



Arquitetura revista

ISSN: 1808-5741

arq.leiab@gmail.com

Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
Brasil

Cenci, Laline; García Alvarado, Rodrigo; Jofré Muñoz, Jaime  
Compatibilidad ambiental en museos de arte: tres casos de estudio en el clima subtropical húmedo de  
Brasil

Arquitetura revista, vol. 9, núm. 2, julio-diciembre, 2013, pp. 112-124

Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
São Leopoldo, Brasil

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193630143005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Compatibilidad ambiental en museos de arte: tres casos de estudio en el clima subtropical húmedo de Brasil

## Environmental compatibility in art museums: Three case studies in the humid subtropical Brazilian climate

Laline Cenci

lalinecenci@gmail.com

Universidade del Bío-Bío

Rodrigo García Alvarado

rgarcia@ubiobio.cl

Univesidad del Bío-Bío

Jaime Jofré Muñoz

jjofrem.arq@gmail.com

Universidad del Bío-Bío

---

**RESUMEN** – Los museos presentan un creciente desarrollo en el mundo, especialmente en los países emergentes, promoviendo edificios con significativas expresiones arquitectónicas y diversas actividades culturales. El ambiente interior en los museos está definido por dos requisitos importantes: la preservación de las obras de arte y el confort de sus visitantes o aquellos que trabajan dentro de ellos. El problema a investigar tiene su origen en que algunos materiales presentes en las obras expuestas tienen necesidades higrotérmicas que, en la mayoría de los casos, no tienen correspondencia con las condiciones de confort ambiental requeridas, tanto por quienes las visitan como por quienes laboran en sus espacios expositivos. Este trabajo presenta estándares y rangos de conflicto en el clima interior de los museos y mide estos requisitos a través de registros ambientales y encuestas a los visitantes. La metodología utilizada se basa en el “*Simultaneousness Index*”, propuesto el año 2008 en Italia, ampliando su aplicación en museos ubicados en diferentes áreas climáticas. A partir de este método se revisan las condiciones de tres museos de arte contemporáneo en Brasil, concentrados en el clima subtropical húmedo, con el objetivo de revisar los parámetros ambientales requeridos, verificar la simultaneidad de satisfacción higrotérmica obra-visitante y discutir sus configuraciones formales en relación a la demanda energética. Los casos revisados fueron el FIC (Porto Alegre), MON (Curitiba) y MUBE (São Paulo). Los resultados muestran los desempeños de compatibilidad ambiental para invierno y verano y sugieren la influencia de sus estrategias arquitectónicas en la satisfacción térmica y demanda energética.

**Palabras claves:** compatibilidad ambiental, museos de arte contemporáneo, clima subtropical húmedo.

**ABSTRACT** – Throughout the world and especially in emerging countries, museums are increasingly undergoing development, which promotes the construction of buildings with significant architectural expressions and diverse cultural activities. Interior environment in museums is defined by two important requirements: the preservation of works of art, and the comfort of visitors or individuals who work in these buildings. The research problem under investigation originates in the fact that some works of art on display have hygrothermal needs that in most cases do not correspond to the environmental comfort conditions required by visitors and those who work in exhibition spaces. This article presents standards and ranges of conflict in interior climate in museums, and measures these requirements using environmental records and visitor surveys. The methodology employed was based on the “*Simultaneousness Index*” proposed in Italy in 2008, and was extended to museums located in different climatic zones. Using this method, the conditions in three contemporary art museums concentrated in the humid subtropical climate of Brazil were reviewed in order to examine the required environmental parameters, verify the simultaneity of artwork-visitor hygrothermal satisfaction, and discuss formal characteristics in relation to energy demands. The cases studied were the FIC (Porto Alegre), the MON (Curitiba), and the MUBE (São Paulo). The results show the performance of environmental compatibility for winter and summer, and suggest the influence of architectural strategies on thermal comfort satisfaction and energy demand.

**Key words:** environmental compatibility, museum of contemporary art, humid subtropical climate.

---

## Introducción

De acuerdo con el estudio del *Instituto Brasileiro de Museus* (IBRAM, 2013), Brasil inició el siglo XX con 12 museos, y ahora cuenta con 3200 entidades. Se ha evaluado que en 2009 los museos brasileños fueron visitados por cerca de 82 millones de personas y, de los 5.564 municipios brasileños, un 21,1% (1.172) poseen, al menos, un museo. La meta del Gobierno es que la mitad de las ciudades brasileñas tenga por lo menos un museo hacia el 2020, lo que implicaría más de 2.000 nuevos museos en el país, con más de 250 millones de visitantes al año, la mayor parte localizados en climas cálidos. Estas consideraciones motivan el estudio del diseño y gestión del ambiente interior de los nuevos edificios, especialmente en estas zonas.

La creciente demanda por la cultura, en conjunto con mejores recintos expositivos, incentiva que las personas se encuentren, una cantidad relevante de tiempo, en un ambiente donde se exhiben elementos significativos: libros, esculturas, fotografías, documentos, pinturas, entre otros. Para asegurar el buen funcionamiento de un museo es fundamental mantener sus colecciones dentro de valores ambientales adecuados para su preservación y garantizar, al mismo tiempo, que las condiciones de confort sean las apropiadas para los visitantes. El problema radica en que algunos de los requerimientos de los objetos de arte que son exhibidos no siempre se corresponden con el confort térmico de las personas. Por lo que, para estabilizar su clima interior e intentar satisfacer ambos parámetros, los requisitos de temperatura y humedad son generalmente solucionados mediante sistemas de aire acondicionado. Esta situación supone, para el diseñador de un museo, tener especial cuidado en identificar los parámetros pasivos capaces de satisfacer ambas exigencias de un modo eficiente y poder elegir la configuración espacial más adecuada.

Por su función de contenedor-controlador del ambiente climático interior para la conservación del acervo y bienestar de los usuarios, un museo es un importante medio de vinculación entre los objetos culturales y las personas. Por ello, se recomienda que en el caso que no haya sido construido, las informaciones climáticas posibilitarán el desarrollo de un diseño arquitectónico capaz de atender a condiciones ambientales deseables. (Ribeiro, 2010).

En los países de amplia herencia cultural, normalmente, son edificios antiguos los habilitados como espacios de exposición. Sin embargo, la tarea no es fácil. La instalación de equipamientos convencionales de climatización puede dar como resultado un clima interior con una mala compatibilidad ambiental (Rico, 2007). También Gómez (2006) afirma que tomar el edificio como el principal contenedor ha dado la posibilidad de estudiar las circunstancias climáticas, interiores y exteriores que lo afectan, para poder aplicar nuevas estrategias de diseño ambientalmente adecuadas. Por esta razón, la realización

de nuevos edificios para museos es una oportunidad relevante para comprender e integrar en el diseño, los requerimientos ambientales de las distintas exhibiciones.

Los conflictos existentes en las condiciones ambientales en museos fueron aclarados por Gennusa *et al.* (2008), a través de un “*Simultaneous Index*” (índice de simultaneidad) propuesto desde la Normativa Italiana de Museos, por medio de una matriz de interacción de distintos materiales que componen las obras de arte, combinada con las condiciones térmicas para el confort del usuario según el método de PMV de Fanger. El método permitió desarrollar un diagrama para curadores de museos donde se pueden visualizar rangos comunes de temperatura y humedad para las obras y usuarios. Este procedimiento fue probado en salas de exposiciones en Italia, regulando la velocidad del aire en invierno y verano. El índice puede ser aplicado para evaluar la geometría de museos de arte contemporáneo, considerados como una gran sala de exposición, verificando, al mismo tiempo, su compatibilidad y eficiencia.

