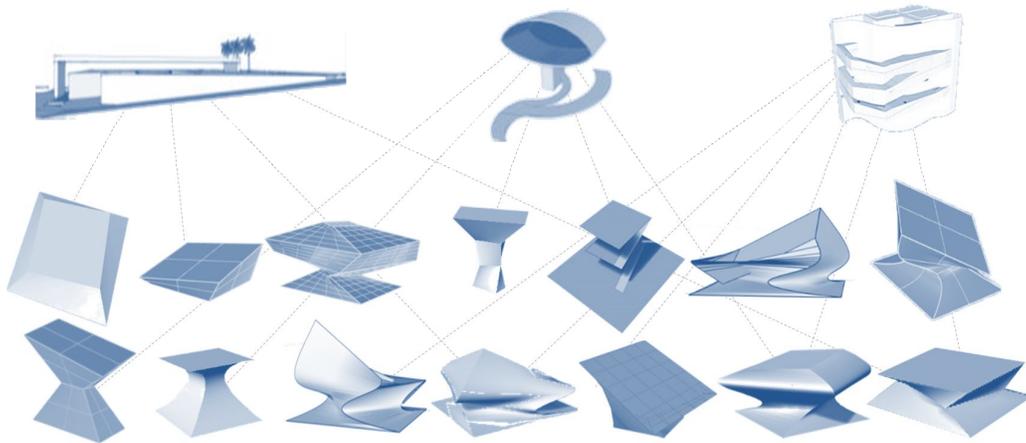




UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

Tesis Doctoral

**COMPATIBILIDAD AMBIENTAL Y MODELACIÓN PARAMÉTRICA DE VOLUMEN PARA  
MUSEOS DE ARTE CONTEMPORÁNEO EN EL CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO DE  
BRASIL.** Tres casos de estudio: *Museu Brasileiro da Escultura- MUBE, Museu Oscar Niemeyer-  
MON y Fundação Iberê Camargo- FIC.*

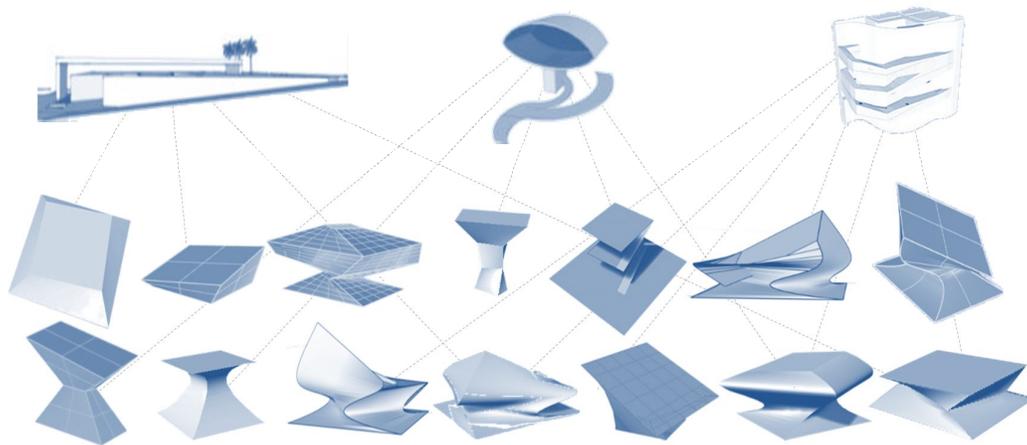


Autora: Laline Cenci | Guía: Dr. Rodrigo García Alvarado | Co-Guía: Dr. Jaime A. Jofré Muñoz

Concepción– Chile, marzo del 2015.



Compatibilidad Ambiental y Modelación Paramétrica del Volumen de Museos en el Clima subtropical húmedo de Brasil.



Tesis Doctoral | Autora: Laline Cenci | Guía: Dr. Rodrigo García Alvarado | Co-Guía: Dr. Jaime A. Jofré Muñoz | UBB-DAU, 2015.



LALINE CENCI

**COMPATIBILIDAD AMBIENTAL Y MODELACIÓN PARAMÉTRICA DE VOLUMEN PARAMUSEOS DE ARTE CONTEMPORÁNEO EN EL CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO DE BRASIL. TRES CASOS DE ESTUDIO: *Museu Brasileiro da Escultura- MUBE, Museu Oscar Niemeyer- MON y Fundação Iberê Camargo- FIC.***

Tesis presentada al Programa de Postgrado en Arquitectura y Urbanismo de la Universidad del Bío-Bío para obtener el grado de Doctor en Arquitectura y Urbanismo.

Guía: Dr. Rodrigo García Alvarado

Co-Guía: Dr. Jaime Arturo Jofré Muñoz

Concepción - Chile, 2015.



La presente tesis titulada: “COMPATIBILIDAD AMBIENTAL Y MODELACIÓN PARAMÉTRICA DE VOLUMEN PARA MUSEOS DE ARTE CONTEMPORÁNEO EN EL CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO DE BRASIL. TRES CASOS DE ESTUDIO: *Museu Brasileiro da Escultura- MUBE*, *Museu Oscar Niemeyer- MON* y *Fundação Iberê Camargo- FIC*”, ha sido juzgada como adecuada para la obtención del título de Doctor en Arquitectura y Urbanismo.

Concepción, 06 de marzo del 2015,

---

Director del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo  
Dr. Rodrigo García Alvarado





UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

**ACTA TESIS  
ESCRITA - GRADO**

Con fecha 06 de Marzo del 2015, la Comisión de Examen presidida por la Dra. Maureen Trebilcock Kelly, otorgan la siguiente evaluación de tesis de grado de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo, titulada:

***\*COMPATIBILIDAD AMBIENTAL Y MODELACIÓN  
PARAMÉTRICA DE MUSEOS DE ARTE CONTEMPORÁNEO EN  
EL CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO DE BRASIL\****

Presentada por la Sra. **LALINE CENCI**

La comisión califica la Tesis Escrita con nota (60%): 5,8

La comisión califica la Tesis Examen con nota (40%): 5,8

La comisión califica la Tesis con Nota Final: 5,8

**Comisión:**

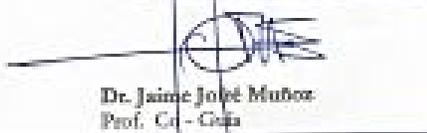
  
Dra. Maureen Trebilcock Kelly  
Prof. Interno

  
Dr. Claudio Aranda Gutiérrez  
Prof. Interno

  
Dr. Rodrigo Vidal  
Prof. Externo

  
Dr. Ricardo Martínez  
Prof. Externo

  
Dr. Rodrigo García Alvarado  
Prof. Guía

  
Dr. Jaime Jofré Muñoz  
Prof. Co - Guía

**Sede Concepción**  
Avda. Collao Nº 1202 - Casilla 5-C Fono: (56-41) 2731200 Fono/Fax: (56-41) 2731340 - VIII Región - Chile

**Sede Chillán**  
Avda. Andrés Bello s/n Casilla 447 - Fono/Fax: (56-42) 253000 - VIII Región - Chile

E-mail: ubi@ubiobio.cl  
www.ubiobio.cl



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad del Bío-Bío por la beca concedida que permitió la realización de ésta investigación.

A *Fundação Iberê Camargo, Museu Oscar Niemeyer y Museu Brasileiro da Escultura* por abrirme puertas y permitir hacer realidad este trabajo.

A Rodrigo García Alvarado y Jaime Jofré Muñoz por las enseñanzas y la paciencia demostrada durante la larga realización de este trabajo.

A Oscar Otárola por su fundamental ayuda en el desarrollo del modelo paramétrico.

A Verónica Otárola y a todos los profesores y estudiantes del Postgrado en Arquitectura y Urbanismo de esta Universidad, por las enriquecedoras discusiones que vivimos.

A Profesora Léia Bruscato, por creer en mis capacidades.

A mis amigos, antiguos y nuevos, por su presencia constante a mi lado.

A mi familia chilena por el cariño y afecto en todo este largo proceso.

A mis tíos Nico, Nani, Nara y André por el cariño y apoyo de siempre.

A Jaime Jara Mendoza, por la colaboración y motivación en la recta final de este proceso.

A mis compañeras Plenas, por el espacio que me regalaron en sus vidas.

A mi familia, referencia continua de mis pasos en la vida.



**DEDICATORIA**

A mi familia toda mi gratitud.



*“Enquanto satisfaz apenas às exigências técnicas e funcionais, não é ainda arquitetura; quando se perde em intenções meramente formais e decorativas, tudo não passa de cenografia; mas quando - popular ou erudita - aquele que a ideou, pára e hesita ante a simples escolha de um espaçamento de pilares ou da relação entre a altura e a largura de um vão, e se detém na obstinada procura da justa medida entre cheios e vazios, na fixação dos volumes e subordinação deles a uma lei, e se demora atento ao jogo dos materiais e seu valor expressivo, - quando tudo isso se vai pouco a pouco somando em obediência não só aos mais severos preceitos da técnica construtiva, mas, também àquela intenção superior que seleciona, coordena e orienta em determinado sentido toda essa massa confusa e contraditória de pormenores, transmitindo assim ao conjunto ritmo, expressão, unidade e clareza, - o que confere à obra o seu caráter de permanência: isto sim, é arquitetura.”*

(COSTA, 1980)



## RESUMEN

Los museos presentan un creciente desarrollo en el mundo especialmente en países de economías emergentes como Brasil, donde se promueven nuevas edificaciones con expresiones arquitectónicas significativas y diversas actividades culturales. El ambiente interior en los museos está definido por dos requisitos importantes: por una parte la preservación de las obras de arte; por otra, la experiencia de confort de los visitantes y aquellas personas que trabajan al interior de estos museos. Desde la perspectiva de la geometría del edificio, el problema investigado tiene su origen en que algunos materiales presentes en las obras expuestas tienen diferentes necesidades higrotérmicas que, en la mayoría de los casos, no tienen correspondencia con las condiciones de confortabilidad ambiental requeridas al interior de los espacios expositivos especialmente en el clima subtropical húmedo. Este trabajo analiza los estándares y rangos de conflictos climáticos Brasileños al interior de los siguientes recientes y significativos museos de arte contemporáneo: *Museu Brasileiro da Escultura*- MUBE (São Paulo), Museo Oscar Niemeyer- MON (Curitiba) y *Fundação Iberê Camargo*-FIC (Porto Alegre). Los requisitos han sido evaluados por medio de registros ambientales y encuestas de satisfacción térmica a los visitantes. La metodología utilizada en el presente trabajo se basa en el método del “*Simultaneousness Index*”, propuesto el año 2007 en Italia y que ha servido ampliamente al estudio de la compatibilidad en la composición de materiales en salas de exposición. A partir de este método se revisan sus relaciones geométricas para los tres mencionados museos de arte contemporáneo en Brasil. El objetivo está asociado a revisar los parámetros ambientales requeridos y a realizar una verificación de la simultaneidad en la satisfacción higrotérmica obra de arte – visitante, para luego discutir sus configuraciones formales en relación al consumo energética. Los resultados muestran desempeños de compatibilidad ambiental para las temporadas de invierno y verano, sugiriendo la influencia de sus estrategias formales: topología vertical con presencia de atrio, la compacidad, la esbeltez, la porosidad y la perforación, en la satisfacción térmica del visitante así como en el consumo energético. Finalmente, las características geométricas de los casos de estudio y su desempeño en la Compatibilidad Ambiental, fueron insertadas en una herramienta de diseño paramétrico para asistir la creación de nuevas geometrías con compatibilidad ambiental para museos de arte.

**PALABRAS CLAVES:** Compatibilidad Ambiental, Museos de Arte Contemporáneo, Clima Subtropical Húmedo de Brasil, Modelación Paramétrica.



**ABSTRACT**

Museums have a growth development around the world, especially in countries with emergent economies like Brasil, where are promoting new buildings with meaningful architectural expressions and cultural activities. The indoor environment in museum buildings is defined for two important requirements: the preservation of works of art and the comfort experience of the visitors and those people who work inside. From the perspective of building geometry, the research problem has its origin in that some materials in the exhibitions have different hygrothermal needs and, in the most cases, do not correspond with the environmental comfort conditions required for exhibition spaces, especially in the humid subtropical climate. This work analyzes the standards and ranges of indoor climate conflicts in the following museums: Brazilian Museum of Sculpture- MUBE (São Paulo), Oscar Niemeyer Museum- MON (Curitiba) and Iberê Camargo Foundation- FIC (Porto Alegre). The requirements have been evaluated through environmental records and thermal satisfaction surveys to museums visitors. The methodology used is based on the “Simultaneousness Index” method, proposed the 2007 in Italy, which extends the application, understanding the compatibility in the composition of materials in the exhibition show rooms. Starting from this method, this work makes review of geometric relationships for the three mencionated art contemporary museums of Brazil. The target is review the environmental parametric conditions requirements, and verify the simultaneously higrothermal satisfaction between piece of art- visitor, and then discuss the formal settings related to the energetic demand. The results shows performance of environmental compatibility in summer and winter seasons, suggesting the influence of formal strategies: vertical topology with atrium presence, the compactness, slenderness, porosity and drilling, in the thermal satisfaction of visitor, as well as in the energetic consumption. Finally, the geometric characteristics of the case studies and their performance in Environmental Compatibility were inserted into a parametric design assistance tool, for develop new environmental compatibility geometries in art museum buildings.

**KEYWORDS:** Environmental Compatibility, Museums of Contemporary Art, Brazil Humid Subtropical Climate, Parametric Design.



