simulación en los meses de verano respecto a los de invierno.

### 3. Análisis de los resultados de las simulaciones:

En la figura 2 se representa la iluminancia media de los resultados de las simulaciones en las diez salas iluminadas cenitalmente que han sido estudiadas.

En las tablas 5 y 6 se reflejan los valores de FIN máximos, mínimos y medios, obtenidos de las simulaciones para cielo nublado y despejado, respectivamente, indicando la orientación de los paramentos de la sala expositiva a los que se hace referencia. En la tabla 7 se expresan la relación entre los valores medios de FIN para cielo nublado y despejado.

**Tabla 5: Valores de FIN para el cielo nublado**

Museo	Salas	IVAM		Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
		sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2
FIN máximo simulado	noreste	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.2	0.8
	suroeste	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.9
	suroeste	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.2	0.8
	noroeste	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4
Valores min/max		0.2-0.4	0.0-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.0-0.1	0.0	0.0	0.2-0.7	0.1-0.2	0.3-0.9
FIN medio		0.4	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.8

**Tabla 6: Valores de FIN para cielo despejado**

Museo	Salas	IVAM		Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
		sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2
Penetración solar		si	no	si	si	si	no	no	no	no	si
FIN_d máximo simulado	noreste	1.3	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	1.5	0.3	1.8
	suroeste	0.9	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	1.4
	suroeste	0.6	0.2	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	1.0	0.3	2.2
	noroeste	0.4	0.5	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	2.2
Valores min/max		0.3-1.4	0.1-0.5	0.1-0.4	0.1-0.3-6.2	0.0-0.1	0.0	0.0	0.2-1.6	0.1-0.5	1.1-2.2
FIN_d medio		0.8	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	0.3	1.8

**Tabla 7: Relación entre los valores medios de FIN para cielo nublado y despejado.**

Museo	Salas	IVAM		Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
		sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2
FIN/FIN_d	(tanto por uno)	1/2	1/2	1	1	1/2	1	1	1/3	2/3	1/2

Como era de esperar, los valores de FIN obtenidos para cielo nublado son iguales o inferiores a los de cielo despejado en todas las salas analizadas. En las salas donde el nivel de iluminación no es muy alto puede llegar a coincidir el valor numérico de ambos.

Conocidas mediante las simulaciones las iluminancias en el exterior (cielo nublado y despejado) y las iluminancias interiores, teniendo en cuenta los límites máximos anuales recomendados en función del grado de sensibilidad a la luz de los objetos expuestos, se han obtenido los valores máximos admisibles de FIN para cielo nublado (tabla 8) y despejado (tabla 9).

**Tabla 8: Valores máximos admisibles de FIN para el cielo nublado**

Museo	Salas (objetos)	IVAM		Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
		sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2
FIN máximo admisible	poco sensibles	1.5	2	1.6	1.8	2.5	1.7	1.7	1.8	1.6	1.7
	moderadam. Sensibles	0.8	1	0.8	0.9	1.2	1.1	1.1	0.9	0.8	0.9
	muy sensibles	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

**Tabla 9: Valores máximos de FIN para cielo despejado**

Museo	Salas (objetos)	IVAM		Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
		sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2
FIN_d máximo admisible simulación	poco sensibles	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	moderadam. Sensibles	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
	muy sensibles	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Los valores máximos del factor de iluminación natural en condiciones de cielo despejado han de ser necesariamente inferiores a los de cielo nublado, ya que el nivel de iluminación es siempre mayor cuando el cielo está despejado. Al comparar los resultados de las tablas 9 y 10 se observa que los primeros suelen triplicar a los segundos (tabla 11)

**Tabla 10: Relación entre valores máximos admisibles de FIN para cielo nublado y cielo despejado**

Museo	Salas (objetos)	IVAM		Thyssen			La Coruña		CGAC		Zamora
		sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 3	sala 1	sala 2	sala 1	sala 2	sala 2
FIN/FIN_d (tanto por uno)	poco sensibles	2	3	4	4	6	3	3	3	3	3
	moderadam. Sensibles	3	3	4	3	6	4	4	3	3	4
	muy sensibles	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3