Esta experiencia es especialmente importante en los países emergentes que deben desarrollar vastos programas culturales, en ámbitos geográficos muy diversos y carentes de referencias apropiadas.

A partir de los años '80, en lo que Montaner (2003) define como la complejidad del programa de necesidades, los museos no solo incorporan laboratorios, bibliotecas, auditorios, tiendas y cafés a las salas de exposiciones habituales, sino también la idea que el propio edificio se transforme en un centro de información y celebración pública. La notoria alteración en la forma arquitectónica del museo, en la actualidad, es consecuente con la voluntad de los diseñadores de que los espacios de las circulaciones y las salas de exposición se integren en un *continuum* fluido.

Es sabido que las características arquitectónicas y constructivas de los edificios tienen una influencia determinante en las condiciones de confort interior. Un edificio que no ha sido diseñado de acuerdo con el clima local donde está inserto, no puede ser considerado eficiente y, al contrario, puede reducir sustancialmente la demanda energética. El clima, como agente principal, y el objeto arquitectónico, como un modificador del sistema natural, es una directriz relevante a seguir en un proyecto de esa naturaleza.

En este sentido, el desarrollo de investigaciones sobre la satisfacción, sensación y aceptabilidad térmica del usuario en los edificios, busca establecer los parámetros que permitan diseñar y construir ambientes adecuados, no solo en función del clima, sino también de la salud y el confort (Auliciems y Szokolay, 2007). En estudios más recientes, como el de Jeong y Lee (2006), se afirma que los elementos físicos del museo interfieren en la satisfacción del usuario. Factores como el tamaño del edificio tienen un efecto que se refleja, por ejemplo, en el tiempo de permanencia del visitante en su interior. Padfield y Larsen (2010) consideran que se debe hacer estudios más

integrales y afirman que no siempre es necesario mantener las temperaturas e humedad tan rígidas, por lo que interrogan: ¿Qué características de los edificios de museos de arte tienen mejor compatibilidad ambiental? Consecuente con lo anterior, el desafío es desarrollar experimentos de forma relacionando condiciones climáticas regionales con la satisfacción del usuario para disminuir la dependencia ambiental en los edificios y dar confort a sus usuarios.

## Condiciones ambientales

El clima es el agente exterior de primer orden al momento de iniciar el proceso de diseño arquitectónico, porque tiene una fuerte influencia en factores como: la forma del volumen, el color, la orientación y organización de los espacios, el confort del usuario, la conservación de los objetos, la iluminación interior, la integración con el medio natural y urbano, los materiales y sistemas constructivos y la localización. La construcción dependerá, en gran medida, de la rigurosidad del clima y sus exigencias.

Considerando la capacidad que tiene el edificio de captar radiación solar en el invierno y/o exponer menor superficie en el verano, factores que determinan el grado de confort de sus usuarios y, consecuentemente, el gasto de energía, un modo de evaluar la geometría del edificio, para ser eficiente desde el punto de vista energético y coherente con el clima donde esta insertado, es el “Factor de Forma” (FF).

Según Serra y Coch (1995), cuatro aspectos relacionados con la geometría de la forma son la compacidad, la esbeltez, la porosidad y la perforación. Estos autores establecen ecuaciones que evalúan los aspectos de geometría del edificio relacionándolos con el comportamiento térmico ambiental. Afirman, además, que para el Factor de Forma<sup>1</sup> no es regular porque su fórmula de superficie dividida por volumen es dimensional. Debido a ello, un edificio más compacto que otro, si tiene un volumen más grande, puede resultar con un Factor de Forma más pequeño, lo cual es conceptualmente ilógico. Igualmente, dos edificios de forma idéntica, pero de tamaños distintos, tendrán factores de forma diferentes. Por lo que sugieren un valor absoluto de compacidad.

En cuanto a la esbeltez, dan una idea de que las proporciones generales de un edificio, desde el punto de vista de lo alargado que sea en sentido vertical y su repercusión térmico ambiental, está determinada por el hecho que, a mayor esbeltez, hay menos superficie de contacto con el terreno y, por lo tanto, mayor exposición climática (radiación, vientos, etc.). También se debe contar con que, a menor altura, aumentan los problemas interiores de estratificación del aire. En general, no hay climas donde

sea recomendable una esbeltez mayor.

Así mismo, un alto grado de porosidad significa que tiene mucha superficie de intercambio con el ambiente exterior, por lo que es más difícil aislarlo pero, al mismo tiempo, más fácil conseguir una buena ventilación de las zonas interiores. Otro aspecto a considerar es que ofrece la posibilidad de crear espacios intermedios con un microclima propio, que puede ser útil para aumentar la humedad del ambiente. De lo anterior se concluye que, en general, los edificios con patios sean recomendables para climas cálidos secos pero no recomendables para climas templados.

Por último, la perforación de un edificio plantea que la permeabilidad de su envolvente arquitectónica al paso del aire, depende tanto de la superficie de perforación como de las dimensiones y la orientación relativa de las aberturas.

El edificio, por lo tanto, se considera un mecanismo de control térmico y ambiental donde el usuario se siente protegido, bajo efectos psicológicos y físicos aceptables. Siguiendo estos preceptos, es de suma importancia entender el objeto arquitectónico como un modificador del sistema natural que es, a su vez, modificado por las características del medio ambiente en el cual se inserta.

## El confort térmico para el usuario

Desde la perspectiva del usuario, el índice más utilizado para evaluar las condiciones térmicas interiores es la Predicción de Voto Medio (PMV), originalmente introducido por Fanger (1970). Este es un valor que representa el promedio de los votos emitidos por un grupo de personas cuyo objetivo es determinar el equilibrio térmico del cuerpo humano. De acuerdo a sus resultados, el balance térmico neutro se alcanza cuando la producción interna de calor es igual a la pérdida de calor del ambiente. En un entorno de temperatura moderada, el sistema termorregulador humano intenta, automáticamente, modificar la temperatura de la piel, a través del sudor, para alcanzar el equilibrio térmico. La fórmula de Fanger permite entonces determinar las condiciones higrotérmicas adecuadas para los ocupantes de un espacio, gracias al uso de tablas y software que contienen un conjunto de valores, previamente calculados para varias combinaciones típicas de los seis parámetros del confort térmico: (cuatro de origen ambiental y dos del humano: el metabolismo y la vestimenta). El valor de PMV para el confort térmico global (ISO 7730, 2005; ANSI/ASHRAE 55, 2004) en ambientes térmicamente moderados, como en el caso de museos, es de:  $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$ .

La definición de confort térmico, adoptada por la ASHRAE 55 e ISO 7730, es el “estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Como dicho estado mental es relativo, pues cambia de persona a per-

<sup>1</sup> Factor de Forma es una relación de superficie por volumen, considerada para evaluación de la geometría arquitectónica y su repercusión térmico ambiental en gran parte de la bibliografía de arquitectura bioclimática.

sona debido a sus diferencias psicológicas y fisiológicas, Fanger realizó entrevistas de evaluación subjetiva de aceptabilidad térmica, las cuales también se incorporaron a la Norma ISO 10551/95.