**SUMARIO**

**CAPÍTULO 1**

---

**1.INTRODUCCIÓN.....3**

- 1.1 Contexto..... 3
- 1.2 Descripción del Problema ..... 4
- 1.3 Justificación y Método..... 5
- 1.4 Hipótesis ..... 6
- 1.5 Preguntas de Investigación..... 7
- 1.6 Objetivo General ..... 7
- 1.7 Objetivos Específicos ..... 7
- 1.8 Estructura de la Tesis..... 8

**CAPÍTULO 2**

---

**2.MARCO TEORICO..... 13**

- 2.1 Museos y evolución formal..... 13
  - 2.1.1 El Origen ..... 16
  - 2.1.2 La Galería, la Rotonda y el Movimiento Moderno..... 18
  - 2.1.3 El Movimiento Moderno y el Movimiento Internacional..... 25
  - 2.1.4 Post modernidad, el edificio como icono urbano. .... 31
  - 2.1.5 Museos en Brasil ..... 35
  - 2.1.6 Breve conclusiones de la evolución formal ..... 43
- 2.2 Los museos frente a los desafíos ambientales ..... 45
  - 2.2.1 Condiciones Higrotérmicas en Museos ..... 49
    - 2.2.2 Confort Térmico. .... 58
      - 2.2.2.1 Enfoque Racional..... 60
      - 2.2.2.2 Enfoque Adaptativo ..... 63
  - 2.2.3 Breve conclusión respecto a los desafíos ambientales en museos ..... 65
- 2.3 Principios de la arquitectura bioclimática..... 67
  - 2.3.1 Edificio y Comportamiento Térmico Ambiental ..... 69
    - 2.3.2 Aspectos Previos a Considerar ..... 71
    - 2.3.3 Forma General del Edificio ..... 75
      - a) Compacidad ..... 75
      - b) Porosidad ..... 77
      - c) Esbeltez..... 78
      - d) Asentamiento ..... 79

e) Adosamiento.....	79
f) Perforación.....	80
g) Zonificación .....	81
h) Volumen.....	81
2.4 Breve conclusión respecto al edificio y el comportamiento térmico ambiental.....	82

### CAPÍTULO 3

---

<b>3.CASOS DE ESTUDIO .....</b>	<b>85</b>
3.1 Clima Subtropical Húmedo .....	85
3.2 Elección de los casos de estudio .....	93
3.2.1 <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> (MUBE).....	97
3.2.2 <i>Museu Oscar Niemeyer</i> (MON).....	105
3.2.3 <i>Fundação Iberê Camargo</i> (FIC).....	111
3.3 Análisis de la Compatibilidad Ambiental de los casos .....	119
3.3.1 Parámetros de la Geometría del Edificio y su Consumo .....	121
3.3.2 Parámetros Higrotérmicos para las Obras de Arte. ....	127
3.3.3 Parámetro de Satisfacción Térmica de los usuarios .....	133
3.3.4 Ecuación de la Compatibilidad Ambiental .....	137
3.3.5 Resultados de C.A. para los casos de estudio .....	137
3.4 Conclusión y discusión de resultados de los casos de estudio ..	139

### CAPÍTULO 4

---

<b>4. COMPATIBILIDAD AMBIENTAL Y MODELACIÓN PARAMÉTRICA .....</b>	<b>143</b>
4.1 Modelación Paramétrica .....	145
4.2 Condiciones para el diseño paramétrico y la C. A. ....	146
4.2.1 Orientación .....	146
4.2.2 Situación Urbana.....	146
4.2.3 Compacidad .....	147
4.2.4 Porosidad .....	147
4.2.5 Esbeltez .....	147
4.2.6 Asentamiento .....	147
4.2.7 Perforación.....	147
4.2.8 Zonificación y espacio interior .....	148
4.2.9 Volumen y Magnitud .....	148
4.2.10 Equipos de Climatización .....	148

4.3 Aplicaciones paramétricas en el diseño ambiental .....	151
4.4 Herramienta de diseño paramétrico para la C.A.....	153
4.5 Descripción del procedimiento de generación geométrica.....	156
4.6 Experiencia de aplicación del workshop.....	159
4.6.1 Desarrollo y aplicación .....	160
4.7 Discusión respecto a la experiencia con la herramienta paramétrica.....	165

## **CAPÍTULO 5**

---

<b>5. CONCLUSIONES FINALES .....</b>	<b>169</b>
5.1 Discusión final, respecto a los objetivos específicos .....	170
5.2 Implicancias y aplicaciones de la Compatibilidad Ambiental.....	176
5.3 Consideraciones finales, limitaciones y sugerencia para trabajos futuros.....	177

## **REFERENCIAS**

---

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>181</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>191</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>197</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>199</b>
<b>LISTA DE ECUACIONES .....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>207</b>
ANEXO A . Síntesis Evolución Formal. Fuente: Rico, 1999. ....	207
ANEXO B. Nomenclatura de pieles del edificio.Serra y Coch, 1995. ....	208
ANEXO C. Ecuación 1. Compacidad .....	209
ANEXO D. Ecuación 2. Porosidad .....	210
ANEXO E. Ecuación 3. Esbeltez .....	211
ANEXO F. Ecuación 4. Perforación .....	211
ANEXO G. Datos climáticos de São Paulo. ....	212
ANEXO H. Datos climáticos de Curitiba. ....	213
ANEXO J. Índice Pluviométrico para São Paulo, Curitiba y Porto Alegre. .	215
ANEXO K. Consumos de energía eléctrica MUBE.....	216
ANEXO L. Consumos de energía eléctrica MON .....	227
ANEXO M. Consumo energía eléctrica FIC .....	228
ANEXO N. Registro ambiental MUBE:.....	229
ANEXO O. Registro Ambiental MON.....	230
ANEXO P. Registro Ambiental FIC .....	231
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>232</b>
A. Gráficas de las características definidoras de la forma .....	232

B. Cartas de Compromiso con las Instituciones involucradas en el estudio..	234
C.Encuesta Satisfacción Térmica Usuarios .....	237
D. Trabajos realizados por los participantes del <i>workshop</i> .....	238
F.Resultados del cuestionario aplicado a los participantes del <i>workshop</i> .....	248

# Capítulo 1



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Contexto

De acuerdo con el estudio del *Instituto Brasileiro de Museus* (IBRAM, 2014), Brasil inició el siglo XX con 12 museos, ahora cuenta 3400 entidades. Se ha contabilizado que en 2009 los museos brasileños fueron visitados por cerca de 82 millones de personas. De los 5.564 municipios brasileños un 21,1 % (1.174) poseen por lo menos un museo. La meta del Gobierno es que la mitad de las ciudades brasileñas tengan mínimo un museo hacia el 2020, lo que implicaría más de 2.000 nuevos museos en el país, acercándose a los 250 millones de visitantes al año. La mayor parte de estos museos están localizados en regiones con clima subtropical húmedo.

En las últimas décadas del siglo XX, se destaca el museo como icono urbano (Jencks, 2005). Arquitecturas de grande expresividad formal diseñadas por arquitectos renombrados han sido posibles gracias a herramientas y medios digitales, contribuyendo a la transformación económica y social de muchas ciudades.

Dada su extraordinaria proliferación en los últimos veinticinco años, podría considerarse este periodo como una nueva “edad de oro” de los museos de arte contemporáneo, pues ya no son una exclusiva de las grandes metrópolis, sino que se han convertido en una provisión cultural perfectamente habitual en poblaciones de cualquier tamaño (Lorente, 2008).

Según Montaner (2003), la notoria alteración en la **forma-geometría** arquitectónica del museo en la actualidad, es consecuente con la voluntad de los diseñadores para lograr la simplificación de los espacios. Las circulaciones y las salas de exposición, se integran en un *continuum* espacial, fluido y transparente desde donde el visitante pueda contemplar el material expuesto. Montaner (2008) afirma también, que existe en el arquitecto de los sistemas contemporáneos, una voluntad de crear un objeto arquitectónico que dialogue con el medio ambiente. Consecuente a esto, enuncia un par de edificios de museo que revelan su preocupación con el medio ambiente a través del uso de estrategias de diseño pasivos, como el aprovechamiento del viento y la iluminación.

A raíz de eso, la fuerte expresión formal de los edificios de museo de arte ha sido sumamente difundida en ciudades de distintas latitudes y de todos los tamaños, dando espacio a la creatividad de los arquitectos y diseñadores al concebir proyectos de edificios de museos, lo que de paso impulsa fuertemente el turismo cultural. Con todo ello inclusive, se debe tener a considerar, que la expresividad arquitectónica formal no siempre representa una adecuada solución ambiental.

## 1.2 Descripción del Problema

La creciente demanda por la cultura, en conjunto con mejores recintos de exposición, incentiva a las personas a pasar más tiempo en ambientes donde se exhiben elementos significativos como libros, esculturas, fotografías, documentos, pinturas, entre otros. Para asegurar el buen funcionamiento de un museo es fundamental mantener las colecciones dentro de condiciones de valores de temperatura y humedad adecuados para su preservación; de modo que al mismo tiempo, es menester garantizar condiciones de confort adecuadas 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. Para estabilizar su clima interior e intentar satisfacer ambos parámetros de temperatura y humedad, los requisitos generalmente son solucionados mediante sistemas de aire acondicionado que acarrearán una demanda energética considerable.

La complejidad y el reconocimiento de los conflictos existentes en las condiciones ambientales en museos, se aclaran al leer a Gennusa et al. (2008) quien establece un *IS-Simultaneous Index*. Es decir, este a través de la revisión de los parámetros climáticos respecto a la Normativa Italiana para Museos, efectuó una matriz de interacción de distintos materiales que componen las obras de arte. Luego, analizó las normas internacionales que establecen las condiciones térmicas para el confort del usuario aplicando el método del *Predicted Mean Vote- PMV* de Fanger. Tal método, puede ser utilizado por los curadores de arte y permite desarrollar un diagrama en el que es posible visualizar los rangos comunes de los requisitos de temperatura y humedad de los diferentes tipos de material de las obras de arte, junto con la satisfacción térmica del usuario. El Índice de Simultaneidad (*IS-Simultaneous Index*), fue probado en salas de exposición de edificios históricos en Italia donde así este aumentaba y/o disminuía

dependiendo de la velocidad del aire. El trato de estos factores demostró su efectividad tanto para las estaciones de invierno como para el verano.

### 1.3 Justificación y Método

El estudio anteriormente mencionado, *IS-Simultaneous Index*, es de gran importancia ya que, el índice puede ser aplicado en la evaluación de geometrías de museos de arte contemporáneo puesto que los edificios podrían considerarse como una gran sala de exposición. Además complementado a este método es posible verificar al mismo tiempo la compatibilidad entre las obras de arte y usuarios y en términos de consumo de energía, las características de la geometría utilizada, promoviendo la expresividad y variedad formal, sin duda esencia arquitectónica presente en los museos contemporáneos.

La realización de nuevos edificios para museos, y de bajo consumo energético es una oportunidad relevante para comprender e integrar en el diseño arquitectónico, los requerimientos ambientales de las distintas exhibiciones y la satisfacción térmica, otorgando así un espacio compatible ambientalmente. Entendiéndose que el confort térmico para el ser humano es una prioridad absoluta al momento de diseñar el espacio arquitectónico. **Cuando hay diferencias de requerimientos de temperatura y humedad en un mismo ambiente, se puede decir que este espacio es incompatible.**

Padfield y Larsen (2010) consideran que se deben hacer estudios más integrales, además estos investigadores advierten que no siempre es necesario mantener la temperatura y humedad tan rígidas. También al respecto, Gómez (2006) afirma que el tomar el edificio como “contenedor”, ha dado la posibilidad de estudiar las circunstancias climáticas interiores y exteriores que lo afectan, de forma que queda la puerta abierta para posibilitar la aplicación de nuevas estrategias de diseño que sean ambientalmente adecuadas y compatibles.

En este sentido, el desafío es desarrollar experimentos en los cuales se relacionen las condiciones de la región subtropical húmeda del Brasil y la satisfacción del usuario, disminuyendo el consumo energético ambiental de edificios, para a la vez ir en búsqueda de perspectivas en confort y salud en beneficio de las personas usuarias.

Un mayor conocimiento del comportamiento de los edificios culturales mejoraría el proceso de gestión y control en términos proyectuales arquitectónicos, a la vez que permitiría la reasignación de recursos para evitar la degradación del patrimonio cultural. Esto podría generar un impacto económico positivo aumentando el interés de inversión en el país. También, desde el punto de vista práctico proyectual, el estudio permite verificar ciertas características geométricas del diseño que faciliten la comprensión, gestión y conservación patrimonial. De esta manera, la investigación aporta en la aplicación del método *IS* (índice de simultaneidad) en edificios de museos de arte contemporáneo del Brasil. Al mismo tiempo la evaluación de la Compatibilidad Ambiental (C.A.) de los edificios seleccionados como casos de estudio permitirá también conocer sus características geométricas. Así también, podrá asesorarlos en la concepción de diseños de elevada expresión y mejor compatibilidad ambiental en el clima subtropical húmedo de Brasil.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis de Base**

Algunas propiedades geométricas como la compacidad, la porosidad y la esbeltez otorgan una mejor compatibilidad ambiental en los museos de arte en el clima subtropical húmedo de Brasil, manteniendo una expresividad y funcionalidad adecuada en su diseño arquitectónico.

### **1.4.2 Hipótesis de Trabajo**

Al extraer características de las geometrías y condiciones ambientales de tres museos de arte contemporáneos seleccionados, es posible establecer una herramienta de diseño para generar geometrías expresivas y compatibles ambientalmente para el clima subtropical húmedo de Brasil.

### **1.4.3 Hipótesis de Aplicación**

La implementación computacional de características geométricas permite sugerir a los arquitectos diseños de museo con mejor compatibilidad ambiental en el clima subtropical húmedo.

## **1.5 Preguntas de Investigación**

La pregunta principal de la investigación se basa en la relación entre la geometría y comportamiento ambiental para crear nuevos y significativos diseños de edificios de museo, cuestionando fundamentalmente la siguiente interrogante:

¿Qué Características Geométricas hacen que un Edificio de Museo tenga mejor Compatibilidad Ambiental?

Para lo cual se requiere resolver las siguientes interrogantes:

¿Es posible obtener características geométricas de los museos: FIC, MON y MUBE?

¿Qué nivel de compatibilidad ambiental poseen los museos FIC, MON y MUBE?

¿Cómo transferir por medio de herramienta digital conceptos de compatibilidad ambiental para asistir el proceso de diseño arquitectónico de nuevos edificios de museo?

## **1.6 Objetivo General**

Definir las condiciones geométricas de un volumen de expresión arquitectónica y de bajo consumo energético para la compatibilidad ambiental de museos de arte contemporáneo de la región subtropical húmeda de Brasil, y proponer una herramienta digital de diseño paramétrico para apoyar el proceso de proyecto.

## **1.7 Objetivos Específicos**

1.7.1 Identificar las características arquitectónicas de los museos de arte contemporáneo de la región subtropical húmeda de Brasil, y seleccionar tres casos expresivos;

1.7.2 Identificarlos requerimientos para la compatibilidad ambiental de los casos de estudio;

1.7.3 Detectar las características geométricas del volumen de los casos de estudio y analizar la incidencia que tienen en el consumo energético;

1.7.4 Desarrollar una ecuación para evaluar la compatibilidad ambiental de los casos de estudio, y relacionar sus resultados con las características geométricas detectadas en su volumen;

1.7.5 Proponer una herramienta de diseño paramétrico para evaluar la compatibilidad ambiental y asistir el proceso de proyecto arquitectónico de edificios de museo de arte contemporáneo para el clima subtropical húmedo de Brasil.

## **1.8 Estructura de la Tesis**

Este trabajo presenta, además del Capítulo 1-Introducción aquí planteada, cuatro capítulos más, además de las conclusiones, bibliografía, anexos y apéndices, totalizando así sus objetivos.

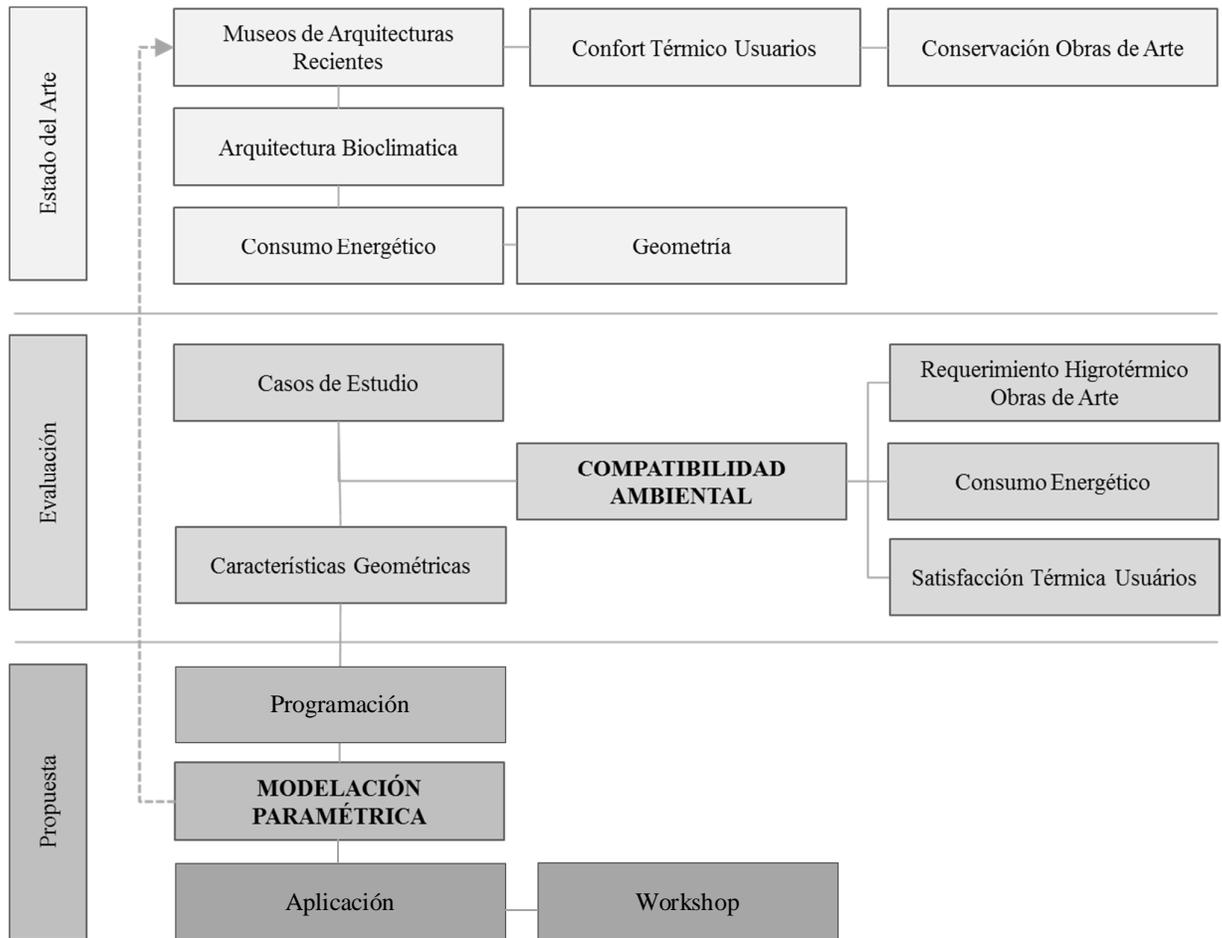
El Capítulo 2, a continuación se presenta la revisión bibliográfica en lo que refiere a la evolución formal, a su expresión y el papel de los museos en la actualidad. Luego, se presenta las especificaciones higrotérmicas para la conservación de las obras de arte y el confort térmico de los usuarios. También se presentan las implicaciones de la geometría del edificio en el comportamiento térmico ambiental y el consumo, completando así el marco teórico.