## 4. Conclusiones

Desde el punto de vista de la conservación, las condiciones de cielo más desfavorables – las más frecuentes, además, en España – son las de cielo despejado. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las diez salas estudiadas, reflejados en la tabla 9, y estimando la ausencia de iluminación artificial, se propone añadir una última columna a la tabla 1 con los valores máximos de FIN recomendados en salas de museos de latitudes similares a las españolas (tabla 11) para condiciones de cielo despejado.

**Tabla 11: Nueva tabla de límites recomendados**

Categoría de objetos artísticos	Máxima aconsejada Lux x hora x año		Iluminación máxima aconsejada en lux	FIN_d máximo aconsejado %
	IES 1981	IESNA 1993		
Objetos poco sensibles	No limita	No limita	300	0.4-0.7
Objetos moderadamente sensibles	180.000	500.000	75/150	0.2-0.4
Objetos muy sensibles	120.000	54.000	40/50	0.1

Se ofrece un intervalo de valores en lugar de un único valor, dado que FIN dependerá de la cantidad de luz que entre en la sala. Valores superiores a los señalados en la tabla implicarán niveles de iluminación más altos de los aconsejados por motivos de conservación.

Con el cielo despejado, valores de FIN comprendidos entre 0.2-0.7% implican que, en determinadas épocas del año, desde el punto de vista cuantitativo no va a ser necesario utilizar luz artificial para iluminar las obras de arte, dependiendo de su sensibilidad a efectos de la conservación. Por el contrario, valores de FIN de 0.1%, o inferiores indican que sí se necesita la utilización de la luz artificial.

La propuesta que se hace de los valores límite de FIN para salas de museos españoles constituye una aportación de este trabajo que estimamos puede ser de interés para la conservación preventiva y que puede ayudar a los conservadores de museos, museólogos, museógrafos y arquitectos que quieran hacer uso de la luz natural. El análisis que se hace de la presencia de la luz natural en las diez salas estudiadas, a partir de los valores de FIN obtenidos y su comparación con estos valores límites, lo resumimos así:

- En el museo de Bellas Artes de la Coruña, el valor 0,0% indica que la luz no alcanza a los paramentos verticales. Por tanto todo el aporte de luz se tiene que hacer con luz artificial. La sala demanda una instalación con un aporte lumínico fijo, aunque siempre será aconsejable dotar a la misma de un sistema de regulación y de una instalación auxiliar que permitiera el anclaje de luminarias adicionales, en previsión de un cambio en el montaje de la exposición. Un diseño rigurosamente ideado para las obras actualmente expuestas negaría posibilidades a los cambios expositivos que el museo se quisiera plantear. En este caso, no tendría sentido una instalación regulable con sensores daylight, ya que la combinación de los dos tipos de fuentes de luz no se va a producir.

- En cambio, al observar los valores obtenidos en la salas del museo Thyssen, comprendidos entre 0,1 – 0,4%, se deduce que la luz que se introduce por los lucernarios alcanza el paño expositivo, y que su aportación varía en función de la orientación, de la franja horaria y de la época del año. Para que en estas salas se produzca el aprovechamiento de la luz natural y se respeten los límites de los niveles que marcan las normas de conservación preventiva, se necesitará una instalación de iluminación regulada con sensores daylight, que varíen los niveles y controlen la entrada de la luz en las salas, una instalación como la que el museo tiene actualmente.

- En el IVAM, en el museo de Bellas Artes de Zamora y en el Centro Gallego de Arte Contemporáneo, la situación que nos encontramos es diferente. En los tres existe una participación activa de la luz natural para la iluminación de los paños expositivos, y en los tres casos los niveles de iluminación superan los límites que marcan las normas de conservación preventiva. La forma recomendable de actuar en cada sala será distinta según la magnitud de los niveles medidos.