### Índices y normativa de requerimientos ambientales

La temperatura y la humedad relativa de los espacios expositivos de un museo son fundamentales para preservar las obras de arte. La fluctuación de humedad y temperatura puede provocar daño mecánico de los objetos debido a la expansión y contracción de los materiales. La baja humedad pueden endurecer los materiales orgánicos haciéndolos más vulnerables a las fracturas en tanto, a mayor índice de humedad, mayor será el riesgo de microbios. El manual de ANSI/ASHRAE (2004) recomienda una humedad relativa inferior al 60% y una temperatura entre 15 y 25°C, para museos en general. Plenderleith y Werner (1971) plantearon que la temperatura ambiente debe ser pre-determinada para satisfacer el confort de los visitantes y estar situada dentro de los límites de los 16 a 25°C y la humedad determinada por las colecciones. Thomson (1998) sugirió que los límites para la humedad debían estar entre un 65% y 45% mientras que Ascione *et al.* (2009) propusieron una temperatura del aire interior de  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ , para las salas de exposición.

Varias normativas han sido recientemente definidas para preservar los bienes culturales. Italia es uno de los primeros países en Europa que ha elaborado un reglamento específico al respecto. La norma UNI 10829 (1999) proporciona una metodología para las mediciones de los parámetros ambientales que son importantes para la conservación de bienes culturales y el correcto diseño de los equipos de climatización. La UNI 10829 (1999) muestra los parámetros higrotérmicos requeridos en los museos (Tablas 1 y 2). La UNI 10969 (2002) precisa sugerencias para la preservación de las obras de arte. Luego la UNI 11120, publicada en 2004, plantea requisitos para la medición de temperatura del aire y de la superficie de los objetos. Mientras, la UNI 11131, de marzo de 2005, se refiere a mediciones de humedad del aire. Estas normas técnicas se pueden interpretar como una guía para la evaluación de temperatura y humedad del aire y de la superficie en los objetos culturales, en espacios confinados (Gennusa *et al.*, 2008). Sin embargo, en la misma exposición puede haber diferentes materiales. Una fotografía en blanco y negro y documentos de papel, como libros, necesitan respectivamente 15°C y 19°C. Padfield afirma que muchas veces no es fundamental mantener los patrones de manera rígida (Padfield y Larsen, 2010). Por el

contrario, propone que el valor, correcto o incorrecto, tiene que tomar en cuenta diversos factores como las características del edificio, el tipo de colección y la evaluación de los ambientes interiores con los parámetros ambientales.

Para la selección de los casos de estudios (Figura 1), el análisis realizado a partir de los datos del IBRAM (2013) sobre posición con el mapa de divisiones climáticas de Brasil, se puede constatar que el 67% de sus unidades, representadas con puntos negros, están ubicados en el clima subtropical húmedo (área azul del mapa). Por otra parte las ciudades que contienen la mayor cantidad de museos son: São Paulo (123), Curitiba (40) y Porto Alegre (53). Para comprender los edificios de museos, se han seleccionado edificios recientes y significativos especialmente concebidos para cumplir dicha función. Se considera un caso para cada ciudad. Los casos elegidos, uno para cada ciudad, tienen similitud en proporción y exposición, público y materialidad, aunque distinta configuración formal.

### Climograma

El análisis ambiental en los museos, tomando al edificio como el principal contenedor, da la posibilidad de estudiar las circunstancias climáticas (interiores y



**Figura 1.** Mapa Clima (IBGE, 2013), sobre posición Museos IBRAM (2013). El clima y los museos.

**Figure 1.** Climate Map (IBGE, 2013) of IBRAM Museum locations (2013). Climate and museums.

<sup>2</sup> Clasificación publicada en 1918 por el climatólogo, geógrafo, meteorólogo y botánico ruso Dr. Wladimir Köppen. Luego, fue modificada varias veces hasta su publicación definitiva en 1936 y ha sido utilizada ampliamente por el mundo científico. Está basada en la temperatura y precipitación media mensual y anual y se usa la vegetación nativa para denominar los tipos de climas. Como botánico, Köppen observó y reconoció la efectividad de la precipitación y la intensidad de la evaporación en la vegetación local.



**Tabla 1.** Parámetros de temperatura interior en los museos y rangos de medición.**Table 1.** Interior temperature parameters in museums and measurement ranges.

Parámetro Interior	Símbolo	Rango de medición
Valor medio mensual de la temperatura del aire interior	$\theta_0$	30°C – 60°C, variación 5%
Media diaria de la temperatura del aire	$\Delta\theta \text{ máx.}$	
Temperatura de superficie de las obras de arte	$\theta_s$	30°C – 60°C, variación 5% , 1°C + 0,01 x (t aire– t superficie)
Valor medio mensual de la humedad del aire interior	$\mu_0$	5% -95%, variación de 2%
Media diaria de humedad relativa interior	$\Delta\mu \text{ máx.}$	

Fuente: Gennusa *et al.* (2008, traducción de la autora).**Tabla 2.** Valores de requerimientos para las obras de arte, UNI 10829, mayo de 1999.**Table 2.** Requirement values for works of art, UNI 10829, May 1999.

El material de las obras de arte	$\theta_0$ (°C)	$\Delta\theta_{\text{max.}}$ (°C)	$\mu$ (0 %)	$\Delta\mu_{\text{max}}$ (%)
Los materiales orgánicos				
Papel, papel maché, papel ilustración, un pañuelo de papel, papel pintado, colecciones de sellos, manuscritos	18-22	1.5	40-55	6
Papiros, impresiones, materiales de celulosa	15-24		50-60	6
De tela, velos, cortinas, alfombras, tapicería de tela, Arras, de seda, trajes, vestidos, ornamentos religiosos	19-24		30-50	
Materiales de fibras naturales, sisal, yute			40-60	
Ceras anatómicas de cera	<18	N.S.	N.S.	N.S.
Colecciones de herbarios y botánicos	21-23	1.5	45-55	2
Entomológica colecciones	19-24	1.5	40-60	6
Animales y órganos anatómicos conservados en formol	15-25	—	N.S.	N.S.
Animales secos, órganos anatómicos, momias	21-23	1.5	20-35	—
Pieles, plumas, animales de peluche y las aves	4-10	1.5	30-50	5
Acuarelas, dibujos, pasteles	19-24	1.5	45-60	2
Colecciones etnográficas, máscaras, cuero, ropa de cuero	19-24	1.5	45-60	6
Pintura sobre lienzo de pintura al óleo, sobre tela y lienzo, temple, gouaches	19-24	1.5	40-55	6
Los documentos, material de archivo	13-18	—	50-60	—
Libros de gran valor, libros encuadernados en cuero, encuadernaciones de cuero, pergamino, miniaturas	19-24	1.5	45-55	6
Laca, marquetería, decoración o muebles de laca	19-24	1.5	50-60	2
Tallas policromadas de madera, madera pintada, pinturas en madera, iconos, relojes de péndulo de madera	19-24	1.5	50-60	2
Instrumentos musicales de madera			45-65	
Tallas de madera sin pintar, cestería, madera o paneles de la corteza	19-24	1.5	45-60	2
			40-65	
Los materiales inorgánicos				
Porcelana, cerámica, gres, azulejos de terracota y azulejos de la extracción de agua desmineralizada	N.S.	N.S.	—	10
			20-60	
Piedras, rocas, oren y estable (porosa) meteoritos	19-24	—	40-60	6
Mosaicos de piedra, piedras, rocas, meteoritos, reazar (no poroso), fósiles y las colecciones de piedra	15-25	—	20-60	10
			45-60	
Metales, aleaciones metálicas pulidas, plata, armaduras, armas, de bronce, monedas, objetos de cobre	N.S.	—	<50	—