En el Capítulo 3 se exponen los casos de estudio y el clima de estudio. Se exponen las características de la geometría de los edificios estudiados en tres ciudades en el clima subtropical húmedo de Brasil. En este capítulo también se detalla la metodología utilizada para evaluar la Compatibilidad Ambiental de los museos y la ecuación para evaluar la compatibilidad ambiental. Al final de este capítulo se presentan los resultados, análisis y discusiones.

En el Capítulo 4 se propone una herramienta de diseño para modelación paramétrica de generación de geometrías de edificios de museo de arte y las características geométricas correspondientes a la compatibilidad ambiental. En este capítulo se describe la experiencia de un taller de modelación paramétrica aplicado a arquitectos, quienes generaron diversas geometrías para edificios de museo en el clima subtropical húmedo utilizando la herramienta de diseño paramétrica con los criterios de compatibilidad ambiental.

Finalmente, se presentan las Conclusiones obtenidas en la investigación analizando sus alcances y limitaciones. Además se incluyen sugerencias para trabajos futuros, bibliografía, anexos y apéndices.

### 1.9 Estructura de Formulación de la Tesis





# Capítulo 2



## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Museos y evolución formal

Este capítulo tiene como objetivo mostrar un recorrido de cómo ha evolucionado la configuración espacial de los museos desde sus orígenes hasta la situación actual. Primeramente, se hace un breve recorrido histórico y se muestran algunos ejemplos de los principales museos que formaron parte de esta evolución especialmente en Europa; luego, el mismo recorrido se hace en Brasil. Para finalizar se incluye una breve conclusión respecto a las soluciones dadas frente a la demanda actual.

También es menester hacer algunas aclaraciones respecto a la museología, ya que fue desde este aspecto se introdujeron requerimientos higrotérmico para la conservación de las obras de arte. Desde la década de los 30` la idea de conservación preventiva es tan o más importante que la restauración. Sin embargo, es con la creación del Instituto Internacional para la Conservación de Trabajos Históricos y Artísticos (IIC) en 1950 que esta actividad se profesionalizó. Actualmente, el conservador de museos es el responsable del control del ambiente y tratamiento de los objetos que están bajo su guardia. Así, desde 1950 esta tarea no se confunde con la del restaurador. Tal concepto es fundamental para entender que, si bien es el museólogo es quien controla el clima interior del museo, a favor de la conservación de las obras de arte, es el arquitecto quien debe preocuparse de reducir el consumo energético del edificio y por lo tanto, dar las condiciones higrotérmicas adecuadas a la conservación de las obras de arte.

La importancia de guardar y coleccionar los objetos para memoria social se funde con la historia de la humanidad. En lo que se refiere a la arquitectura, dicha necesidad humana de coleccionar objetos y narrar su historia demanda un edificio. Entonces, se establece que el museo como edificio, durante toda su trayectoria histórica, sirve como envoltura para los objetos y como contenedor de un actor principal: su contenido y su memoria (Edelweiss, 2008).

En su evolución, el edificio ha pasado a ser uno de los lugares públicos más importantes de la ciudad contemporánea en virtud de ser considerado como el elemento básico para conseguir que los ciudadanos se sientan miembros de una ciudad que tiene cultura y capacidad creativa. De hecho, en otros tiempos, se podía decir bastante acerca

de una comunidad por su iglesia ya que era el sitio donde la ciudad asimilaba su orgullo. Ahora el centro cultural como monumento se proyecta en edificios como el museo (Meraz, 2007).

Gradualmente, el museo se ha convertido en el proyecto ideal para desatar toda una potencia tanto arquitectónica como representacional. Menester es recordar que estas expresiones constituyen un sello de sus autores, tal como describe la propia historia de la arquitectura de museos, Montaner, 2003:

El museo ha consolidado su importancia como una institución de referencia y de síntesis, capaz de evolucionar y ofrecer modelos alternativos, especialmente adecuada para señalar, caracterizar y transmitir los valores y los signos de los tiempos (p. 8)<sup>1</sup>

Como pocas tipologías, del museo se espera que sea capaz de suscitar la emoción de las masas y de esperar con su atractivo al ciudadano. Además de ilustrar al visitante con su contenido. Como menciona Lance Brown:

Diseñar un museo es diseñar para la eternidad. Nadie más va a construir pirámides, sino que se construyen museos, como depositarios del arte de nuestra civilización, de modo que cualquier arquitecto con un poco de ego calcula que por qué no diseñarlos también como arte (Lance Brown *Apud.* Meraz, 2007- p. 25).

Las ideas modernas de museo se concretaron a fines de los años 30 e inicio de los años 40 del siglo pasado, específicamente en cuatro modelos: la idea del museo del crecimiento ilimitado por Le Corbusier (1939) caracterizado como una forma rectilínea que se enreda en sí misma. La idea de un museo para una pequeña ciudad de Mies Van der Rohe (1942) caracterizado por una planta libre. El museo de Frank Lloyd Wright (1943-1959) con una forma orgánica y singular generada por su recorrido helicoidal. Por último, la exigencia de total disolución del museo por Marcel Duchamp (1936-1941). Estas soluciones abrieron caminos para nuevos museos (Montaner, 2003).

No obstante, la idea que el museo es un edificio singular y por eso capaz de incursionar el desarrollo urbano, es una línea constante desde el Renacimiento. Por otro lado, el impacto de estos edificios singulares en el medio ambiente empieza a recibir

---

<sup>1</sup> MONTANER, J.M., *Museos para el siglo XXI*. 2003, Barcelona: Gustavo Gili;

atención a partir de la crisis del petróleo en 1970 y, es a partir de 1990, cuando se introduce las condiciones higrotérmicas adecuadas para la conservación de las obras de arte. Es sabido, según Gil Ribeiro (2009), que actualmente el resultado del ritmo acelerado de competición que se estableció entre ciudades, refuerza la idea de la búsqueda del edificio más emblemático, y por lo tanto geometrías más inusitadas no necesariamente ambientalmente adecuada.

Ahora bien, la proyección contemporánea de museos está prácticamente asociada a los arquitectos de mayor fama y prestigio internacional. En este sentido la “arquitectura de firma”, como enseña Meraz (2007) representa sólo una pequeña proporción de la práctica arquitectónica. Actualmente ésta se ha convertido en una gran fábrica de museos emblemáticos. De hecho es aplaudida, celebrada y premiada con el Pritzker<sup>2</sup>.

Sin embargo, los primeros museos tuvieron un inicio bastante diferente ya que la necesidad de un diseño arquitectónico específico fue muy posterior a la necesidad originaria del hombre de propagar el conocimiento y la cultura, de coleccionar y exhibir objetos y de protegerlos dentro de un recinto. Segundo Juan Carlos Rico (2007), una de las particularidades del museo actual es la enorme diversidad de opciones proyectuales que existen para enfrentar soluciones barajando y combinando diferentes características. Estos criterios de diseño se desarrollaron en el tiempo para la conformación de los espacios expositivos contemporáneos:

- La complejidad del programa museístico;
- La crisis del mito del espacio libre;
- El trabajo con la iluminación natural;
- El contexto urbano;
- El realce de los espacios interiores de exhibición; y
- La climatización pasiva.

---

<sup>2</sup> De los arquitectos con el Premio Pritzker, sólo Luis Barragán no ha diseñado un museo.

### 2.1.1 El Origen

Las primeras ideas de museo vienen de la antigüedad griega y romana, de los espacios del tesoro de Delphi y Olimpia, de la Villa Adriana en Tivoli (118-138 d.C.) de la Acrópolis de Atenas o más directamente del *Musaeum* de Alejandría en el siglo III a.c. De este último edificio, fundado por Tolomeo, proviene el término “museo”<sup>3</sup>. Del griego *museion* (*musaeum* en latín) que significa “casa de las musas”, las nueve hijas de Zeus (en griego Ζεύς) y Mnemósine (Μνημοσύνη).<sup>4</sup> Por otra parte, el término de “Pinacoteca”<sup>5</sup> ya lo utilizaba Vitruvio en su VI Libro de Arquitectura.

En la actualidad el museo recibe muchos nombres, según el concepto del *International Council Museum* (ICOM) es:

Institución permanente, sin fines de lucro, al servicio de la sociedad y de su desarrollo, que dará a conocer al público todo aquello que adquiera, conserve, investigue, comunique y exhiba para fines de estudio, educación o disfrute, incluyendo toda evidencia material del hombre y su entorno.<sup>6</sup>

En los inicios de los museos el acceso a las colecciones no era tan libre como hoy en día, mucho menos se pensaba en atraer a las masas. Este acceso era muy restringido, en ocasiones se realizaba mediante un pago o bajo estricta cita, en días determinados y sólo un acontecimiento solemne era el único motivo para que sus dueños abrieran las puertas al público.

La Tabla 1 a continuación, resume cómo han evolucionado los primeros museos desde la prehistoria hasta la Ilustración. Nótese que el espacio ha variado especialmente de acuerdo con el poseedor del objeto.

<sup>3</sup>LEE, P., The Museum of Alexandria and the formation of the "Museum" in eighteenth century France. *Art Bulletin*, 1997. LXXIX (3): p. 385-412; p. 385.

<sup>4</sup>Hesíodo en su *Teogonía*, es el primero que menciona los nombres de las nueve musas canónicas: Clío (Κλειώ, 'la que celebra'); Euterpe (Ευτέρπη, 'deleite'); Talía (Θάλεια, 'florecer'); Melpómene (Μελπομένη, 'cantar'); Terpsícore (Τερψιχόρη, 'deleite de la danza'); Erato (Ερατώ, 'amorosa'); Polimnia (Πολυμνία, 'muchos himnos'); Urania (Ουρανία, 'celestial'); y, la más importante, Calíope (Καλλιόπη, 'la de bello rostro').

<sup>5</sup>Del lat. pinacothēca, y este del gr. πινακοθήκη). Galería o museo de pinturas. (Real Academia Española)

<sup>6</sup> El artículo 2, párrafo 1 de los Estatutos ha ampliado la calificación de museos a: “monumentos naturales, arqueológicos y etnográficos, así como sitios de naturaleza museística que deseen, conserven y comuniquen la evidencia material de los pueblos y su entorno; instituciones que posean colecciones y muestras de especímenes vivos de plantas y animales tales como jardines botánicos, zoológicos, acuarios y viveros; centros científicos y planetarios; institutos de conservación y galerías de exposiciones financiadas por bibliotecas y archivos; reservas naturales; otras instituciones que el Consejo Ejecutivo, luego de resolverlo con el Consejo Consultivo, considere que posean alguna o todas las características de un museo, o dé apoyo a los profesionales de museos a través de la investigación museológica, educación y recreación”.

Tabla 1. Características museos hasta la Ilustración. Fuente: Rico, 1999.

EPOCA HISTORICA	POSEEDOR	CARACTER	ORDENACIÓN	ESPACIO
Del objeto mágico al cotidiano				
Prehistoria		obtención de caza	según forma de rocas	cuevas
Antiguas Culturas Orientales	sacerdote-rey	sagrado, algo superior	según mito-religión	palacio-templo
Egipto	faraón	sagrado-centralización	según liturgia, comienza lo social	palacio-templo, taller producción
Mesopotamia	nobles	valoración comercial, centralización	más social que litúrgico	palacio-templo
Del objeto cotidiano al comercial				
Creta	cualquier habitante	uso cotidiano	no existe	templo-palacio
Grecia	sacerdotes-reyes	1ª etapa símbolos religiosos	liturgia	templo
		2ª etapa exaltación real	social-prestigio	palacio
Helenismo	3ª etapa nobles instituciones	comercio, planificación, reproducción	prestigio-competencia	ágoras, bibliotecas
Del comercial al propagandístico				
Roma	nobles, emperador	inversión, comercio imagen y apariencia	prestigio social propaganda	palacios, foros, termas, etc.
La desaparición de la exposición				
Aristocracia áulica	emperador	degeneración de la exposición		
Bizancio	emperador	institucionalización	social-sagrado	palacio
Cristianismo	sacerdote	moral y propaganda	liturgia	templo
Del dictatismo al hedonismo				
Edad Media	alta	iglesia	religioso	litúrgico
	baja	iglesia-nobleza	religioso-prestigio	litúrgico-social
Renacimiento	fase erudita fase hedonista	iglesia	religioso y social	templo
		aristocracia burguesía	religioso y social	castillo- palacio
Siglo XVII	Barroco	Iglesia católica iglesia protestante monarquía absoluta	sagrado profano	litúrgico prestigio
	Rococo	aristocracia banqueros príncipes alemanes	profano	prestigio
Siglo XVIII	Ilustración	burguesía	múltiple	palacios

### 2.1.2 La Galería, la Rotonda y el Movimiento Moderno.

Mientras que la historia del coleccionismo de arte es antigua, el museo es una institución relativamente nueva con apenas poco más de dos siglos de cambios radicales. Así, los museos encontraron su identidad inicial en la casa del tesoro real y en las colecciones privadas de antigüedades. Gradualmente durante el siglo XIX se expandieron para acomodar una mayor cantidad de objetos y para dar acceso a una mayor cantidad de personas. Más, es tiempo después cuando realmente toman un lugar determinante dentro del desarrollo cultural. El concepto de museo durante el siglo XIX fue modernizado para darle un rol prioritario como civilizador, para alejarlo del esplendor de la realeza y para acercarlo al público con el fin de ser educador y regulador social (Meraz, 2007).

En este periodo se dieron a conocer propuestas como la rotonda central con una cúpula y columnatas en la fachada. También el plan de *Étienne Louis Boullée* (1783)- (Figura 1) aplicado al Museo Pio Clementino en el Vaticano. Asimismo los primeros museos que se alojaron en museos ya existentes como el Louvre, éste corresponde a un modelo teórico del francés *Jean-Nicholas-Louis Durand* (1802-1805) el cual se constituye de galerías alrededor de un patio conocido como “modelo ideal” de Durand. Estas soluciones fueron largamente experimentadas en modelos globales hasta el siglo XX. Específicamente, se caracterizan por su monumentalidad, su volumen central exento y una fuerte axialidad.