- En el museo de Bellas Artes de Zamora el valor de FIN es muy alto en todos los paramentos, 1,8% en el paramento más favorable y 2,2% en los más desfavorables. Este hecho nos indica que hay excesiva luz en toda la sala. Incluso cuando el cielo está nublado se sobrepasan los valores permitidos. Se debería hacer una reforma para que los valores de iluminación disminuyan drásticamente. Resulta necesaria una intervención que modifique los tipos de vidrios, o que disponga elementos de protección solar, para reducir el nivel de iluminación. Otra forma de intervenir en este tipo de salas, donde los niveles son tan altos, es medir el número de luxes que recibe cada obra de arte al año, y rotar la colección cuando se haya superado el límite. Actualmente en Zamora la colección se expone permanentemente.

- En el IVAM existen niveles de iluminación superiores a los recomendados en los dos tipos de salas analizadas, más en la sala cuadrada, que tiene una linterna central alcanzando el FIN un valor de 1,3%, que en la rectangular, donde el mayor valor de FIN es de 0,4%. En esta primera sala se observa la existencia de un elemento de protección solar que funciona con eficacia en el solsticio de verano al mediodía solar. Este dato pone de manifiesto que probablemente se ha hecho un estudio de soleamiento, aunque se debe haber analizado la situación de la sala en el día y hora de mayor iluminancia del cielo en el año. La situación más desfavorable del cielo no tiene por qué coincidir con la escena peor de la sala. El hecho de que entre sol en el interior así lo demuestra. Es necesario estudiar la iluminación en una muestra de días significativos del comportamiento de la sala durante todo el año y a lo largo del día. Para solucionar el problema ocasionado habría que colocar algún tipo de protección solar en el hueco.

En la segunda sala, el problema se aprecia en dos laterales de la misma. La sala, además de un hueco corrido de linterna, similar al utilizado en la sala anterior, dispone de un reflector interior provisto de un paño de vidrio adicional. Al ser el nivel de iluminación elevado en algunas épocas del año, el reflector no funciona siempre con la eficacia deseada. Sería recomendable dotar a la sala de un sistema provisto de sensores daylight para que la instalación de luz artificial se pudiera regular según la época del año y hora del día más conveniente, así como algún elemento de protección solar móvil que se adaptara a la demanda de luz de la sala.

- En el CGAC el exceso de FIN se produce en los paramentos longitudinales de la sala, alcanzando el valor de 1,5%. La sala dispone de un reflector interno para atenuar la luz, pero la eficacia del mismo no es la deseada. Para solucionar el problema, dada la solidez y la singularidad del elemento reflector, que lo convierte en un elemento difícil de modificar, sería necesario un cambio de vidrios o a la incorporación de algún elemento de control móvil entre éste y el reflector que actúa como una nueva capa de filtro de la luz, pero dada la dificultad del registro de dicho elemento, la mejor solución se podría plantear desde el exterior, en la cubierta, que es de fácil acceso. Actualmente el problema se ha solucionado de una forma drástica, económica y sencilla: se han pintado los vidrios de color negro. Al no entrar la luz desaparece el problema, pero desaparece también la magia y la singularidad del lugar. ■