**Tabla 2.** Continuación.

El material de las obras de arte	$\theta_0$ (°C)	$\Delta\theta_{max}$ . (°C)	$\mu$ (0 %)	$\Delta\mu_{max}$ (%)
estaño, hierro, acero, plomo, estaño			<55	
Los metales con los sitios activos de la corrosión	N.S.	—	<40	—
Oro	N.S.	—	N.S.	—
Yeso y escayola	21-23	1.5	45-55	2
Vidrio inestable, sensible e iridiscente, mosaicos de vidrio sensibles	20-24	1.5	40-45	—
Varios objetos				
Los murales, frescos, sinopite (independiente)	10-24	—	55-65	—
Murales en seco (independiente)	6-25	—	45-60	—
	10-24	—	50-45	—
Marfiles, cuernos, colecciones malacológicas, huevos, nidos, los corales	6-25	—	45-60	—
	19-24	1.5	40-60	6
Fonogramas	10-21	—	45-60	
			40-55	2
Las fibras hechas por el hombre			40-60	
Cine, fotografía a color	19-24	—	40-60	—
	0-15	—	30-45	—
Cine, fotografía blanco y negro	15-5	—	30-50	—
	5-15	—	40-60	—
	2-20	—	20-30	—
Objetos de materia orgánica procedente de las zonas húmedas de excavación (antes del tratamiento)	19-24	—	Aire saturado 50-65	—
Plásticos	19-24	—	30-50	—
N.S. no significativa.				

exteriores), para aplicar nuevas intervenciones de diseño, ambientalmente adecuado (Gómez, 2010).

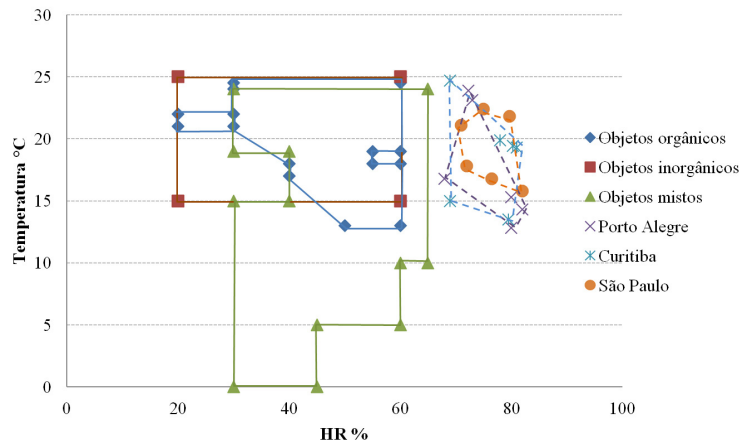
El clima subtropical húmedo, según Koppen<sup>2</sup>, se extiende en una franja que va desde las latitudes de 23° y 35°, en ambos hemisferios. Se caracteriza por una temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C y, en verano, temperatura media del mes en torno de los 22°C.

La primera etapa del análisis se elaboró a partir de una base de datos climáticos, reducida para las tres ciudades (São Paulo, Curitiba y Porto Alegre), proveniente del *Software Análisis Bio*, desarrollado por el Laboratorio de Eficiencia Energética de Edificaciones – LABEE, de la Universidad Federal de Santa Catarina. Como esta base solo contenía datos de Humedad Relativa (RH) media a la temperatura media mensual, se determinaron la humedad relativa media y máxima. Para la humedad media, se consideró constante la humedad absoluta, con la utilización de un diagrama psicrométrico se volcaron los datos en el Climograma. En el Gráfico 1, podemos observar el resumen de los

valores mínimos, medios y máximos de temperatura y humedad anuales para las tres ciudades de los casos de estudio y los valores límites según los materiales de colección (UNI 10829:1999).

## Objetivos

El sentido final de este estudio es verificar la compatibilidad ambiental, en tres casos de estudio, y relacionarla con su configuración energética y formal. Para ello, es necesario revisar los parámetros ambientales requeridos para los museos de arte en clima subtropical húmedo, comparar los valores de temperatura y humedad para la conservación de las obras con la satisfacción térmica de los visitantes y evaluar, con estos criterios, su Compatibilidad Ambiental (CA). Se deberá considerar además que los requerimientos energéticos provistos por los equipos y tecnologías deben ser lo más eficiente posible y actuar como complemento de una adecuada solución arquitectónica.



**Gráfico 1.** Climograma objetos mixtos, orgánicos e inorgánicos y datos climáticos. Basado en la UNI, 10829 y datos Analisis Bio Software.

**Graph 1.** Climograph of mixed objects, organic and inorganic, and climate data. Based on UNI 10829 and data from Software Análisis Bio.

### Descripción de los casos de estudio

Los tres casos de estudio son edificios recientes y significativos, construidos para ser museos y pertenecen al clima subtropical húmedo de Brasil, zona en el cual se encuentra la mayor parte de los museos en Brasil (65%). De este porcentaje, se eligieron las tres ciudades que cuentan con la mayor cantidad de museos: São Paulo, Curitiba y Porto Alegre, seleccionando un caso de cada ciudad.

#### **Caso 1 - Museu Brasileiro da Escultura (MUBE-Figura 2)**

Localizado en São Paulo ( $-23^{\circ} 32' 51''$  S/ $-46^{\circ} 38' 10''$  W) y diseñado por el arquitecto Paulo Mendes da Rocha, el edificio, inaugurado en 1994, ocupa una área de 7 mil metros cuadrados. Su terreno triangular, formado por la confluencia de dos vías importantes, da espacio a un

ejemplo destacado de la arquitectura moderna brasileña. Una gran viga perpendicular enfrenta una de las vías, con un vano de 60 metros que enmarca el paisaje, dejando las salas de exhibición bajo el nivel de la calle. Las tres salas están conectadas y, eventualmente, pueden ser cerradas para adaptarse a distintos tipos de muestra. Las áreas de auditorio, administración y apoyo técnico se encuentran tangentes a las salas de exposición. La condición enterrada del proyecto permite una menor ganancia térmica y, por lo tanto, un menor consumo energético para conservar sus obras. Sin embargo, como el sistema de aire acondicionado atiende a las tres salas, aunque funcionen independientemente, se mantiene sin aire acondicionado en gran parte del tiempo.