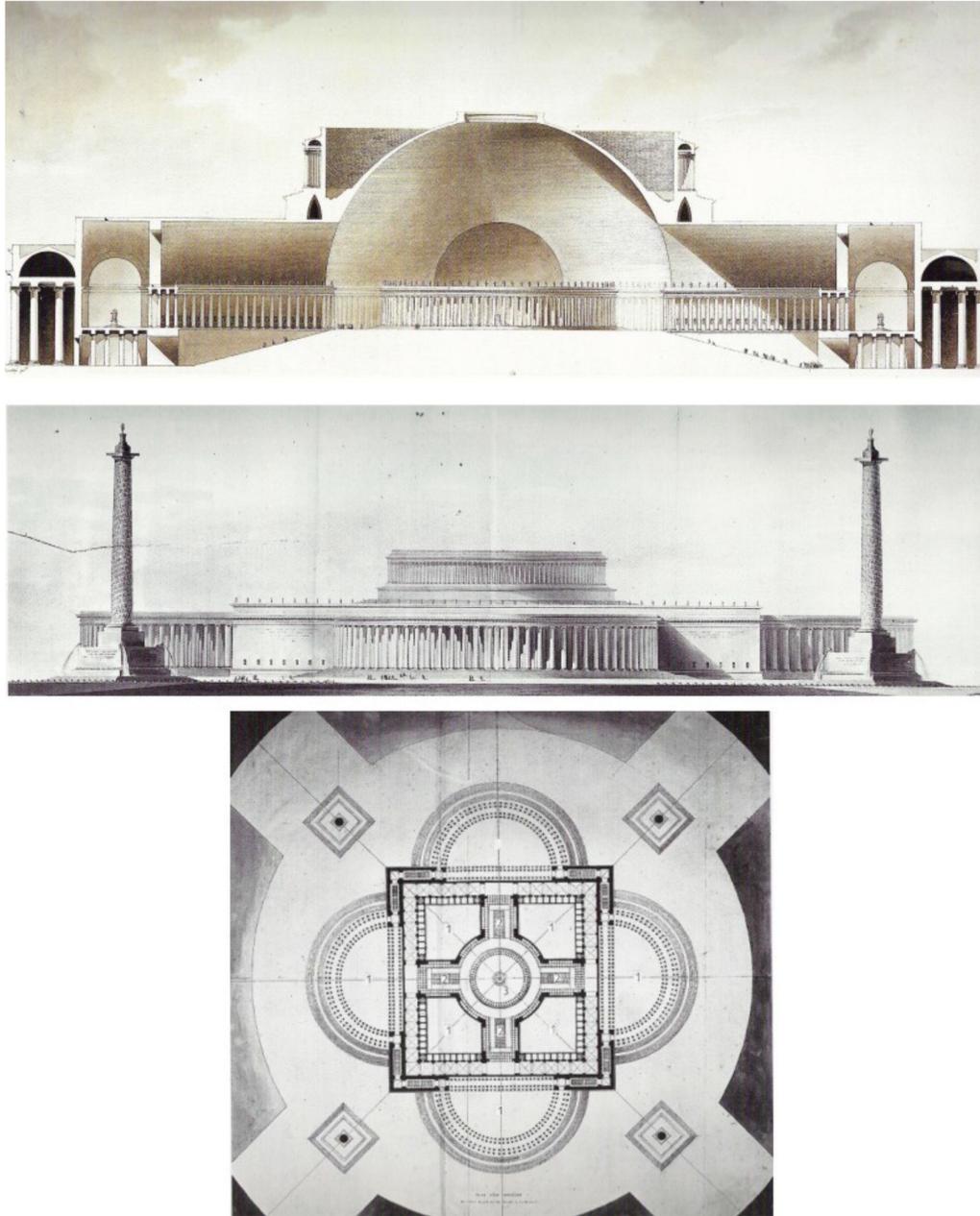


Figura 1. Plan de Museo. Edificio de rotunda y la Monumentalidad. Étienne Louis Boullée. (1783)  
Fuente: PÉROUSE de Montclos, J.-M., Étienne - Louis Boullée. 1994, París: Flammarion.

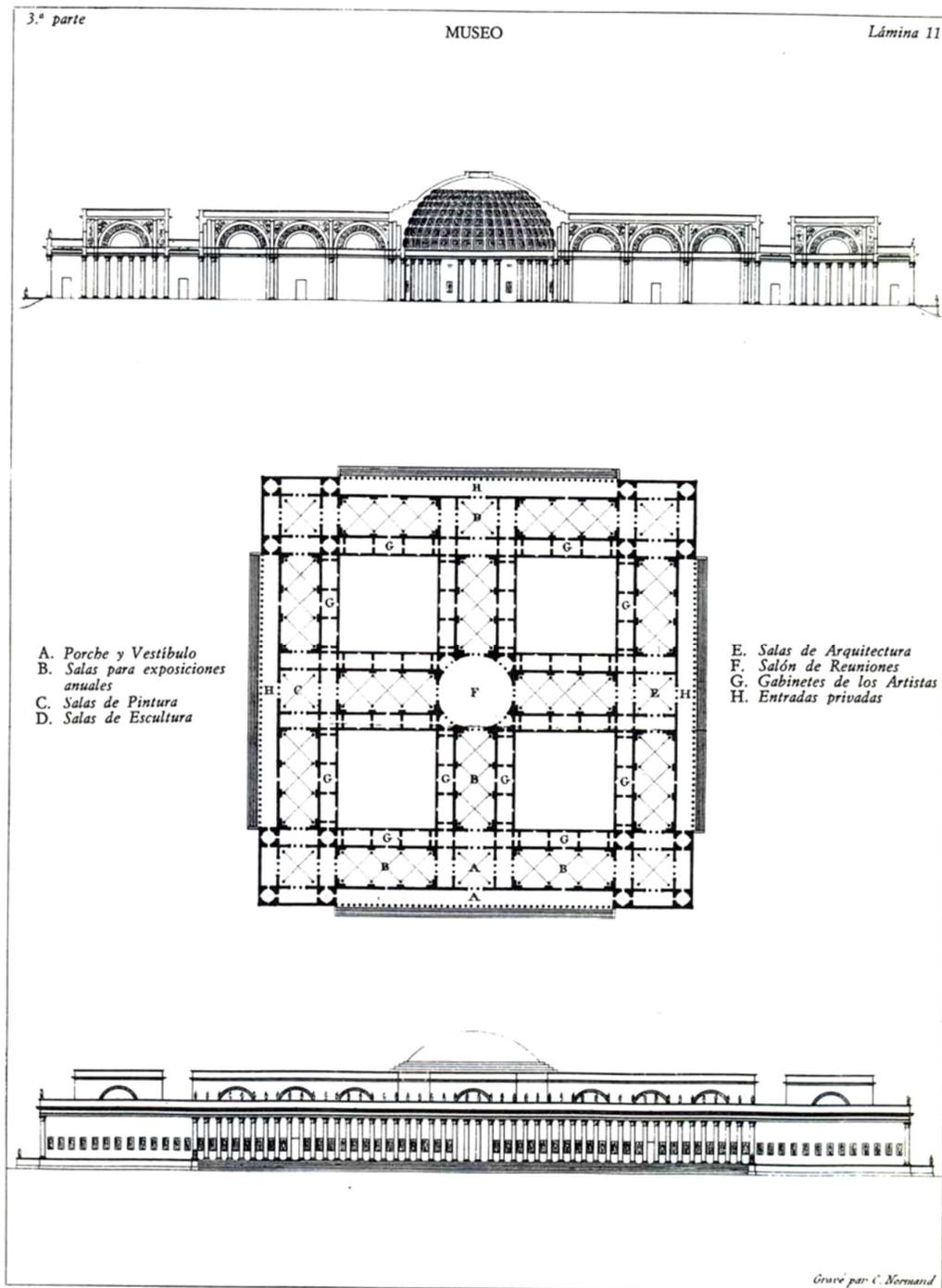


Figura 2. “El museo ideal” museo dibujado de Jean-Nicholas-Louis Durand (1802-1805). La compartimentación en galerías. Fuente: DURAND, J.-N.-L., Compendio de lecciones de arquitectura: parte gráfica de los cursos de arquitectura / J.N.L. Durand; prólogo de Rafael Moneo. 1981, Madrid: Pronaos.

Un importante fenómeno para la gran transformación de los espacios expositivos surge a la mitad del siglo XIX, se trata de las exposiciones universales. La primera fue la Gran Exposición Internacional de Londres de 1851 en la que se exhibió el poderío industrial británico con el fin de superar el antecedente de la Exposición Nacional de París de 1849. Por primera vez se diseñará un espacio expositivo con la premisa de “ser el primer objeto que se exhibe a sí mismo”, un fenómeno común en los museos contemporáneos.

La elección permitiría a Paxton<sup>7</sup> construir uno de los principales precedentes del museo moderno: el Palacio de Cristal, una gran estructura de hierro y vidrio para la exhibición de múltiples y variados objetos. Un espacio homogéneo, transparente y neutro que servirá de modelo para algunos de los museos más importantes de la segunda mitad del siglo XX.

---

<sup>7</sup> Paxton, Joseph Paxton, fue un jardinero y constructor de invernaderos. Se interesó en realizar una propuesta y logró convencer a los miembros de la Comisión Real que le dieran una oportunidad. Mientras presidía un tribunal disciplinario de un ferrocarril en Derby, el 11 de junio de 1850, Paxton dibujó el primer esbozo del alzado del testero y de la sección transversal. Haciendo honor a la espontaneidad de estos dibujos germinales, los cuales usualmente se encuentran plasmados en los lugares más inverosímiles. Paxton realizó múltiples anotaciones sobre una almohadilla de papel secante en el tribunal. El boceto inicial de Joseph Paxton para concebir este espacio se encuentra entre los más famosos de la historia y es uno de los ejemplos más puros de expresión artística. El mismo autor afirmó: “La parte más excepcional conectada con el Crystal Palace [...] es aquel boceto en el papel secante que indica las cualidades principales del edificio como ahora se erige, tanto como los dibujos más terminados que se han hecho desde entonces.” (Apud. Meraz, 2007)

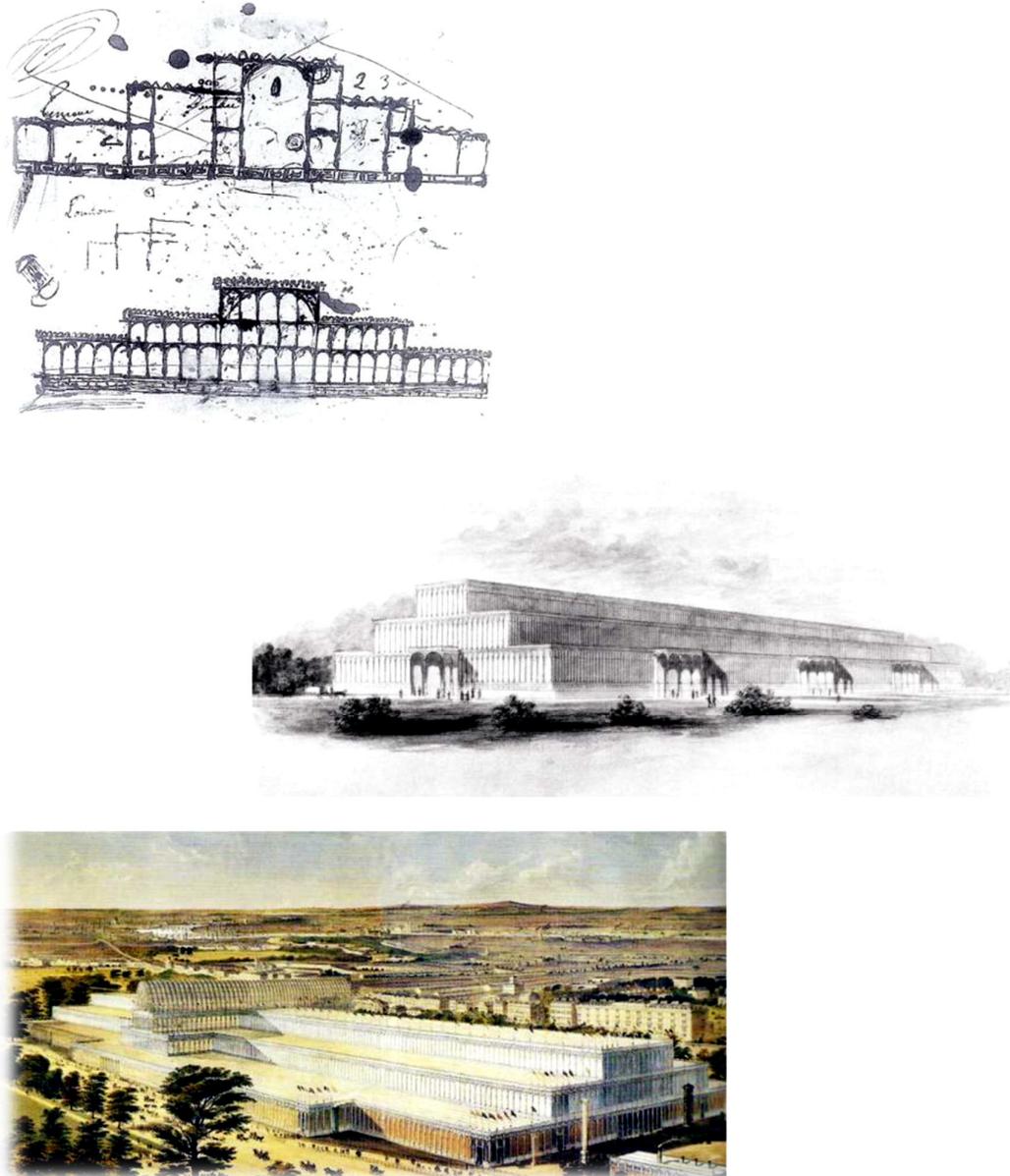


Figura 3. Crystal Palace– Joseph Paxton, Londres (1850).

Fuente: MCKEAN, J., *Crystal Palace: Joseph Paxton and Charles Fox. Architecture in detail*.1994, London.

Joseph Paxton con el *Crystal Palace* sienta las bases de la construcción en serie. Entre 1800 y 1850 se desarrolló una época de innovación que abarcó de Durand a Paxton y que incluyó a Soane, Von Klenze y Schinkel (Figura 4). Tras Paxton hubo que esperar un siglo para que se reanudara el ímpetu innovador de hecho, la eclosión de los museos durante la primera mitad del siglo XIX no conoce otro momento de fervor hasta la segunda mitad del XX (Meraz, 2007).

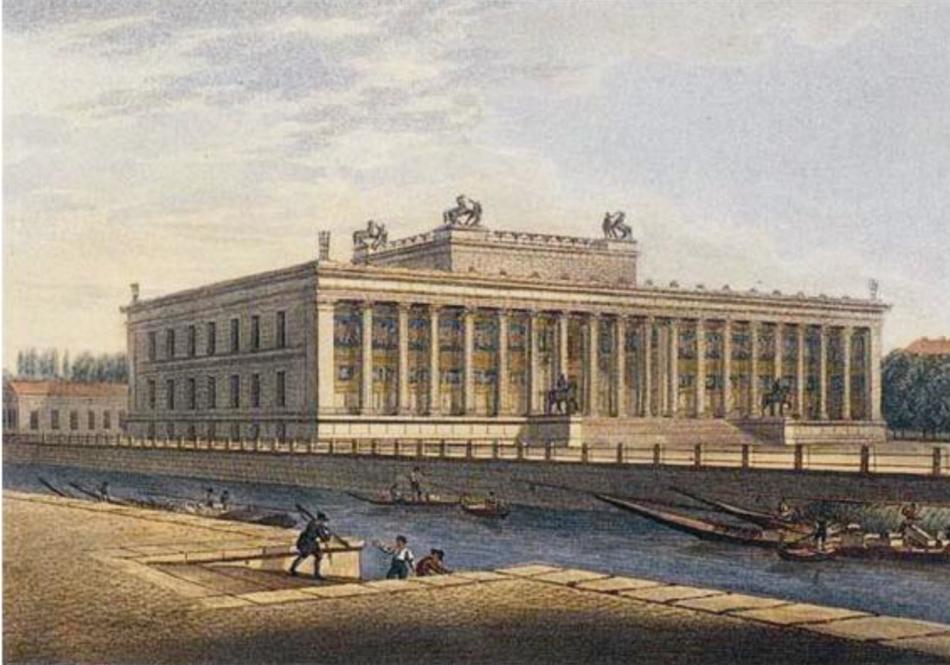


Figura 4. El Altes un museo construido hacia la ciudad: representación pictórica de la nueva configuración del paisaje en Alemania con su correspondiente impacto social.