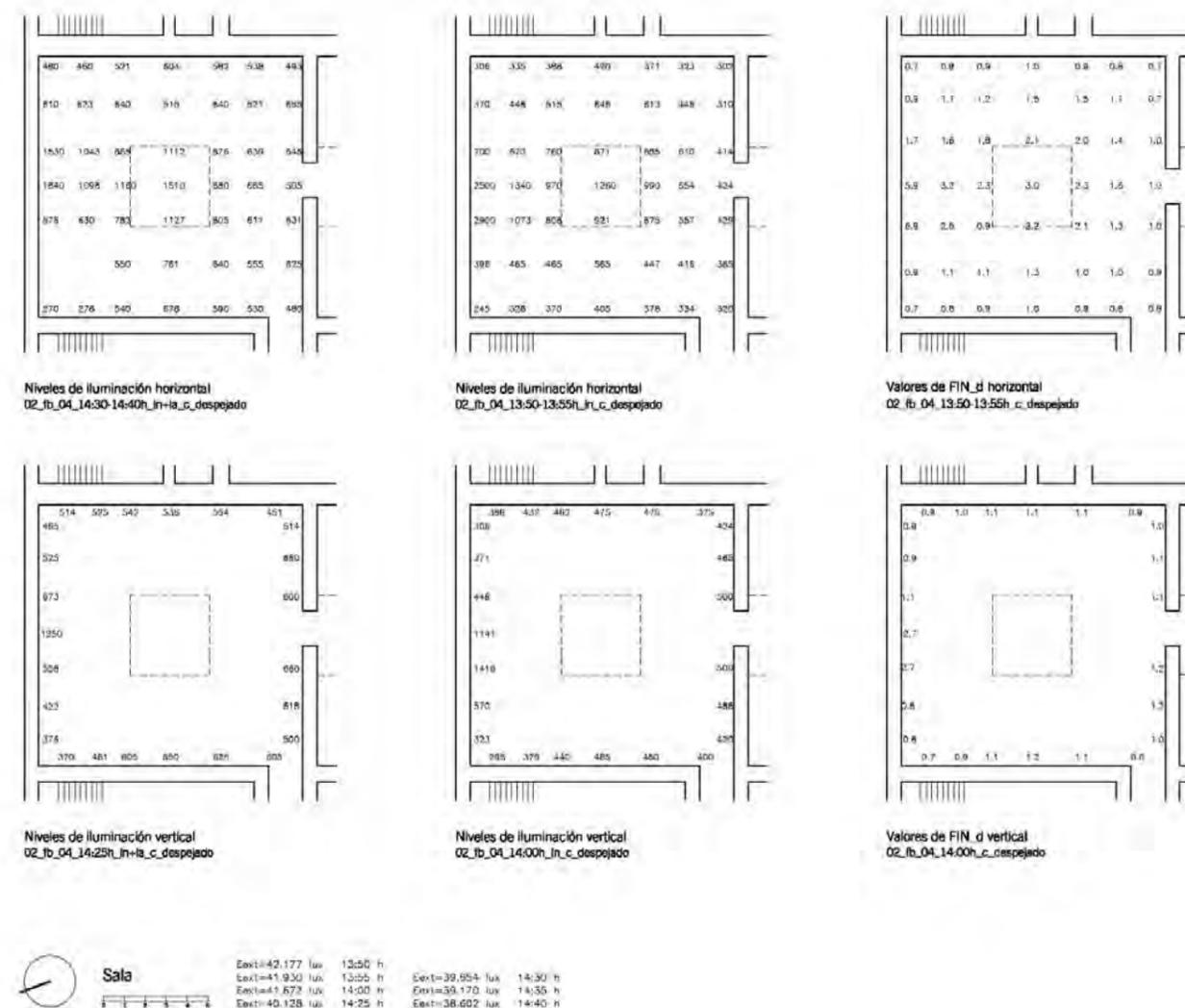


Figura 3. Valores de las iluminancias medidas en la sala 1 del IVAM. La fila superior representa los valores de iluminancia horizontal, y la fila inferior los valores de iluminancia vertical. La primera columna son valores de iluminancia de luz natural (In) y artificial (Ia), la segunda columna representa los valores de iluminancia de luz natural, la tercera es el valor de FIN resultante según las iluminancia exteriores que se indican en la parte inferior.