#### **Caso 2 - Museu Oscar Niemeyer (MON-Figura 3)**

Localizado en Curitiba ( $-25^{\circ} 31' 52''$  S/ $-49^{\circ} 10' 32''$  W), está instalado frente al edificio histórico adaptado



**Figura 2.** Museu Brasileiro da Escultura.  
**Figure 2.** Brazilian Museum of Sculpture.  
Fuente: MUBE.



**Figura 3.** Museu Oscar Niemeyer.  
**Figure 3.** Oscar Niemeyer Museum.  
Fuente: Foto de la autora.



para museo e internamente conectado por un túnel. Este edificio de 30 metros de altura, conocido como el “ojo”, fue construido en el año 2002 y es uno de los ejemplos de arquitectura brasileña contemporánea. Su salón principal, ubicado en la parte convexa de la estructura, destina cerca de 1,6 mil metros cuadrados para exposiciones, cuyo punto más alto alcanza 12 metros. En su opuesto, el lado cóncavo, está ubicado el área de apoyo: auditorio y sala de reuniones. Desde 2004, para ampliar su espacio expositivo, en los tres pisos que componen la torre que sostiene el edificio, fueron abiertas salas para la exhibición de fotografías. En el exterior, 316 metros de rampas conectan con la calle. Según la institución, para mantener su clima interior, dentro de las normas de conservación de las obras y confort de sus visitantes, el consumo energético del edificio es muy alto (sin aire acondicionado, en su interior, se ha llegado a medir 55°C).

### Caso 3 - Fundação Iberê Camargo (FIC-Figura 4)

Inaugurado en 2008, en Porto Alegre (30°01' 59"S/- 51° 13' 48" W), el proyecto fue realizado por el arquitecto portugués Álvaro Siza Vieira. Está emplazado en la tangente de la trama urbana, frente al lago Guaíba, y en la estrecha porción plana que queda al costado de un cerro de baja altura. En la parte más profunda, está posicionado el volumen principal con una planta baja y 3 pisos, destinados a las salas de exposiciones interconectadas que, configuradas en forma de “L”, generan un atrio de 21 metros de altura. Todas las áreas de apoyo (acervo, auditorio, biblioteca, talleres, salas para cursos y los servicios públicos) están dispuestas en el subsuelo. Para minimizar la excavación, el edificio fue levantado a 1,4 metros de la cota cero del terreno. El visitante advierte una sucesión de pequeños volúmenes hasta la gran masa de cuatro pisos. Internamente, ocultas en sus paredes inter-



**Figura 4.** Fundación Iberê Camargo.

**Figure 4.** Iberê Camargo Foundation.

Fuente: Foto de la autora.

nas, están ubicadas las instalaciones eléctricas y también aperturas en los guardapolvos y cornisas para las entradas y salidas de aire. La temperatura y humedad interna de cada recinto del edificio son monitoreadas las 24 horas del día. El sistema de aire acondicionado enfría por la noche, cuando el costo de la energía eléctrica es más barato, para refrigerar el ambiente durante el día, reduciendo los costos de la operación y aumentando la utilización de la energía. Según la institución, el edificio consume del 30% al 40% menos de energía que una construcción convencional. Cuenta además con una estrategia de aprovechamiento de aguas pluviales y una estación de tratamiento de residuos sólidos y líquidos.

A continuación en la Tabla 3 se describen los casos y se observan las características geométricas de los tres casos de estudio.

### Metodología de análisis

La metodología se basa en el “Índice de Simultaneidad”, aplicado en nuevos edificios de museo de clima sub-tropical húmedo. Para ello, en cada uno de los tres casos de estudio mencionados, se tomó registro de la temperatura y humedad del ambiente (medida *in situ* o de acuerdo con los registros ambientales de los últimos tres años) en los periodos de invierno y de verano, que son los periodos de mayor demanda de energía. Con los datos climáticos, se determinó el cumplimiento con la satisfacción térmica del usuario y los requisitos para varios tipos de obras de arte.

Para evaluar la satisfacción térmica del usuario de manera subjetiva, fueron consultados 264 visitantes, en un tramo de edad entre los 18 y 65 años, durante los periodos de invierno y verano de 2012. Según la institución, el número de consultas es equivalente al promedio de visitas diarias en cada caso. Los usuarios fueron consultados de acuerdo a esta cantidad informada, siendo en FIC, 45 personas en verano y 50 en invierno, en MON 30 personas en verano y 50 en invierno, y en MUBE 39 personas en verano y 50 en invierno. Todas las consultas fueron realizadas en el periodo entre las 15 y 17 h y aproximadamente 15 o 20 min luego de su ingreso a la exposición, ya que es el periodo de mayor ocupación en los tres casos.

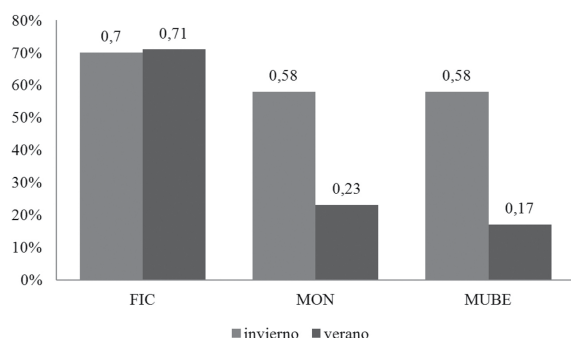
Los usuarios contestaron a la pregunta de percepción térmica: ¿“En relación a su sensación térmica, como te sientes en ese momento?” Se utilizó una ponderación de nueve niveles centrados, basada en la escala de *kano* y adaptada por Tontini y Sant’ana (2008) en la cual, según los autores, el encuestado posee mayores posibilidades de expresar el nivel de satisfacción. De los consultados se evaluó no solamente su aceptabilidad térmica sino el grado de satisfacción. Es importante considerar que el propósito es verificar su satisfacción con la temperatura del ambiente y no determinar los rangos de temperatura ideal para el confort, por lo que se considera útil esta escala.

**Tabla 3.** Características de los Casos de Estudio.**Table 3.** Characteristics of the Case Studies.

Parámetro	MUBE	MON	FIC
Ape (m <sup>2</sup> )	3071,34	2100	849
Atot (m <sup>2</sup> )	3071,34	2934,5	2450
Aenv (m <sup>2</sup> )	7092,92	5876	4947,5
Vtot (m <sup>3</sup> )	19024	25223	14218,4
Apex (m <sup>2</sup> )	1095	1500	1600
Ados	38	0,5	14
Ase (m)	- 4	+12	-1,4
AfN (m <sup>2</sup> )	0	841,1	1115,26
AfS (m <sup>2</sup> )	386,35	841,1	871,38
AfO (m <sup>2</sup> )	0	976,35	81,6
AfP (m <sup>2</sup> )	353,10	976,35	547,95
PaN (%)	0	0	0,5
PaS (%)	5,25	0	0,9
PaO (%)	0	73,35	0
PaP (%)	20,82	73,35	0
Ais	No	No	Sí
Altura Total	5	30	25
Compacidad	0,48	0,7	0,57
Esbeltez	0,01	0,03	0,04
Porosidad	0	0	0
Consumo (Kwh/m <sup>2</sup> año)	68	546	141

Notas: **Ape**: Área de proyección horizontal edificio (m<sup>2</sup>). Excluido subsuelo; **Atot**: Área total de piso (m<sup>2</sup>). Suma de las áreas de piso medidas externamente; **Aenv**: Área de Envolvente (m<sup>2</sup>). Planos externos de la edificación: fachadas y coberturas; **Vtot**: Volumen total de la edificación (m<sup>3</sup>). Razón de área y altura; **Apex**: Área de Exposición declarada por la Institución (m<sup>2</sup>); **Ados**: Adosamiento. Adimensional. Porcentaje de Superficie en contacto con la tierra. (Aenv+Aproy=100%); **Ase**: Asentamiento (m). Desplazamiento desde la cuota cero; **AfN**: Área fachada Norte; **AfS**: Área fachada Sur; **AfO**: Área fachada Oriente; **AfP**: Área fachada Poniente; **PaN**: Porcentaje de apertura Norte; **PaS**: Porcentaje de apertura Sur; **PaO**: Porcentaje de apertura Oriente; **PaP**: Porcentaje de apertura Poniente; **Ais**: Aislación.