Fuente: SNODIN, M., ed. Karl Friedrich Schinkel: A universal man. 1991, Yale University Press: London.



Figura 5. Vista fotográfica del aspecto actual del Altes Museum, Berlín. Foto: Tobias Kneschke. Fuente: <http://www.berlin.de/museum/3109228-2926344-altes-museum.html>

Los museos eran considerados lugares donde los trabajos de arte se seleccionaban rigurosamente para ser objeto de la admiración del público. Con el transcurso del tiempo los museos comenzaron a renovar sus colecciones recibiendo obras de fotografía, cine y video. De manera tal y desde este importante aspecto, se inicia la renovación de su tradicional identidad. En el siglo XX un nuevo tipo de exhibición inspirado en la experiencia de las exposiciones universales del siglo XIX se hizo realidad. Las exhibiciones a préstamo aparecieron en escena emocionando al público con su naturaleza teatral y sus frecuentes objetivos nacionalistas. A pesar de parecer efímeras en un principio, las exhibiciones temporales transformaron por completo el museo moderno y alteraron la percepción del público del arte en general. Mas, una pequeña parte de los museos se mantuvo al margen de este fenómeno rehusando el préstamo de obras y exhibiendo únicamente colecciones permanentes. Ahora bien, las exhibiciones especiales se han convertido en la forma mediante la cual los museos mantienen el interés del público.

Todos los cambios que sufrió la institución también alteraron las formas de los edificios. Si bien en un principio los museos fueron concebidos para exhibir trabajos individuales, luego comenzaron a presentar obras especializadas que asumieron gradualmente una identidad más cercana a la del teatro. Estos cambios dramáticos que han transformado los objetivos del museo no ponen en crisis sus orígenes, pero han cambiado la naturaleza de sus operaciones. El mantenimiento y conservación de las colecciones aún permanece como el objetivo principal de muchas instituciones.

### 2.1.3 El Movimiento Moderno y el Movimiento Internacional.

En los principios del siglo XX tal como sucedió en las artes en general, la ruptura promovida por las vanguardias se manifestó en la arquitectura de los museos como una institución y un espacio de coleccionismo donde presentar el arte moderno.

A la vez que cada disciplina ponía en crisis sus ilusiones y figuraciones, el museo como institución tenía que desaparecer o transformarse completamente. El temor de las vanguardias al museo fue un punto de partida clave. El reto planteado fue tan grande que en los primeros años los arquitectos de las vanguardias casi no proyectaron ni construyeron museos. Este vacío creado por la búsqueda de una nueva concepción de los espacios del coleccionismo para el arte de las vanguardias, se empezó a superar con obras como el Museo de Arte Moderno de Nueva York (MOMA<sup>8</sup>, 1939-Figura 6):



Figura6.Vista del MOMA. 11 West 53 Street, New York.

Fuente: <http://visianinfo.com/art-for-the-eye/>

Empero sería precisamente en la construcción del nuevo edificio del MOMA en 1939 proyectado por Philip L. Goodwin y Edward Durrell Stone, donde varias de las consideraciones modernistas abordadas en la exhibición fueron puestas a prueba. El

---

<sup>8</sup> Este fue el primer museo construido en altura con ascensores. A pesar de tener seis niveles de altura y dos subterráneos, transgredía la altura de los museos convencionales.

nuevo edificio abandonó la axialidad, los grandes corredores, las galerías inmóviles y apostó por las plantas de exhibición con posibilidad de ser compartimentadas para parecerse a los típicos apartamentos neoyorquinos de los patrocinadores del MOMA. Inaugurándose así la “caja blanca” flexible<sup>9</sup>, formato que ha sido conservado en la más reciente renovación y adición. Se caracteriza especialmente por ser un volumen vertical inmerso en la trama urbana.

Los grandes maestros del Movimiento Moderno Le Corbusier, Mies Van Der Rohe y Frank Lloyd Wright no quedaron exentos de formular sus particulares propuestas de museo. Le Corbusier realizaría un proyecto para el *Mundaneum* en Ginebra (1928-1929): un complejo de vastas dimensiones ideado para conmemorar el aniversario de la Sociedad de las Naciones. Dentro de este complejo el lugar privilegiado estaba destinado a un museo en el que se podrían exhibir obras de todo el mundo: el *Musée Mondial*. Le Corbusier lo visualizaba como una pirámide de dimensiones monumentales formada por el crecimiento de una espiral rectilínea en ascenso. El museo de planta cuadrada promovía una circulación continua y una compartimentación libre del espacio expositivo contenido dentro de la espiral. Es así como en 1931, Le Corbusier propone a la revista parisina *Cahiers d'Art* la construcción de un museo de arte contemporáneo de forma piramidal en la ciudad luz. La idea era que el museo se construyera adicionando salas conforme se fueran adquiriendo fondos siguiendo una trayectoria en espiral en base a una planta cuadrada. En este proyecto la planta en espiral era sostenida por *pilotis*<sup>10</sup>, de manera que se permitiera conservar el acceso e inicio del recorrido desde el centro (ver figura 7).

En 1931 el MOMA instauró un departamento de arquitectura y diseño cuyo primer director fue Philip Johnson. Un año después, se celebró la muestra “*International Exhibition: Modern Architecture*” donde se exhibían los trabajos de Le Corbusier, Ludwig Mies Van der Rohe, Walter Gropius y Frank Lloyd Wright entre otros. Philip Johnson, con la ayuda de Henry-Russell Hitchcock materializó un auténtico manifiesto logrando reunir corrientes y tendencias muy distintas, detectando

---

<sup>9</sup>Los lineamientos racionalistas del modernismo basados en tecnología y falta de ornamentación, permiten una enorme libertad en el diseño del espacio al usar un sistema modular que promueve la neutralidad y flexibilidad. El edificio, concebido como un gran espacio modulado, se vuelve la “caja blanca” característica durante décadas de la arquitectura del museo.

<sup>10</sup> Técnicamente *pilotis* son las columnas o pilares estructurales que sostienen la construcción dejando libre el primero piso. La palabra *pilotis*, de origen francesa, puede referirse tanto al pilar en sí, como al sistema.

que eran estilísticamente similares pues compartían un propósito general, las consolidó en lo que vino a llamarse el Estilo Internacional.

Goodwin y Stone siguieron los principios del flamante Estilo Internacional preconizando la arquitectura como volumen (no como masa), regularidad pero no simetría, confianza por la satisfacción estética basada en la cualidad intrínseca de los materiales elegantes, finas proporciones y perfección técnica en vez del ornamento aplicado. Le Corbusier en su *Vers une architecture* pronunciaba su famoso aforismo de “la casa es una máquina para vivir”. Quizás una manera mejor de describir al MOMA es llamarlo “máquina para mostrar pinturas”.

Así como Bouleé en 1783 y J. N. Durand en 1802 las propuestas de museos teóricos -“arquitectura dibujada” de Le Corbusier, dejarían huella en la historia con un diseño paradigmático que reflejaba su pensamiento y creatividad, constituyendo éste a la vez un fiel reflejo de la arquitectura racionalista. La “espiral de planta cuadrada que se enrosca sobre sí misma” muestra una gran autonomía sobre el lugar, de hecho podría estar en cualquier sitio. Su forma y sus dimensiones provienen totalmente de la función. Este diseño es conocido como el “Proyecto C”, primera versión del llamado “*Musée à croissance illimitée*” (Museo del crecimiento ilimitado- Figura 7).

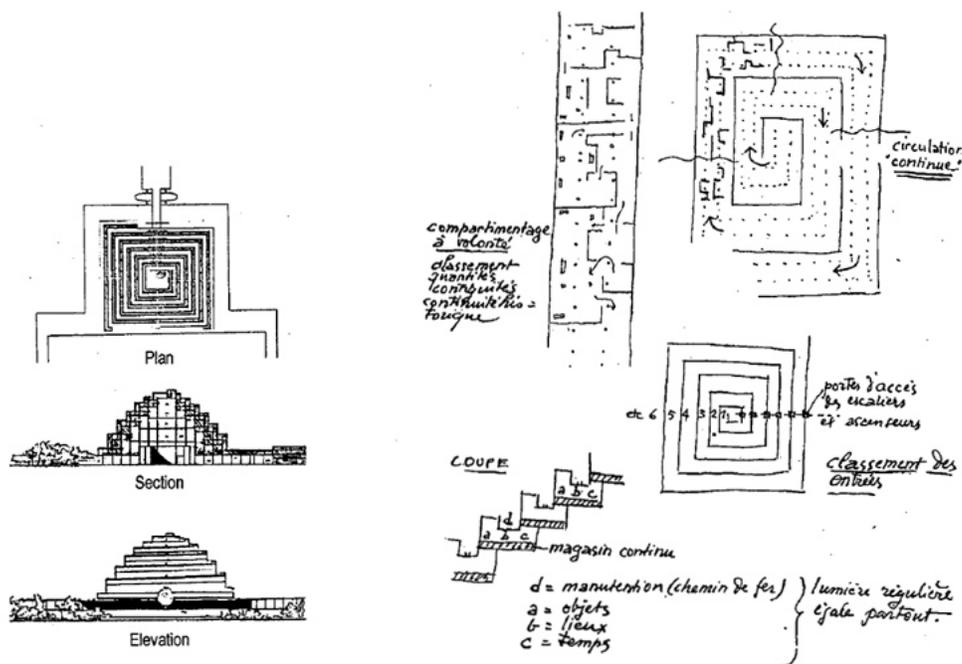


Figura 7. Museo del Crecimiento Ilimitado. Le Corbusier, 1931.

Fuente: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com.br/2010/04/le-corbusier-museo-de-arte-en-tokio.html>

En el otro extremo tipológico y representando una verdadera antítesis a los tradicionales museos de salas en enfilada, la singular propuesta de Mies Van der Rohe de un “Museo para una pequeña ciudad” (1942-1943) trataba de un utópico “museo ideal”(Figura 8 y 9) de planta libre y flexible donde se realizaba una interesante comunicación entre el interior y el exterior. Si bien el Pabellón Alemán de Barcelona (1929) proyectado en el mismo año que el “*Musée Mondial*” de Le Corbusier, era un auténtico museo sin colección, en éste nuevo diseño ideado durante su etapa americana, la arquitectura intentaba ser casi imperceptible “*less is more*” y las pinturas y esculturas -para la que se construiría el museo- lo serían casi todo. Van der Rohe lleva al extremo el rechazo de la arquitectura moderna por la representación tipológica: el museo pasa desapercibido, bien podría ser una casa, un pabellón u otro tipo de edificación, únicamente las imágenes fotográficas de esculturas y pinturas dan una pista del uso museístico de la arquitectura. Apuntaba que: “El primer problema es establecer el museo como un centro para el placer, no para el encierro del arte. En este proyecto la barrera entre la obra de arte y la comunidad ha sido borrada”. El arquitecto expresa un espacio expositivo de total libertad, un espacio interior infinito que no acaba en el inicio del exterior. Siendo un museo con muros perimetrales de cristal, las pinturas actúan como planos definidores del espacio.

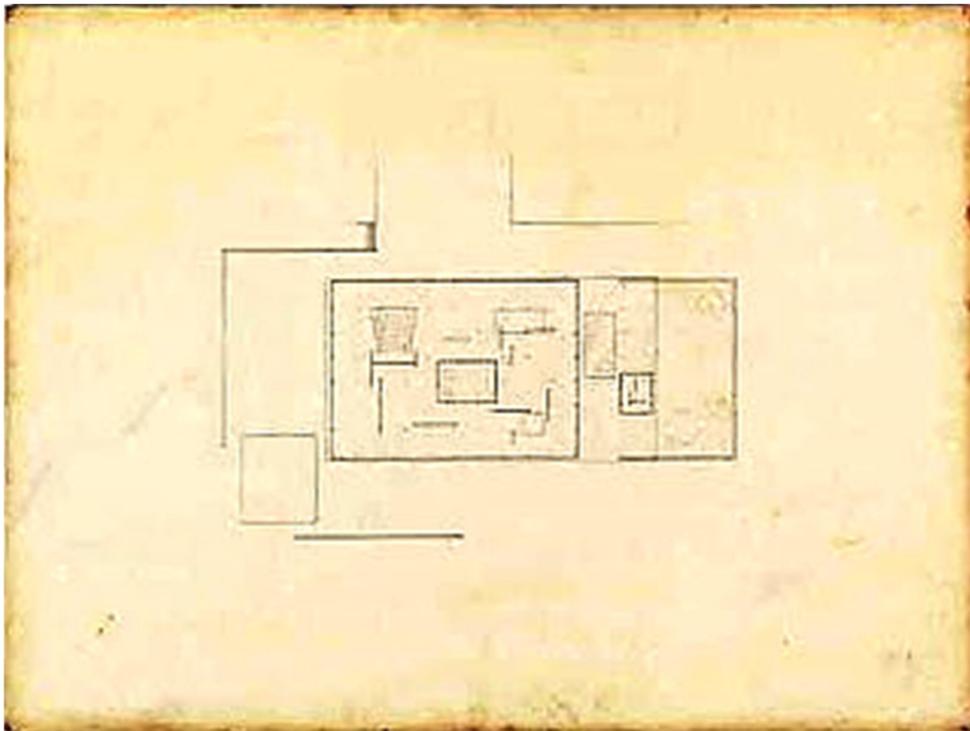


Figura 8.Planta del proyecto idealista del “Museo para una pequeña ciudad”, Ludwig Mies Van der Rohe (1943).  
Fuente: <http://estoa.blogspot.com.br/2011/07/museo-para-una-pequena-ciudad-herzog-de.html>



Figura 9. Museo para una pequeña ciudad. Perspectiva interior, 1943.

Fuente: <http://estoa.blogspot.com.br/2011/07/museo-para-una-pequena-ciudad-herzog-de.html>

A pesar de la gran relevancia de las propuestas de Le Corbusier y Mies Van der Rohe, dentro de los proyectos generados por los maestros del Movimiento Moderno el que tendría una mayor importancia y repercusión en el futuro arquitectónico museístico sería el Guggenheim de Nueva York de Frank Lloyd Wright, inaugurado en 1959 (Figura 10 y 11). En efecto, corresponde a un proyecto gestionado durante 16 años destinado a exhibir obras atesoradas durante décadas. Fue diseñado con el objetivo de romper esquemas y con ello ser un verdadero monumento a la singularidad de su autor y de su promotor.



Figura 10. Guggenheim Nueva York de Frank Lloyd Wright, 1969.

Fuente: The Solomon R. Guggenheim Museum, New York.