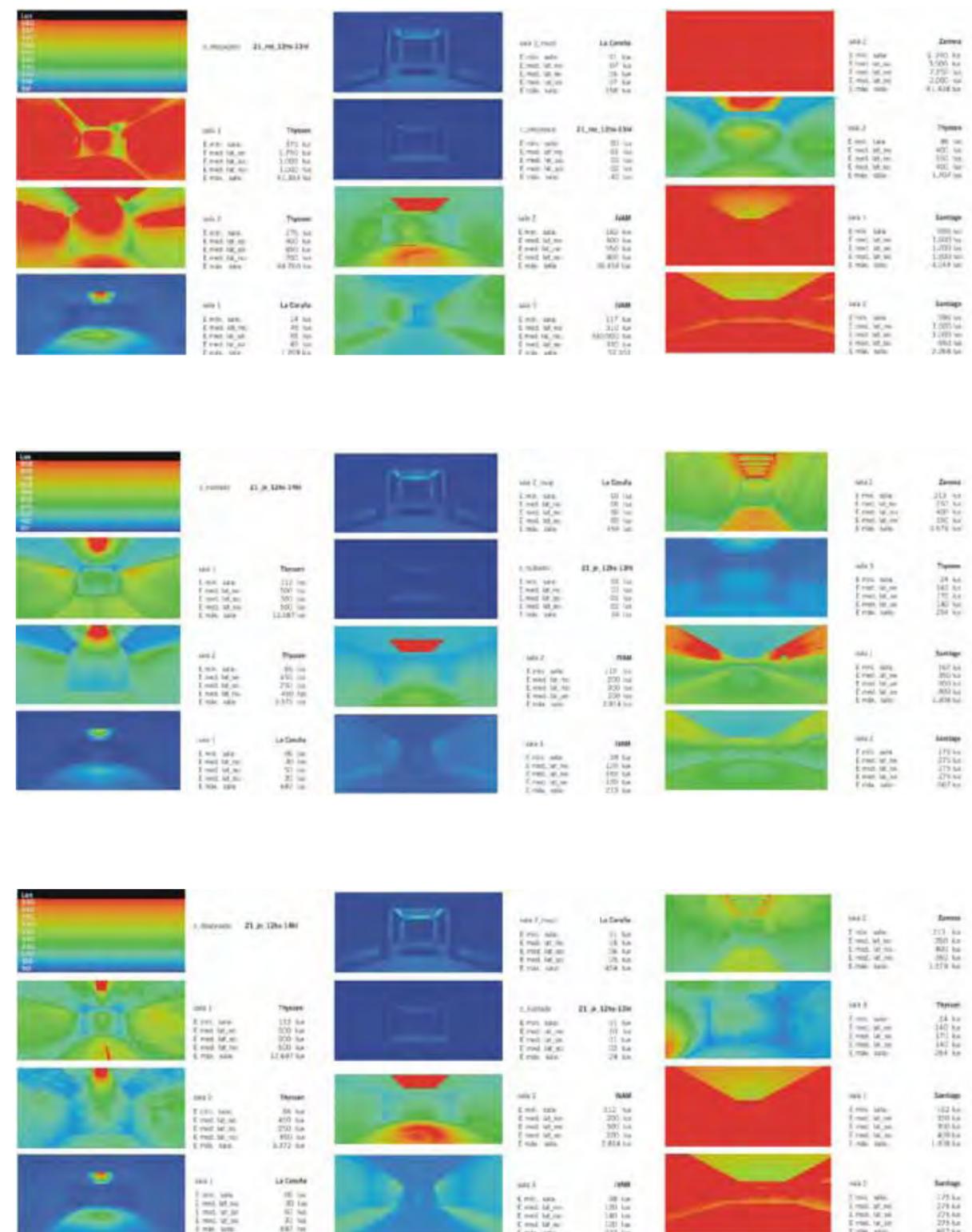
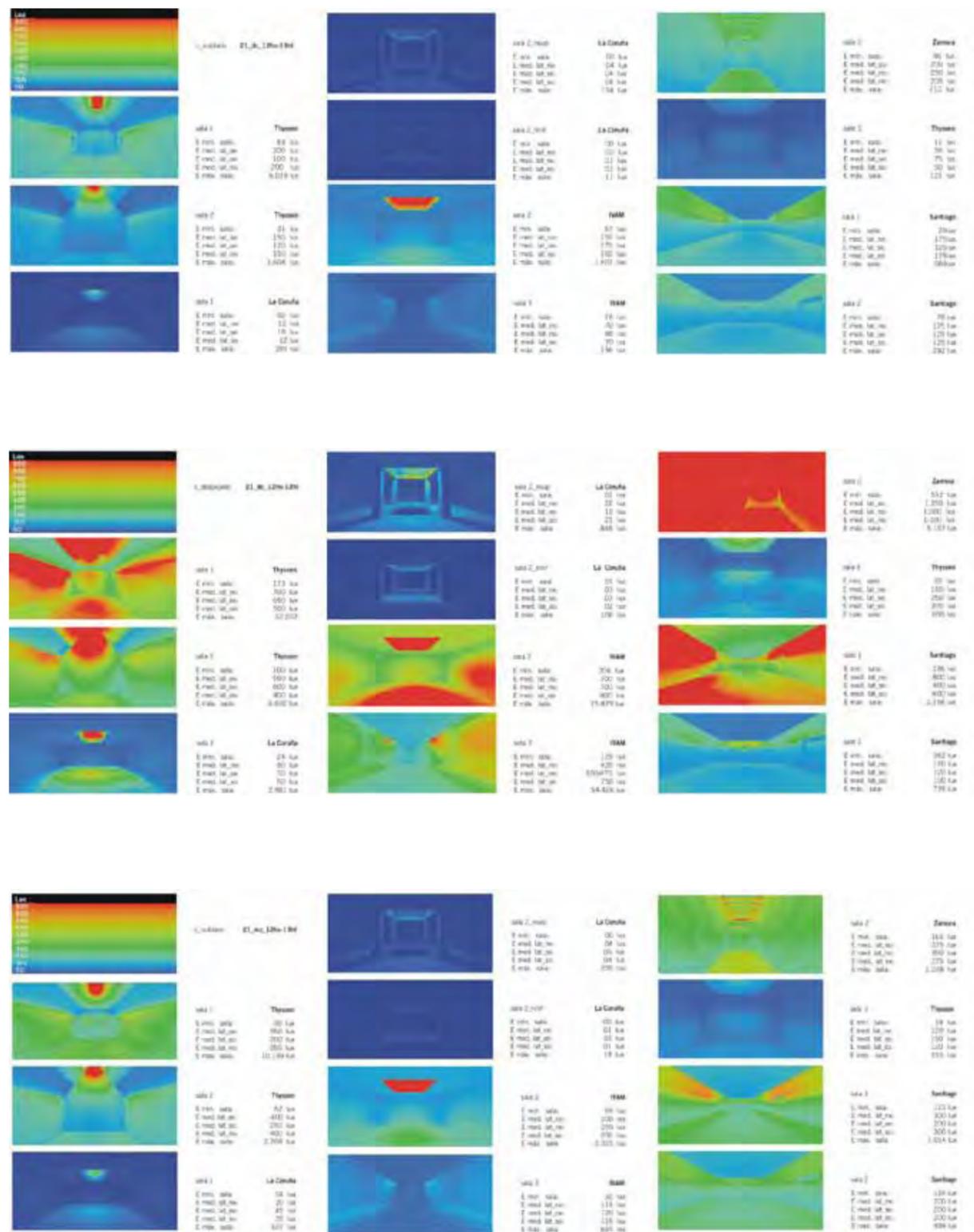


Figura 2: False Colours de los valores de las iluminancias medias de las simulaciones realizadas

**Referencia de los autores**

**Juan José Sendra Salas**, Dr. Arquitecto, Catedrático de Acondicionamiento del Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.

**Olvido Muñoz Heras**, Dr. Arquitecto, profesora Colaboradora Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.