El Gráfico 2 muestra los resultados de las consultas a continuación y serán contabilizados como valor RU en la Compatibilidad Ambiental.

**Gráfico 2.** Porcentaje de satisfacción térmica de los usuarios en los periodos de invierno y verano de 2012.**Graph 2.** User thermal comfort satisfaction in winter and summer of 2012.

Se ha denominado Compatibilidad Ambiental (CA) al valor determinado por el cumplimiento de los requisitos a las obras de arte (RO) y de la satisfacción térmica de los usuarios (SU) en los periodos climáticos extremos (invierno/verano). Por lo tanto, la medición que se lleva a cabo en este trabajo puede ser expresada a través de la siguiente ecuación:

$$CA = (SU \text{ invierno} + SU \text{ verano} + RO \text{ invierno} + RO \text{ verano}). 0,25$$

#### Satisfacción Térmica del usuario (SU)

Con los resultados de las encuestas (Gráfico 1), se calcula el valor de SU para cada caso (considerando una escala de 0 a 100):

MUBE: SU= (Su invierno + Su verano); SU= (58+ 17)
MON: SU= (Su invierno + Su verano); SU= (58+ 23)
FIC: SU= (Su invierno + Su verano); SU= (70+ 71)

**Tabla 4.** Tabla de Simultaneidad – Verano.**Table 4.** Simultaneity Table – Summer.

	Requerimientos			Casos		
	$\theta\theta$ (°C)	$\Delta\theta_{max}$ (°C)	$\mu$ (0 %)	*A	*B	*C
Materialidad de la obra de arte						
Papel, papel maché, papel ilustración, un pañuelo de papel, papel pintado, colecciones de sellos, manuscritos,	18-22	1.5	40-55	2	2	0
Papiros, impresiones, materiales de celulosa	15-24		50-60	2	2	1
De tela, velos, cortinas, alfombras, tapicería de tela, Arras, de seda, trajes, vestidos, ornamentos religiosos,	19-24		30-50	1	1	1
materiales de fibras naturales, sisal, yute			40-60	1	1	1
Ceras anatómicas de cera	<18	N.S.	N.S.	0	0	0
Colecciones de herbarios y botánicos	21-23	1.5	45-55	2	2	0
Entomológica colecciones	19-24	1.5	40-60	2	2	1
Animales y órganos anatómicos conservados en formol	15-25	—	N.S.	2	2	2
Animales, órganos secos anatómicos, momias	21-23	1.5	20-35	1	1	0
Pieles, plumas, animales de peluche y las aves	4-10	1.5	30-50	0	0	0
Acuarelas, dibujos, pasteles	19-24	1.5	45-60	2	2	1
Colecciones etnográficas, máscaras, cuero, ropa de cuero	19-24	1.5	45-60	2	2	1
Pintura sobre lienzo de pintura al óleo, sobre tela y lienzo, temple, gouaches	19-24	1.5	40-55	2	2	1
Los documentos, material de archivo	13-18	—	50-60	1	1	0
Libros de gran valor, libros encuadernados en cuero, encuadernaciones de cuero, pergamino, miniaturas	19-24	1.5	45-55	2	2	1
Laca, marquetería, decoración o muebles de laca	19-24	1.5	50-60	2	2	1
Tallas policromadas de madera, madera pintada, pinturas en madera, iconos, relojes de péndulo de madera,	19-24	1.5	50-60	2	2	1
Instrumentos musicales de madera			45-65	2	2	1
Tallas de madera sin pintar, cestería, corteza	19-24	1.5	45-60	2	2	1
Porcelana, cerámica, gres, azulejos de terracota y azulejos de la extracción de agua desmineralizada	N.S.	N.S.	—	2	2	2
Piedras, rocas, oren y estable (porosa) meteoritos	19-24	—	40-60	2	2	1
Mosaicos de piedra, piedras, rocas, meteoritos, reazar (no poroso), fósiles y las colecciones de piedra	15-25	—	20-60	2	2	1
			45-60			
Metales, aleaciones metálicas pulidas, plata, armaduras, armas, de bronce, monedas, objetos de cobre,	N.S.	—	<50	1	1	1
estaño, hierro, acero, plomo, estaño			<55	0	0	0
Los metales con los sitios activos de la corrosión	N.S.	—	<40	1	1	2
Oro	N.S.	—	N.S.	2	2	2
Yeso y escayola	21-23	1.5	45-55	2	2	0
Vidrio inestable, sensible e iridiscente, mosaicos de vidrio sensibles	20-24	1.5	40-45	1	1	1
Los murales, frescos, sinopite (independiente)	10-24	—	55-65	1	1	0
Murales en seco (independiente)	6-25	—	45-60	2	2	1
	10-24	—	50-45	1	1	1
Marfiles, cuernos, colecciones malacológica, huevos, nidos, los corales	6-25	—	45-60	2	2	1
	19-24	1.5	40-60	2	2	1
Fonogramas	10-21	—	45-60	1	1	0
Las fibras hechas por el hombre			40-60	1	1	0
Cine, fotografía a color	19-24	—	40-60	2	2	1
	0-15	—	30-45	1	1	0
Cine, fotografía blanco y negro	15-5	—	30-50	0	0	0
	5-15	—	40-60	1	1	0
	2-20	—	20-30	0	0	0
Plásticos	19-24	—	30-50	1	1	0
Valor RO Verano				59	59	29

Notas: \*Condiciones de Verano 2012, obtenido *in situ*.

Caso A: Temperatura de 21,95°C; Humedad de 53,91%.

Caso B: Temperatura de 21,4° C; Humedad de 52%.

Caso C: Temperatura de 23,9°C; Humedad de 75%.