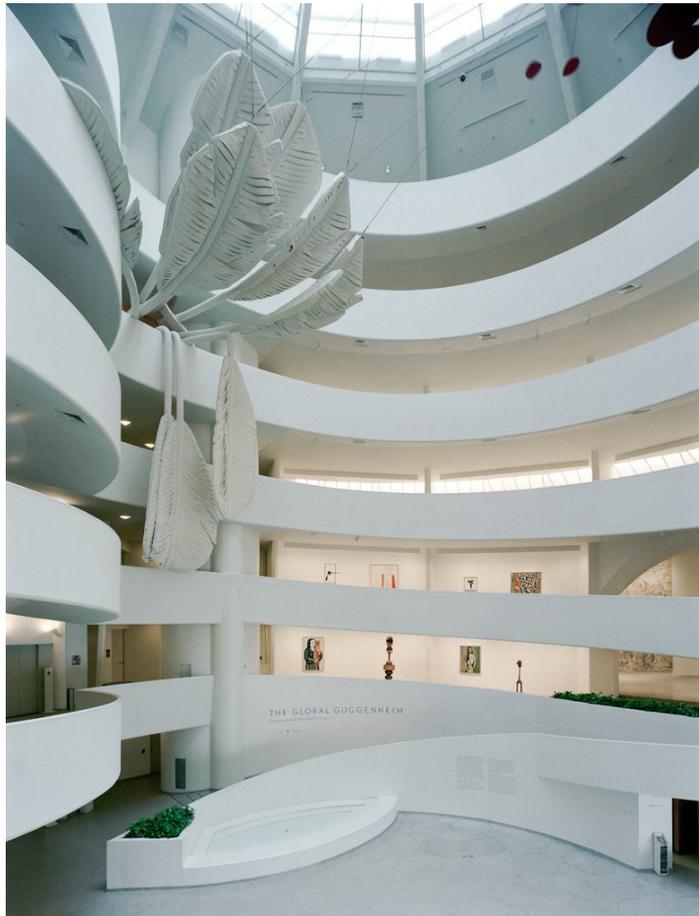


Figura 11. Vista interior de Guggenheim de Nueva York de Frank Lloyd Wright (1969).  
Fuente: David Heald, The Solomon R. Guggenheim Foundation, New York.

A la condición que determina las formas de la percepción del visitante, Montaner (2001, pág.44) atribuye la posibilidad de "comprensión y visualización" del edificio del museo otorgándole la categoría del atributo más importante en arquitectura. Al esbozar las tres posibilidades de utilización de los modelos arquitectónicos del siglo XX, Montaner define los términos "reutilización tipológica", "perversión tipológica" y "las innovaciones tipológicas" estableciendo así los diferentes marcos de referencia para el edificio museo. Constituyen soluciones arquitectónicas claras y comprensibles las formas abiertas y simples que permitan abarcar el interior desde el volumen exterior, también la estructura interior directamente relacionada al espacio unitario vertical o horizontal, asimismo los recorridos que circunden patios o que ofrecen vistas exteriores, como también las situaciones en que se comprende totalmente el interior desde la entrada al edificio.

### 2.1.4 Post modernidad, el edificio como icono urbano.

El edificio icono (*Iconic Building*) es el termino dado por Charles Jencks en “*Iconic Buildings - The Power Enigma*” para nombrar el fenómeno que recorre el campo de la arquitectura y urbanismo y que se inicia en el Museo Guggenheim de Bilbao (Figura 12) de Frank Gehry. Esta corresponde a una actual tendencia de construcción de edificios emblemáticos que contribuyen a la transformación económica caracterizada por el escenario actual de competencia entre ciudades de iniciativa pública y privada. Las construcciones de estas formas icónicas han sido especialmente solicitadas por los llamados “*starchitects*” (arquitectos celebridades) que a través de una instantánea popularidad con el público, especialmente los turistas, buscan retorno financiero (Jencks, 2005).



Figura 12. Museo Guggenheim Bilbao. (1992) Frank Gehry.

Fuente: <http://edificandoonline.blogspot.com.br/2011/03/museu-guggenheim-bilbao.html>

Al momento, muchos arquitectos han destacado en el escenario internacional por desarrollar algún museo, arquitecturas de gran audacia y expresividad formal, a partir de nuevos estudios morfo-genéticos. Éstos fueron posibles gracias a la promoción de herramientas de medios digitales y tecnologías utilizadas en proyectos que los llevó a adquirir una mayor visibilidad pública. Dos ejemplos controversiales por su diseño son el Museo Guggenheim de Bilbao del arquitecto Frank Gehry, un proyecto de expansión

y el Museo Victoria & Albert de Londres del arquitecto Daniel Libeskind. En tanto, los museos adoptaron propuestas más dinámicas y espacios más amplios capaces de absorber dimensiones que facilitasen la circulación de un gran número de personas. Las tecnologías contribuyen a imponer un espacio mutante, versátil, capaz de adaptarse a un nuevo concepto. Asimismo la estética del edificio en sí se transforma en un objeto de arte. Montaner señala que en términos de organización espacial, la atención se centra en el interior del museo existiendo en la última década del siglo XX, las siguientes soluciones: un espacio único, es decir, la planta libre, la forma lineal, la organización en torno al patio y la solución de laberinto. Las nuevas formas arquitectónicas fueron concebidas como imágenes impactantes y también como medios de comunicación amplios y atractivos caracterizando su monumentalidad como un lugar de interés. Así, insertado en el paisaje que lo rodea como una arquitectura simbólica que se comunica con su aspecto se convierte en el principal objeto que se ofrece a la población. Pompidou y Guggenheim representan el protagonismo arquitectónico en nuestra sociedad como afirma Rico (2010), se presume que actualmente se vive la búsqueda espacial como una forma de romper con el modelo impuesto por Gehry marcado por la fluidez interior.

Como se ha tratado de mostrar, grandes revoluciones formales<sup>11</sup> ocurrieron desde el origen del idealizado *museion* de Alejandría, continuando con la construcción del Museum of Modern Art (MOMA) de Nueva York; pasando por los dos proyectos de los grandes maestros del Movimiento Moderno: Le Corbusier y Mies Van der Rohe y culminando con los edificios icónicos de Gehry. Lo anteriormente dicho, permite entender que la arquitectura del museo no se resume en una solución puramente formal sino en un proyecto integral, multidisciplinar y de fundamental importancia para entender el edificio como un ecosistema espacial. Entonces, la colección, las características de la conservación, la importancia del visitante y el edificio como un ecosistema, sugiere repensar el diseño arquitectónico. Ahora bien, visto desde las revoluciones ocurridas en los museos, se capta por un lado un carácter conceptual en lo museológico; por otro lado uno racional, de carácter museográfico, del espacio; y por último uno técnico: la luz, la climatización, la conservación, etc. (Rico, 2007- pág.367).

---

<sup>11</sup> Tabla síntesis de la Evolución Formal en los Museos, consultar Anexo 1.

La variabilidad formal de los edificios de museos en la actualidad, han sido logradas especialmente con la ayuda de la computadora, desarrollando formas atractivas, casi únicas, definen lo que se puede decir una cierta tendencia contemporánea para este tipo de edificación. Estas envolventes, conforman una gran sala de exposición, mantiene en las mismas condiciones higrotérmicas, tanto las obras de arte como los visitantes. Se estas grandes envolventes pueden adquirir distintas formas y, sabiendo que la forma puede afectar directamente la repercusión térmico ambiental que además, acarrea mayor consumo energético, puede poner en riesgo las obras de arte y la salud y confort de los usuarios, se busca en esta investigación criterios para diseñar una geometría para un museo que considere estos factores.

Investigaciones como Müller (2013) afirman que la eficiencia energética de los museos que funcionan con aire acondicionado, se puede mejorar a través de sistemas pasivos como la geometría, inercia térmica, orientación, control solar y ventanas.

Rico (2007) en su investigación [La Caja de Cristal] intenta encontrar un prototipo espacial abstracto (no ubicado en ninguna parcela concreta pero fácilmente modificable para poder adaptarse a cualquiera) que defina la nueva organización de todos los componentes en sustitución del programa del museo actual.

Esta situación supone para el diseñador de un museo, tener especial cuidado en identificar los parámetros capaces de satisfacer ambas exigencias de un modo eficiente para así poder elegir la configuración espacial más adecuada al clima. A continuación, se muestra como se desarrollaran los museos en Brasil hasta los edificios contemporáneos, objetivo de estudio de esta tesis.



### 2.1.5 Museos en Brasil

En 1808, la llegada de la familia real a Brasil posibilita el comienzo de un proceso de cultura y educación. En 1818 se inaugura el primer Museo Real dedicado al estudio de la naturaleza tropical el cual más tarde sería denominado Museo Histórico Nacional de Rio de Janeiro. Asimismo, en 1862 se inauguró el segundo museo en Brasil dedicado a la arqueología, historia y geografía en la ciudad de Recife-PE, seguido del Museo de Filomática en Belém-PA (1871-hoy conocido como Museo Paraense de Goeldi). En 1893 el *Palacio do Ipiranga* (Figura 13) es inaugurado en São Paulo en la época del gobierno republicano para celebrar la independencia de Brasil, volcado a las ciencias naturales.



Figura 13. *Museu do Ipiranga*, São Paulo. Imagen de 1902 de Guilherme Gaensly y Vista Actual.  
Fuente: [http://www.aprenda450anos.com.br/450anos/vila\\_metropole/2-3\\_museu\\_ipiranga.asp](http://www.aprenda450anos.com.br/450anos/vila_metropole/2-3_museu_ipiranga.asp)

Al inicio del siglo XX Brasil contabiliza ocho museos más puesto que el interés del imperio estaba especialmente dirigido a temas científicos e históricos. Casi la totalidad de estos edificios nacieron en edificios precarios o en instalaciones improvisadas, mayoritariamente eran edificios reconocidos como patrimonio histórico y era posible encontrar objetos que ocupaban *halls* de teatros, palacios o salas prestadas en edificios públicos. Desde 1903 hasta 1931 son inaugurados el Museo del Estado, en Porto Alegre(1903); Museo Julio de Castilhos, también en Porto Alegre(1903); Museo Pelotense, como anexo de la Biblioteca de Pelotas-RS(1904); El Instituto de Arte y oficios en São Paulo, la Pinacoteca(1905); Museo de Arte, en Bahia(1918); Museo Mariano Procópio, en Juiz de Fora-SP(1921); Museo Histórico Nacional de Rio de Janeiro(1922); Museo del Estado, en Recife-PE(1929); Museo de Arte e historia en Ouro Preto-MG(1931), posteriormente se transfirió a la ciudad de Belo Horizonte.

También en 1937 con Getúlio Vargas en el gobierno, es creado el Servicio del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional (SPHAN), iniciándose así una fase de protección y valoración de los monumentos del arte colonial y memoria nacional. Asimismo se creó el Museo de la Inconfidencia en Ouro Preto. De igual forma, Lucio Costa diseña el primer Museo "Moderno" (Figura 14) con elementos constructivos tradicionales y fachadas de vidrio "miesianas".



Figura 14. Proyecto de Lúcio Costa en Museo de las Misiones- RS.1937.

Fuente: [http://www.archdaily.com.br/16239/classicos-da-arquitetura-museu-das-missoes-lucio-costa/musedasmissoes-blogspot\\_4/](http://www.archdaily.com.br/16239/classicos-da-arquitetura-museu-das-missoes-lucio-costa/musedasmissoes-blogspot_4/)

Durante los veinte años de la dictadura militar en Brasil (1964-1984), la censura imperante limitó las actividades culturales de orientación progresista en particular el desarrollo de manifestaciones artísticas de contenidos políticos. Con la vuelta de la democracia, se intensifica la dinámica cultural en Brasil y desde los años noventa proliferan los museos. Las artes plásticas comienzan a recibir mayor atención de la sociedad y del gobierno en 1937, con la creación del Museo Nacional de Bellas Artes de Rio de Janeiro.



Figura 15. Vista del Museo Nacional de Bellas Artes de Rio de Janeiro, 1937. Fotografía de Marc Ferrez.

Fuente de dominio público. Actualmente los arboles ocultan grande parte de la fachada.

En Rio de Janeiro Raymundo Castro Maya, propone la Fundación de Arte Moderna de Rio (MAM). En São Paulo, Assis Chateaubriand y Cicilio Matarazzo Filho, crean el *Museu de Arte Assis Chateaubriand* (MASP) y el Museo de Arte Moderno en São Paulo. Surge así, lo que Segre describe como paradigmas del museo moderno brasileño, el MAM- Figura 16, diseñado por Affonso Reidy(1945-1962) y el MASP- Figura 17, diseñado por Lina Bo Bardi(1957-1968). Ambos coinciden con la estética "brutalista" de los gigantescos pórticos de hormigón armados a la vista, la herencia LeCorbusiana del edificio suspendido en el aire, una caja pura, rectangular que contienen espacios flexibles, de planta libre y fachadas de vidrio miesianas.



Figura 16. MAM (1962). Rio de Janeiro. Foto: Roberto M. Filho.  
Fuente:<http://redarterj.com/wp-content/uploads/2012/01/mam.bmp>



Figura 17. MASP (1968). São Paulo.  
Foto de la autora.

La simplicidad formal engran parte de los edificios característicos de la arquitectura moderna y las tendencias de la arquitectura brutalista brasileña, proveen no solamente de una razón sino también de un constante dialogo entre las tradiciones populares y la cultura de elite. Si bien el MAM y el MASP sorprendieron al mundo en

virtud de la naturaleza del emprendimiento en tierras tropicales y por la cualidad de su arquitectura, aún el escenario Brasileño promete aún más.

En 2010 Segre señala tres ejemplos icónicos significativos: el *Museu Brasileiro da Escultura* (MUBE-Figura 18) en São Paulo, de Paulo Mendes da Rocha (1994) el *Museu de Arte Contemporanea* (MAC- Figura 19) en Niterói, de Oscar Niemeyer(1996), y la Fundación *Iberê Camargo*(FIC-Figura 21)en Porto Alegre de Alvaro Siza(2008). Éstos representan diferentes estrategias formales, el MAC en forma de flor o calice, que según varias interpretaciones es un objeto escultural posado sobre la bahía de Guanabara, se transformó en un simbolo de la ciudad. Ahora, recuérdense las experimentaciones formales de Oscar Niemeyer que comienzan en los años cincuenta con la piramide invertida del Museo de Arte de Caracas, así también el fuerce plastico del gigantesco ojo del Museo Oscar Niemeyer(MON- Figura 21)en Curitiba, 2002. Contrario a esto, el MUBE dialoga sutilmente con el contexto urbano creando una plaza seca, la cual se identifica por la gran viga de hormigón armado que soterra los espacios de exhibición. Alvaro Siza en el edificio Iberê Camargo, retoma la herencia de Frank Lloyd Wright en la definición volumetrica pura y el sistema circulatório.



Figura 18. MUBE, en São Paulo, de Paulo Mendes da Rocha. (1994). Foto: Nelson K.  
Fuente: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.018/828>



Figura 19. MAC, en Niterói (1996), de Oscar Niemeyer.  
Foto: Rick Foth. Fuente:www.mercadoarte.com.br



Figura 20. MON en Curitiba (2002), de Oscar Niemeyer.  
Foto: Autora.



Figura 21. FIC en Porto Alegre (2008), de Álvaro Siza.  
Foto: Autora.

Esto demuestra que los edificios de museos en Brasil incitan a profundizaren estudios sobre la Compatibilidad Ambiental, los cuales deberían ocuparse en brindar cambios en los parámetros de satisfacción térmica, conservación de las obras arte y de eficiencia en el consumo de energía eléctrica.

Por otra parte, como Brasil fue sede del Mundial de Fútbol en 2014 y lo será de los Juegos Olímpicos en 2016, se torna ambiciosa la presencia de arquitectos en la conformación de grandes proyectos de nuevas edificaciones. A pesar del valor que puedan tener estos, muchas veces son prohibidos por la inviabilidad económica como es el caso del proyecto de Guggenheim “Jean Nouvel” en Rio de Janeiro. Entre los proyectos de gran magnitud también están el *Museu da Imagem e do Som* (MIS- Figura 22) de Diller-Scofidio+Renfro, el *Museo do Amanhã* (Figura 23 de Santiago Calatrava y el *Museu de Arte do Rio de Janeiro* (MAR-Figura 24) de Bernard Jacobsen, reflejan soluciones creativas, imaginativas e innovadoras geometrías en el escenario brasileño.



Figura 22. Museu da Imagem e do Som (MIS), de Diller-Scofidio+Renfro.  
Fuente: Segre, 2010.



Figura 23. Museu do Amanhã, de Santiago Calatrava.  
Fuente: Segre, 2010.



Figura 24. Museu de Arte do Rio de Janeiro(MAR), de Bernard Jacobsen.  
Fuente: Segre, 2010.

Sin embargo, la cantidad de museos no significa una mejoría cuantitativa proporcional, son pocos los edificios construidos para este fin que cuentan con recursos técnicos y financieros para el ejercicio de esta finalidad. La cuestión de la calidad del espacio físico frente a este cuadro museológico y la conservación preventiva ya no puede ser ignorada. Específicamente en Brasil este aspecto es todavía rudimentario como ha verificado Kiefer (1998) en su investigación en los casos del MAM (*Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro* - MAM, 1968, por Afonso Eduardo Reidy) y MASP (*Museu de Arte de São Paulo* - MASP, 1968, por Lina Bo Bardi) que sufren de exceso de iluminación, polución del aire, variaciones de temperatura y humedad, entre otros. Complementa Kiefer que las necesidades museológicas relativas al control del ambiente de los edificios que resguardan los bienes, deben estar a la par con el “boom” de museos en curso donde esta condición se agrava principalmente en las capitales del país.

Actualmente, existen pocos antecedentes en el tema ya que no se cuenta con mediciones sistemáticas, normativas ni recomendaciones adaptadas a nuestra realidad. Esto provoca problemas de comportamiento, que sumados al mantenimiento mínimo producto de la escasez de presupuesto, genera deterioros en los bienes a preservar. Toda medida que se desee adoptar debe poseer no solo información calificada y actualizada del establecimiento y de las situaciones típicas de bienes conservados, sino también de la red para poder contrastar comportamientos (Ribeiro, 2010).

Por otra parte se desconoce buena parte de las características tipológicas no superficiales de los escenarios y sus componentes discriminados que permitirían concentrar información para generar comparaciones y definiciones de situaciones deseables u óptimas. Respecto de los edificios no se posee suficiente información respecto de su estado, comportamiento y funcionamiento. Además, los profesionales dentro de las instituciones de control y gestión, en caso de recibir requerimientos de optimización o mejoramiento del comportamiento edilicio, carecen de capacitación, información calificada, metodologías y herramientas de diagnóstico (Gómez, 2006).

Asimismo Rico (2009) afirma que no existe ningún modelo ideal y que los prototipos concebidos para ser museos fueron fracasados dejando una cuestión abierta en la actualidad. Esto se aprecia en investigaciones aun en marcha como: “La Caja de cristal, un nuevo modelo de museo”, en la cual colaboran varias universidades americanas y españolas. También “La arquitectura como objeto, soporte y contenedor expositivo” reflejan la búsqueda de soluciones tipológicas para edificios que abrigan los bienes culturales. Específicamente lo que esto trata de demostrar es que existen diferentes experimentaciones formales en los edificios de museo en Brasil, lo que incita el estudio de estas variaciones formales en su desempeño de compatibilidad ambiental y también conlleva a analizar mejores propuestas para nuevos edificios.

### 2.1.6 Breve conclusiones de la evolución formal

Considerando la evolución formal de los edificios de museo, este apartado permitió relacionar la fuerte relación de la forma del edificio y su potencial atractivo para sus visitantes. Cabe mencionar que los edificios de museo, con volumetrías exentas, pueden valorar aún más los espacios urbanos, creando puntos focales de referencia o puntos de estímulo para el bien estar colectivo en conjunto con el patrimonio urbano circundante. También, los edificios de museo y su forma interactúan con la obra de arte, con el coleccionismo y con la memoria colectiva. Los edificios deben responder a una doble función impuesta por el tiempo y el medio cultural: ser cajas que albergan, conservan y difunden objetos dignos de contemplación, como también ser un objeto cultural que asume su dimensión y sentido de monumento mostrando el rol que evidencia la actual sociedad del consumo.

Respecto a las características geométricas, se percibe la importancia de la arquitectura singular en el desarrollo e innovación de la tipología arquitectónica. Se aprecia destacados arquitectos que han interpretado el concepto de museo contribuyendo con verdaderas obras maestras hasta hace poco tiempo inimaginables. Por otro lado, el programa de diseño paramétrico CATIA que se introduce en la dinámica del proceso de diseño del museo Guggenheim de Bilbao, España (1997) por Frank Gehry, representa el inicio de etapa donde la informática potencia la arquitectura abriendo puertas a la materialización de nuevas formas geométricas. En países emergentes, como es el caso de Brasil, se aprecia una proliferación latente donde un “prototipo ideal” todavía no ha sido completamente explorado y quizás no exista. Ahora bien, ¿Cómo resultaron las diferentes geometrías frente a los desafíos ambientales actuales? Podemos verificar fracasos y virtudes de algunas soluciones formales? Bueno, se desconocen tanto las soluciones formales propuestas para los museos brasileños, como también las condiciones ambientales (temperatura, humedad) a la que se encuentran sometidos los bienes de interés histórico y artístico y los usuarios.

Debiese tener en cuenta que, para la hipótesis de trabajo aquí planteada, se sugiere que el edificio, más allá de tener una forma expresiva, debe ser pensada para minimizar el consumo energético respondiendo la demanda actual. Este desafío ambiental para los museos, se presenta en el apartado a continuación, y son requerimientos para una propuesta formal-volumétrica ambientalmente adecuada.



## 2.2 Los museos frente a los desafíos ambientales

Los museos que representan nuestro patrimonio cultural son construcciones de gran importancia y poseen un carácter representativo- significativo. Dentro del contexto de la energía y el medio ambiente, los nuevos edificios raramente son eficientes energéticamente, en efecto, muchas veces ofrecen condiciones de confort insatisfactorio (Gallo y Gargari, 2004).

En una época dominada por la lógica del consumo, la dimensión arquitectónica del museo tiende a explorar estrategias de divulgación de sus instituciones frecuentemente vinculadas a la promoción turística. A la par con la preservación de monumentos del pasado, las ciudades buscan nuevas construcciones suficientemente atractivas para ser difundidas por los medios de comunicación en masa para a la vez, a través de ellos, conectar y formar parte del imaginario colectivo.

De forma tal, actualmente el eje del asunto de los museos ha sido integrarse a la evaluación de los aspectos ambientales de sostenibilidad, ciclo de vida y eficiencia energética de los edificios, superando las metodologías del proyecto puramente funcional y utilitario, en un extremo y estéticos y decorativo por otro (Gonçalves, *et al.*, 2011).

La compatibilidad es sin duda una de las palabras más usadas en la práctica de la conservación. Específicamente se utiliza con el significado actual de “en armonía con”. El término se ha utilizado en restrictivo y en sentido amplio para la calificación de un producto o proceso, así como para apoyar la calificación de las políticas y estrategias dentro y fuera del campo de la conservación. En este sentido, se ha convertido en un “gran palabra”, en una bandera que puede actuar con un importante efecto multiplicador en el proceso de “proponer-convencer-vender”. (*Indicators and ratings for the compatibility assessment*, 2007). Ahora, teniendo en cuenta el significado bastante amplio atribuido a la compatibilidad, es importante delimitar qué calificaciones razonablemente se pueden incluir dentro de este. De hecho, la principal razón para utilizar este concepto es que se debe resolver un problema que involucra una respuesta formal-geométrica, arquitectónica, su impacto y eficiencia en el desarrollo sostenible.

El diseño del edificio y el espacio que encierra las colecciones es pocas veces explorada como herramienta potencial para un ambiente interior beneficioso. El espacio

en sus aspectos de tridimensionalidad, rara vez es discutido en cuanto la evaluación del desempeño del clima de un edificio que se lleva a cabo. Las formas de los recintos, las alturas de los techos, los tipos y ubicación de las aberturas, las formas del techo, entre otras, son elecciones importantes en lo que refiere al movimiento del aire caliente y la estratificación, aun así, a menudo se pasan por alto. Sin embargo, todos juegan un papel en el condicionamiento de la temperatura interior, y estos factores deben ser contextualizados cuando un plan de gestión ambiental se va a producir. De hecho, la tridimensionalidad de un edificio comúnmente se debe tener en cuenta cuando el volumen de aire es un valor necesario para el cálculo de la renovación del aire en interiores (Toledo, 2007).

Dentro de ese contexto, en la década de noventa, la publicación de *The Museum Environment* (Thomson, 1994) introdujo un nuevo abordaje para la preservación: la preservación preventiva. En ese modelo, la conservación del acervo implica la consideración de un contexto más complejo que exija la comprensión de la totalidad del edificio, de los factores de desempeño ambiental-temperatura, de humedad, iluminación, contaminación y ataques biológicos, así como de las condiciones físicas del edificio que incluyan la materialidad y la técnica constructiva. En un edificio adaptado o en una construcción nueva, proyectada específicamente para ese fin, las relaciones del museo son definidas por diversos parámetros correlacionados (características geográficas y climáticas) como la estructura material de la edificación y sus condiciones, las características tipológicas del acervo que alberga y sus relaciones de uso (pesquisa, exposición, conservación).

En este sentido, la relación de los desafíos de los edificios de museos con el medio ambiente tiene dos líneas principales, el estudio y creación de un micro clima favorable al desarrollo de las actividades museológicas en su espacio interno y el análisis de las interferencias que el museo acarrea al medio ambiente en el cual está insertado. Por un lado están las necesidades de los museos en términos de control y confort ambientales para sus usuarios y su acervo y por otro lado, es necesario aplacar los efectos del funcionamiento del museo con sus residuos y consumo de energía y agua que acarrea al ambiente (Ribeiro, 2010).

Ahora bien, algunas iniciativas a lo largo del tiempo han sido aplicadas para el mejoramiento del desempeño de los edificios de museos como la renovación de la

iluminación de las exposiciones, esto trae como resultado un mejoramiento en la calidad interna de los espacios (Ribeiro, 2010).

También es menester considerar que el edificio puede contribuir a acelerar el proceso de degradación de las obras o a suavizar o retener el proceso de envejecimiento de la colección que está ahí abrigada. En una edificación podemos identificar que algunos sectores son más frío que otros o que ambientes en los pisos inferiores son más húmedos en relación a los superiores, esto ocurre porque cada zona dentro de un edificio tiene su propio comportamiento climático. Algunos ambientes pueden reaccionar de la misma forma a las variaciones climáticas externas en cambio otros pueden tener variaciones individuales de acuerdo con su localización dentro del edificio (Padfield y Larsen, 2004).

De modo general, las estrategias de control de los aspectos climáticos del edificio pueden ser clasificados en dos grupos desde el punto de vista de la eficiencia energética: las estrategias arquitectónicas bioclimáticas o “pasivas” que pueden involucrar el uso de la ventilación natural, enfriamiento, humidificación, protección solar, uso de la inercia térmica de los materiales y aprovechamiento de la luz natural. Por otro lado, están las “estrategias activas” que engloban el consumo de energía como utilización de ventilación mecánica, aire acondicionado e iluminación artificial (Lamberts, 2001).

Ahora, los factores climáticos que pueden ser controlados en el interior del edificio a través de la aplicación correcta de las estrategias, son: la temperatura y humedad del aire, las condiciones de iluminación y condiciones de calidad del aire. La utilización masiva de la incorporación de equipos de aire acondicionado como solución para la conservación ha acarreado un consumo energético excesivo. Esto se debe a que las edificaciones no consideran las características del clima tornándose entonces incompatibles e inadecuadas al clima.

Un enfoque más amplio en relación al tema de la conservación preventiva se dió entre los miembros de ICCROM (*International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*) y otros individuos pertenecientes a grupos e instituciones principalmente de Italia, Francia, Canadá e Inglaterra que avanzaron hacia la interacción entre el *edificio, confort ambiental interior y la obra de arte* dentro del campo de la preservación. Interesa especialmente el trabajo de los italianos Aghemo C. y Filippi M.(1986) quienes incorporaron nuevos conceptos y desarrollaron

metodologías como el análisis ambiental mediante la utilización de metodologías de indagación de campo y conservación arquitectónica y ambiental, uniendo especialistas del área bioclimática y solar a los del área de conservación y preservación. Además construyeron metodologías para el análisis de la degradación arquitectónica y ambiental con técnicas no destructivas, dentro de éstas el diagnóstico del estado de defecto (pérdida de estabilidad y degradación) de la arquitectura y del ambiente (edilicia histórica). También acrecentaron sus trabajos con procedimientos y normas para evaluar las condiciones ambientales en las que se encontraban los bienes históricos conservados dentro de los edificios, para generar información de base que les permitió luego predecir la degradación de los mismo(Gómez, 2006).

Las experiencias de investigación de Gómez, 2006; Gennusa *et al*; Padfield y Larsen, 2007; Papadopoulos y Anastaselos, 2008; Gaoming, 2009; Corgnati *et al.*, 2009; Diniz y Krüger, 2011; Passerini y Albatici, 2011; Helmut F.O. Mueller, 2013, mostraron en sus distintos métodos de análisis en museos, que la aplicación de estrategias bioclimáticas y la relación de la forma del edificio y los requisitos energéticos, por eso sigue siendo una cuestión abierta. Así pues, los edificios de museo pueden aportar a un diseño ambientalmente adecuado motivando el estudio del desempeño de la forma-geometría de museos en el clima subtropical húmedo de Brasil, el cual carece de investigaciones sobre el tema otorgando así también, nuevas oportunidades en virtud de la variedad de soluciones formales y la demanda latente.

### 2.2.1 Condiciones Higrotérmicas en Museos

Las condiciones higrotérmicas en museos, humedad relativa y temperatura, están integrados en la cotidianidad de los museólogos y coleccionadores porque de las condiciones higrotérmicas interiores en un museo es el punto de partida para la preservación/ conservación de los acervos. La colección, el edificio y el clima exterior son factores que intervienen en las condiciones lo que torna el estudio bastante complejo.

Museos, archivos y bibliotecas están diseñados para proporcionar el más alto grado de acceso a sus acervos. Para que el uso y apreciación de las colecciones estén asegurados en el futuro, es crucial que reciban un cuidado apropiado. No obstante esto se trata de una tarea compleja, especialmente cuando los recursos son escasos en la mayoría de las instituciones.

Los expertos Feilden y Scichiolone (1982) afirman que el museo debe constituirse como “ecosistemas espaciales”. Empero, la mayoría de los edificios actuales resultan ser inadecuados porque no consideran las condiciones de preservación como un factor esencial que alerte al arquitecto, él que se debe adecuar a las situaciones, asegurando un buen comportamiento del edificio frente a las condiciones necesarias.

El clima interior en los edificios de museo está relacionado a dos importantes requisitos: la preservación de las obras de arte y el confort de sus visitantes o aquellos que trabajan dentro de ellos. Éstos son los principales desafíos de ese tipo de edificio. Por desgracia, algunos materiales presentes en las obras de arte tienen diferentes requisitos de temperatura y humedad entre sí. Además dar satisfacción térmica al usuario simultáneamente, torna difícil el control del clima interior de edificios de museo (Gennusa, 2008).

En el pasado, el control ambiental en las instituciones de museo era orientado solamente a la comodidad de los visitantes. Sin embargo, desde la década de noventa el control de parámetros ambientales de las áreas interiores en el que las colecciones culturales se encuentran, son fundamentales para la preservación de los materiales, de lo contrario, existe el peligro de deterioro o incluso la destrucción de los objetos expuestos. Parámetros Ambientales tales como la humedad relativa ambiental y la temperatura de los objetos expuestos, así como la iluminación inadecuada y la

contaminación atmosférica, puede deteriorar varias exposiciones culturales y conllevar un gran impacto en su adecuada conservación (Pavlogeorgatos, 2003). En la década de los noventa, la publicación de *The Museum Environment* (Thomson, 1998), como mencionado anteriormente, introdujo en la preservación preventiva de esa publicación, varias normativas que empiezan a ser generadas con el fin de lograr un parámetro adecuado para las exposiciones.