**Tabla 5.** Tabla de Simultaneidad- Invierno**Table 5.** Simultaneity Table – Winter.

Materialidad de la obra de arte	Requerimientos			Casos		
	$\theta\theta$ (°C)	$\Delta\theta_{max}$ . (°C)	$\mu$ (0 %)	*A	*B	*C
Papel, papel maché, papel ilustración, un pañuelo de papel, papel pintado, colecciones de sellos, manuscritos	18-22	1.5	40-55	2	2	1
Papiros, impresiones, materiales de celulosa	15-24		50-60	2	2	1
De tela, velos, cortinas, alfombras, tapicería de tela, Arras, de seda, trajes, vestidos, ornamentos religiosos.	19-24		30-50	1	1	2
Materiales de fibras naturales, sisal, yute			40-60	1	1	1
Ceras anatómicas de cera	<18	N.S.	N.S.	0	0	0
Colecciones de herbarios y botánicos	21-23	1.5	45-55	2	2	0
Entomológica colecciones	19-24	1.5	40-60	2	2	2
Animales y órganos anatómicos conservados en formol	15-25	—	N.S.	2	2	2
Animales, órganos secos, anatómicos, momias	21-23	1.5	20-35	1	1	0
Pieles, plumas, animales de peluche y las aves	4-10	1.5	30-50	0	0	1
Acuarelas, dibujos, pasteles	19-24	1.5	45-60	2	2	1
Colecciones etnográficas, máscaras, cuero, ropa de cuero	19-24	1.5	45-60	2	2	1
Pintura sobre lienzo de pintura al óleo, sobre tela y lienzo, temple, gouaches	19-24	1.5	40-55	2	2	2
Los documentos, material de archivo	13-18	—	50-60	1	1	0
Libros de gran valor, libros encuadernados en cuero, encuadernaciones de cuero, pergamino, miniaturas	19-24	1.5	45-55	2	2	1
Laca, marquetería, decoración o muebles de laca	19-24	1.5	50-60	2	2	1
Tallas policromadas de madera, madera pintada, pinturas en madera, iconos, relojes de péndulo de madera	19-24	1.5	50-60	2	2	1
Instrumentos musicales de madera			45-65	1	1	0
Tallas de madera sin pintar, cestería, corteza	19-24	1.5	45-60	2	2	1
Porcelana, cerámica, gres, azulejos de terracota y azulejos de la extracción de agua desmineralizada	N.S.	N.S.	—	2	2	2
Piedras, rocas, oren y estable (porosa) meteoritos	19-24	—	40-60	2	2	2
Mosaicos de piedra, piedras, rocas, meteoritos, reazar (no poroso), fósiles y las colecciones de piedra	15-25	—	20-60	2	2	2
			45-60	1	1	0
Metales, aleaciones metálicas pulidas, plata, armaduras, armas, de bronce, monedas, objetos de cobre	N.S.	—	<50	1	1	2
estaño, hierro, acero, plomo, estaño			<55	1	1	1
Los metales con los sitios activos de la corrosión	N.S.	—	<40	1	1	1
Oro	N.S.	—	N.S.	2	2	2
Yeso y escayola	21-23	1.5	45-55	1	2	0
Vidrio inestable, sensible e iridiscente, mosaicos de vidrio sensibles	20-24	1.5	40-45	1	1	2
Los murales, frescos, sinopite (independiente)	10-24	—	55-65	1	1	1
Murales en seco (independiente)	6-25	—	45-60	2	2	2
	10-24	—	50-45	2	2	1
Marfiles, cuernos, colecciones malacológicas, huevos, nidos, corales	6-25	—	45-60	2	2	1
	19-24	1.5	40-60	2	2	2
Fonogramas	10-21	—	45-60	2	2	0
Las fibras hechas por el hombre			40-60	1	1	1
Cine, fotografía a color	19-24	—	40-60	2	2	2
	0-15	—	30-45	0	0	1
Cine, fotografía blanco y negro	15-5	—	30-50	0	0	1
	5-15	—	40-60	1	1	1
	2-20	—	20-30	0	0	0
Plásticos	19-24	—	30-50	1	1	2
Valor RO Invierno				59	60	47

Notas: Condiciones de Invierno 2012, obtenido *in situ*.

Caso A: Temperatura de 20,37°C; Humedad de 51,07%.

Caso B: Temperatura de 21,4° C; Humedad de 50,25%.

Caso C: Temperatura de 23,7°C; Humedad de 42,16%.

Posteriormente, para evaluar el cumplimiento de conservación de las obras de arte (RO), los datos de temperatura y humedad recopilados del ambiente fueron comparados con las necesidades de la materialidad de las obras de arte, en las Tablas 4 y 5 para cada período – invierno y verano, según especifica la UNI 10829. En seguida se asignó para cada ítem, en una columna a la derecha, un punto por la temperatura y otro punto para la humedad registrada por la medición “real” del ambiente en cada caso de estudio (A, B y C).

Con las Tablas de Simultaneidad de invierno y verano se calcula el RO, donde:

MUBE: RO= (RO invierno + RO verano); RO= (47+ 29)
MON: RO= (RO invierno + RO verano); RO= (59+ 60)
FIC: RO= (RO invierno + RO verano); RO= (59+ 59)

## Resultados

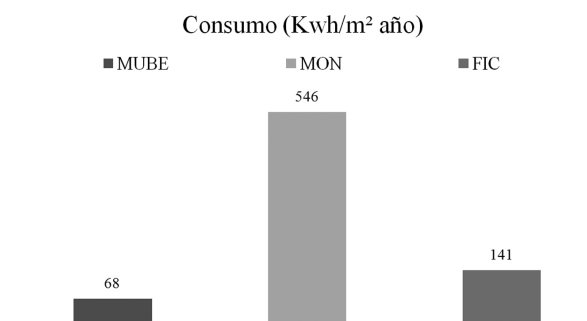
Con los resultados se obtiene el factor de Compatibilidad Ambiental (CA) para los tres casos de estudio:

- <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> (MUBE):CA= SU+ RO
CA= (62+96+35+63).0,25CA= <b>64%</b>
- <i>Museu Oscar Niemeyer</i> (MON):CA= SU+ RO
CA= (76+96+70+71).0,25CA= <b>78,25%</b>
- <i>Fundação Iberê Camargo</i> (FIC):CA= SU+ RO
CA= (95+92+70+70).0,25CA= <b>81,75%</b>

Los resultados expresan una notable diferencia entre los casos, aunque no de manera regular; dos de ellos presentan una similar satisfacción baja de los usuarios encuestados. En cuanto a la preservación de las obras, en cambio, en dos casos se constatan valores relevantes, no obstante, en todos los casos, consistentes en las diferentes estaciones del año. Lo anterior evidencia situaciones distintas que se podrían relacionar con sus configuraciones arquitectónicas y condiciones de ocupación detectadas. Por ejemplo, en ambos valores el FIC presenta condiciones adecuadas y el MUBE a su vez es inferior en los dos requerimientos. Mientras el MON presenta insatisfacción de usuarios pero una mantención de obras adecuada.

El consumo de los edificios fue analizado según informaciones dadas por las instituciones y se resumen en el Gráfico 3.

Estos resultados permiten vincular con las estrategias de forma y gestión de cada edificio. En el FIC y el MON, el ambiente estaba siendo climatizado por aire acondicionado, en tanto, en el MUBE no se utilizaba ningún tipo de equipamiento. Los tres edificios presentan expresiones formales singulares: se encuentran emplazados en el mismo clima; tienen exposiciones similares; están contruidos, en su mayor parte, en hormigón armado



**Gráfico 3.** Consumo de energía eléctrica de los casos.  
**Graph 3.** Energy Consumption of the cases.

a la vista y tienen proporciones similares de público y volumen. Son ejemplos equivalentes, pero con estrategias tipológicas muy distintas entre sí. La FIC es un volumen compacto y en cuatro pisos con un atrio que los conecta y tiene la mayor cantidad de superficie opaca. El MON se trata de un volumen elevado de un solo piso y con una superficie translúcida en ambos lados. El MUBE es un volumen de un piso, con tres salas conectadas entre sí bajo tierra, las cuales tienen un comportamiento diferente en relación al clima que, quizás, afecta directamente a la satisfacción del usuario.

## Conclusiones

Este trabajo evaluó la compatibilidad ambiental de tres museos localizados en el clima subtropical húmedo utilizando una metodología de registro ambiental basada en la consulta directa sobre la satisfacción térmica del visitante. Luego se confrontaron los datos obtenidos con los valores de temperatura y humedad, necesarios para la adecuada conservación de las obras expuestas, y así dar cumplimiento con la simultaneidad higrotérmica. De la aplicación del procedimiento descrito se ha comprobado que la FIC obtuvo un buen desempeño tanto en la satisfacción del público encuestado como en la tabla de simultaneidad, debido a la correcta gestión de su sistema ambiental como también a la tipología de volumen vertical con atrio central. En MUBE, el índice de buen confort térmico para el usuario está relacionado con la reducción de la superficie expuesta al exterior. Mientras que el MON, su forma erguida y alto grado de perforación en las fachadas y escasa adaptación ambiental, tienen directa influencia en el bajo desempeño tanto para las obras como para los visitantes.

La relación de los datos obtenidos del confort térmico con las variables del volumen arquitectónico permite proponer recomendaciones específicas sobre la compacidad, la esbeltez, la perforación y la porosidad. El primero, que se refiere al grado de concentración de las masas que lo componen, en el caso del MON, la conse-



cuencia en el comportamiento térmico del edificio es que, a mayor compacidad, menor es el contacto con las condiciones exteriores. Por un lado, ello significa disminuir la captación de radiación y, por otro, menor posibilidad de pérdida de energía. En los edificios más compactos hay también pocas posibilidades de ventilación y aparecen espacios centrales alejados del perímetro.

En la esbeltez sucede lo contrario al MUBE, desarrollado en el subsuelo, donde la positiva compacidad del MON se ve afectada por su excesiva esbeltez.

El tercero, la perforación, como en el caso anterior, el MUBE, virtualmente sin aplicación del concepto de perforación, contrasta con el alto grado de vanos en las fachadas del MON que dificulta el control ambiental interior.

De modo que se puede advertir una combinación de características formales que promueven la compatibilidad ambiental en el diseño arquitectónico de museos de arte para el clima subtropical húmedo, según lo revisado en tres casos de estudio en Brasil, logrando una expresión arquitectónica significativa con preservación de las obras expuestas y confort para los visitantes.

## Agradecimientos

MON-PR, MUBE-SP, FIC-RS y Universidad del Bío-Bío. Tesis Doctoral en Arquitectura y Urbanismo en la Univesidad del Bío-Bío.

## Referencias

- ANSI/ASHRAE. 2004. *Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, Editora ASHRAE, 26 p.
- ASCIONE, F.; BELIA, L.; CAPOZZOLI A.; MINICHELLO, F. 2009. Energy saving strategies in air conditioning for museums. *Applied Thermal Engineering*, 9:276-686.
- AULICIEMS, A.; SZOKOLAY S. 2007. *Thermal Comfort*. Brisbane, PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, 64 p.
- FANGER, P.O. 1970. *Thermal Comfort*. New York, McGraw-Hill Book Company, 244 p.
- GÓMEZ, A.F. 2006. Desarrollo de nomogramas aplicados a la conservación de Bienes de Interés Cultural según los materiales constitutivos de la colección. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10:123-129.
- GÓMEZ, A.F. 2010. Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos. In: SEMINÁRIO DE INVESTIGAÇÃO EM MUSEOLOGIA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA E ESPANHOLA, I, Portugal, 2010. *Actas...* Porto, 2010, 2:19-33.
- GENNUSA, M. La; LASCARI, G.; RIZZO, G. 2008. Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise. *Journal of Cultural Heritage*, 9:125-134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2007.08.003>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MUSEUS (IBRAM). 2013. Disponible en: <http://www.ibram.gov.br/>. Acceso el: 09/2013.
- ISO 10551. 1995. *Ergonomics of the Thermal Environment –Assessment of the influence of the thermal environmental using subjective judgment scales*. International Organization for Standardization. Geneva, International Organization for Standardization, 18 p.
- ISO 7730. 2005. *Ergonomics of the Thermal Environment and Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD*. Geneva, International Organization for Standardization, 52 p.
- JEONG, J.-H.; LEE, K.-H. 2006. The physical environmental in museums and its effects on visitor's satisfaction. *Building and Environmental*, 41:963-969. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.004>
- MONTANER, J.M. 2003. *Las formas del Siglo XX*. Barcelona, Editora Gustavo Gili, 263 p.
- PADFIELD, T.; LARSEN, P.K. 2010. Does a standard temperature need to be constant? *Energy Strategies Committee*, 2010. Disponible en: [http://www.conservationphysics.org/standards\\_debate/standards\\_debate.php](http://www.conservationphysics.org/standards_debate/standards_debate.php). Acceso el: 18/01/2014.
- PLENDERLEITH, H.J.; WERNER, A.E.A. 1971. *The conservation of antiquities and works of art*. 2<sup>nd</sup> ed., London, Oxford University Press, 394 p.
- RIBEIRO, M.B. 2010. Os desafios da arquitetura de museus adaptada ao meio ambiente. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ARQUITETURA DE MUSEUS, Rio de Janeiro, 2010. *Anais...* Rio de Janeiro. Disponible en: [http://arqimuseus.arq.br/anais-seminario\\_2010/eixo\\_iii/p3-36-artigo-marina-byrrro.pdf](http://arqimuseus.arq.br/anais-seminario_2010/eixo_iii/p3-36-artigo-marina-byrrro.pdf). Acceso: 03/12/2013.
- RICO, J.C. 2007. *Montaje de exposiciones: museos, arquitectura y arte*. Madrid, Editora Sílex, 394 p.
- SERRA, R.; COCH, H. 1995. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 395 p.
- THOMSON, G. 1998. *El museo y su entorno*. 2<sup>a</sup> ed., Madrid, Akal Ediciones, 293 p.
- TONTINI, S.; SANT'ANA, A.J. 2008. Interação de atributos atrativos e obrigatórios de um serviço na satisfação do cliente. *Produção*, 18(1):112-125. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v18n1/a09v18n1.pdf>. Acceso: 18/01/2014.
- UNI 10829. 1999. *Beni di interesse storico e artistico: condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*. Milano, UNI/Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 24 p.
- UNI 10969. 2002. *Cultural Heritage e General Principles for the Choice and the Control of the Microclimate to Preserve Cultural Heritage in Indoor Environments*. Milano, UNI/Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 10 p.
- UNI 11120. 2004. *Beni culturali – Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti*. Milano, UNI/Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 10 p.
- UNI 11131. 2005. *Beni culturali – Misurazione in campo dell'umidità dell'aria*. Milano, UNI/Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 14 p.

Submetido: 02/01/2013

Aceito: 18/11/2013

### Laline Cenci

Universidad del Bío-Bío  
Avda. Collao 1202, Concepción, Chile

### Rodrigo García Alvarado

Univesidad del Bío-Bío  
Avda. Collao 1202, Concepción, Chile

### Jaime Jofré Muñoz

Universidad del Bío-Bío  
Avda. Collao 1202, Concepción, Chile