Padfield y Larsen (2002) afirman que estabilizar el clima interno es una combinación de varios factores, las construcciones deben poseer barreras de aislación en el techo para reducir del efecto de la radiación solar, las paredes deben poseer aislación en los muros para proteger de las lluvias, etc. Por otro lado, muchos estudios han indicado que los ocupantes tienen diferentes percepciones en la satisfacción térmica debido a las diferencias de comportamiento, a la adaptación a un determinado clima, entre otros. El efecto psicológico provocado por el entorno físico del edificio de museo también ha sido foco de estudios y se ha mostrado bastante significativo. Pavlogeorgatos en 2003, establece parámetros ambientales para museos. Según su clasificación los principales causadores de daños en las obras son: 1. Humedad, 2. Atmosfera/polución, 3. Ruidos y Vibración, 4. Temperatura, 5. Iluminación. Un monitoreo continuo de los parámetros climáticos (temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire, iluminación, concentración de contaminantes, etc.) es esencial para disponer de información detallada sobre la dinámica real del ambiente interior. Jeong and Lee (2006) afirman que elementos físicos del museo interfieren directamente en la satisfacción del usuario, donde el tamaño del edificio tiene efecto directo, reflejado por ejemplo, en el tiempo de permanencia en el edificio. En lo que dice relación con la adaptación térmica, se ha examinado que las personas que residen en las regiones cálidas y húmedas, tienen mayor tolerancia a las temperaturas altas que las que residen en la zona de regiones templadas (Lin, 2009).

La complejidad y el reconocimiento de los conflictos existentes en las condiciones ambientales en museos, se aclara en Gennusa *et. al* (2008) donde establece un *Índice de Simultaneidad (IS)*. A través de ese estudio, los curadores obtuvieron una herramienta. Se trata de un cuadro con un porcentaje de simultaneidad entre el tipo de material de la colección a exhibir en un mismo espacio, que a la vez, satisface el confort del usuario. Este estudio con la revisión de los parámetros climáticos de la Normativa Italiana para Museos hace una matriz de interacción entre distintos materiales. El

siguiente paso fue un análisis de las normas internacionales que establecen las condiciones térmicas para el confort del usuario, aquí se aplica el método de PMV de Fanger. Al final, se desarrolló un diagrama que contempla simultáneamente la temperatura y humedad logrando encontrar rangos de valores comunes para los requisitos de temperatura y humedad tanto para las obras, como para la satisfacción térmica del usuario. Esto permite a los curadores exponer obras de distintos materiales en el mismo espacio. Los resultados de esa investigación proveen importantes indicadores. El Índice de Simultaneidad establecido es probado en un edificio en Italia, éste aumentaba o disminuía dependiendo la velocidad del aire lo que queda demostrado en pruebas en invierno y verano. El estudio fue realizado para evaluar salas de exposición en Italia por lo que el índice podría ser aplicado en la evaluación de la geometría de museos, siendo este método lo elegido para evaluar las geometrías en esta tesis.

Por otra parte, el estándar italiano UNI 10829 (1999) instala la necesidad de un monitoreo a largo plazo y de un enfoque estadístico para la gestión de datos y análisis. La Norma italiana se basa en los resultados de estudios e investigaciones llevadas a cabo durante la década de 1990 en el campo de las técnicas y los métodos para controlar el microclima en el entorno del museo. El enfoque propuesto por la norma italiana ha sido recientemente adoptado por una norma europea (EN 15251, 2007). Uno de sus objetivos consiste en especificar los criterios de medición y seguimiento de los parámetros microclimáticos a fin de obtener una clasificación de calidad ambiental interior. También este enfoque podría ser extendido fácilmente al desempeño y evaluación de edificios de museos, aunque todavía no se ha dado. De acuerdo con las normas mencionadas anteriormente, un procedimiento operativo para evaluar la calidad termo-higrométrica en museos se presenta y se aplica en el trabajo de Rodrigues y Grossi (2006). Dicho procedimiento buscó definir un *Índice Sintético* introducido y evaluado sobre la base de mediano/ largo plazo, a fin de evaluar la calidad termo-higrométrica. El Índice Sintético se centra en los aspectos térmicos e higrométricos y se extiende a otros aspectos interiores tales como la calidad del aire interior y la iluminación, demostrando por tanto, que debe comprenderse el edificio como un ecosistema espacial.

Para que el museo ofrezca condiciones de confort a los usuarios o a las obras el edificio debe mantener constante su clima interior. Sin embargo, para lograr niveles de

temperatura y humedad controlados en climas de alta oscilación térmica, como es el caso del Clima Subtropical Húmedo, es frecuente la utilización de equipos de acondicionamiento de aire y por lo tanto un alto consumo energético. El uso del aire acondicionado representa la esperanza de poder liberarse de la responsabilidad de preservar sus colecciones. No obstante, al mismo tiempo en que este “sueño” se convierte en realidad puede también transformarse en una pesadilla, puesto que el mantenimiento de un equipo de aire acondicionado en un edificio que no considera las fluctuaciones de temperatura y humedad del clima resulta bastante caro.

En algunos lugares como en el clima subtropical húmedo de Brasil, la orientación y ubicación de la colección en el edificio puede simplificar enormemente los problemas de conservación, sin gastos suplementarios. Existe una gran cantidad de edificaciones que resguardan los bienes localizados en regiones cálidas y húmedas donde la humedad relativa llega a 80%. Particularmente en Brasil esos niveles ocurren en gran extensión del territorio (Lamberts *et al*, 1997 y Goulart *et al*, 1997). La utilización de sistemas de aire acondicionado empieza por lo tanto a diseminarse en esos sistemas que disponen de un control de humedad del tipo central. Se trata de un sistema eficiente y bien proyectado que propicia niveles de humedad relativa y de temperatura aceptables. Con todo, la configuración formal de los contenedores de bienes culturales correctamente analizados, puede ayudar a reducir costos energéticos con geometrías adecuadas al clima. La otra forma de reducción del consumo de energía es la compartimentación del acervo en ambientes menores aislados higrotérmicamente. Sin embargo, la compartimentación de salas no ha sido utilizada en la mayor parte de los museos construidos para ese fin en las dos últimas décadas.

Por lo tanto la compatibilidad ambiental implica la comprensión de la propuesta formal del edificio y sus implicaciones en el consumo energético, volumen y distribución, orientación, circulaciones, capacidad de muestras a exhibir potenciando la expresividad y variedad formal, la conservación de las obras de arte y la satisfacción térmica del usuario. A continuación, se presentan los diferentes niveles de temperatura y humedad que se deben tomar en cuenta en el control del clima interior en edificios que resguardan bienes culturales con sus límites de temperatura y humedad tanto para la colección en exhibición como para los usuarios-visitantes.

### 2.2.2 Conservación de las Obras de Arte

Las formas de degradación de las obras de arte son diversas pero casi todas están asociadas a los niveles de temperatura y humedad relativa en el ambiente. Las obras de arte están compuestas de materiales orgánicos, inorgánicos o de ambos tipos, el paso del tiempo hace que la materia se deteriore. Siendo esto siempre así.

La fluctuación de HR y la temperatura pueden provocar daños mecánicos a los artefactos debido a la expansión y contracción de los materiales. La baja humedad pueden endurecer materiales orgánicos haciéndolos más vulnerables a las fracturas, en efecto a mayor humedad se aumentan los riesgos de microbios (ASHRAE 2007). El manual de ASHRAE (2007) recomienda una humedad relativa inferior al 60% y la oscilación de temperatura entre 15 y 25 °C para museos generales. Bellia (2007) y Ascione (2009) han propuesto temperatura del aire interior de  $22 \pm 1$  °C y la humedad relativa de  $50 \pm 5\%$  para salas de exposición. Plenderleith y Werner (1974) informaron de que la temperatura ambiente debe ser pre-determinada para satisfacer el confort de los visitantes en los museos, por ejemplo los límites de 16-25 °C y la RH se podrían determinar por las colecciones. Thomson (1978) sugirió que los límites para RH deben variar entre 65% y 45%.

Con todo, en climas cálidos y húmedos se puede considerar que la principal causa de la degradación de los acervos es la biológica, vale decir ataques de insectos, bacterias y hongos. La proliferación de hongos es de las más comunes y difíciles de combatir puesto que presenta una rápida proliferación, requiere de procesos químicos o mecánicos para remoción y sus esporos habitualmente se propagan por el ambiente aumentando la probabilidad de proliferación. Según estudiosos del área de microbiología, se puede afirmar que el crecimiento de hongos comúnmente encontrados en museos y archivos, ocurre con mayor intensidad en una humedad relativa superior a 65%.

Identificar la sensibilidad de las colecciones y entender su importancia es vital para la elaboración de una estrategia de gestión ambiental. Entender el comportamiento intrínseco del edificio, en el sentido de dar protección al contenido contra los efectos perjudiciales del medio ambiente, es esencial para la identificación de las posibles

modificaciones o medidas operacionales que podrán mejorar tal comportamiento y por consiguiente, lograr un ahorro energético.

Frente a contribuciones encontradas actualmente el estándar italiano UNI 10829 (1999) ha sido adoptado por una norma europea (EN 15251, 2007). Uno de los objetivos consiste en especificar los criterios de medición y seguimiento de los parámetros microclimáticos a fin de obtener una clasificación de calidad ambiental interior. También hubo contribuciones de Stefan Michalski investigador de *Canadian Conservation Institute* (CCI), quien estuvo directamente ligado a la formulación del manual sobre uso de sistemas de aire acondicionado en Museos, Bibliotecas y Archivos de *ASHRAE Handbook HVAC Applications* (Park, 1999).

La Norma UNI 10829, 2001 se refiere a valores son recomendables para varios grupos de obras de arte y materiales distintos, y se refieren a adecuada conservación de las obras de arte para evitar los daños microbiológicos, con pequeñas variaciones. Sin embargo, en la misma exposición puede haber diferentes tipos de materiales, por ejemplo una foto blanco y negro y documentos, que como libros necesitan respectivamente 15°C y 19 °C. Por lo mismo muchos valores que no son correspondientes entre sí, deben ser exhaustivamente estudiados, incluso antes de compáralos con los valores que se refieren a la comodidad de los visitantes. Ver Tabla 2, a continuación:

Tabla 2. Valores de requerimientos para las obras de arte, UNI 10829, mayo de 2001.

El material de las obras de arte:	$\theta_0$ (°C)	$\Delta m_{\text{máx}}$ (°C)	$\mu$ (%)	$\Delta \mu_{\text{máx}}$ (%)
<b>Los materiales orgánicos</b>				
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, materiales de fibras naturales, sisal, yute	19-24		30-50	
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	
<b>Los materiales inorgánicos</b>				
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, rezar (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, estaño, hierro, acero, plomo, estaño	N.S.	—	<50	—
Los metales con los sitios activos de la corrosión	N.S.	—	<55	—
Oro	N.S.	—	<40	—
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	—
<b>Varios objetos</b>				
Los murales, frescos, sino pite (independiente)	10-24	—	55-65	—
Murales en seco (independiente)	6-25	—	45-60	—
	10-24	—	50-45	—
Marfiles, cuernos, colecciones malacológica, 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	—
<i>N.S. no significativa.</i>				

La elección del rango de control pasa por el tipo de la materialidad del objeto a exponer pero también por la disponibilidad técnica y financiera de la institución. Con los parámetros presentados para las obras de arte se puede verificar la prioridad en el control de temperatura y humedad. Las temperaturas más bajas reducen la degradación química de los objetos, lo cual es deseable. Sin embargo, cuanto mayor es la diferencia de temperatura interna y externa, mayor es el consumo de energía del edificio. En la Tabla 3 a continuación, Agostino (2005) establece una relación entre las causas de deterioración provocadas por los principales agentes de degradación, vale decir, la humedad relativa y la temperatura.

Tabla 3. Principales Agentes de Degradación, según Agostino (2005).

Agente de degradación		Deterioro	Causas
Humedad Relativa	Valores muy altos o muy bajos	-Mohos -Corrosión(valores elevados) -Disminución de la capacidad de resistencia(valores bajos)	-Variaciones del tiempo/ clima - Humedad/ Condensación - Humedad/ Infiltración -Ventilación Insuficiente Humedad ascensional - Limpieza
	Variaciones Rápidas	-Fracturas -Doblas -Deformaciones	
Temperatura	Valores muy altos o muy bajos	-Aumento del deterioro -Disminución de la capacidad de resistencia	- Calentamiento Inadecuado -Variaciones del tiempo/ clima -Iluminación -Aislación del edificio insuficiente
	Variaciones Rápidas	-Fracturas -Doblas -Deformaciones	-Control de temperatura insuficiente

De acuerdo con la Tabla 3, arriba presentada, se puede concluir que:

-Las altas temperaturas son perjudiciales para los objetos porque potencian las reacciones químicas;

- La variación de la temperatura del aire por largo tiempo causa estrés térmico en los objetos, este a su vez provoca dilataciones y contracciones en los materiales que lo

constituyen. Cuando los objetos de arte son constituidos de diferentes materiales, el problema se agrava aún más.

- La Humedad relativa tiene fuerte influencia en las dimensiones y formas del objeto. En el caso de materiales orgánicos, existe la capacidad de absorber agua lo que causa dilatación y deformación. La variación de su densidad también puede causar fisuras y partición de las fibras.

- La corrosión de los metales, la descoloración de textiles y la debilidad de las fibras, son reacciones químicas potenciadas por valores elevados de humedad relativa (< 45%)

- Los valores de humedad relativa arriba del 65% combinada con temperaturas mayores a 20 ° C aumentan el riesgo de formación de mohos y acelera el ciclo vital de insectos.

Respecto a los parámetros higrotérmicos ideales para los espacios de exhibición que serán parte del análisis de este estudio, se debe mencionar que fueron desarrollados a partir de investigaciones realizadas con papel y películas fotográficas por ser más sensible a las variaciones climáticas. Esto se resume en los siguientes parámetros para la conservación de las obras de arte:

- Humedad Relativa recomendada 50% con variación de 5%;
- Temperatura recomendado 20°C con variación de 2°C;
- Promover la circulación de aire;
- Evitar fluctuaciones de Temperatura y de Humedad Relativa;

Estos valores estar fijados para la conservación de las obras de arte, no necesariamente para el confort del usuario, lo que no necesariamente para el confort del usuario, lo que se puede decir incompatibilidad ambiental.

### 2.2.2 Confort Térmico.

Los estudios de confort térmico tienen el objetivo de analizar y evaluar las condiciones requeridas para las actividades humanas en un diseño ambientalmente adecuado. Sus principios, según Lamberts *et al* (1997) se basan en tres aspectos:

- Satisfacción: el bienestar del hombre en sentirse cómodo térmicamente;
- Rendimiento humano: a pesar que resultados de numerosas investigaciones no son concluyentes en este sentido, estudios demuestran una clara tendencia a que las molestias causadas por el calor o el frío reducen el rendimiento humano. Actividades intelectuales, manuales y perceptivas como en el caso de los museos, a menudo presentan un mejor rendimiento cuando se realizan con confort térmico.
- Conservación de la energía: debido a la creciente mecanización y la industrialización de la sociedad, las personas pasan gran parte de su vida en ambientes con climas artificiales y entornos acondicionados. Por tanto, el conocerlas condiciones y parámetros óptimos del confort térmico de los ocupantes puede evitar el desperdicio de calefacción y refrigeración.

El confort térmico es definido por la ASHRAE 55 y UNE-EN ISO 7730 como el “estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Se señala que este es alcanzado cuando el cuerpo está en balance térmico, es decir, cuando realizando cierta actividad, no se experimenta un estrés térmico para corregir la energía que produce el cuerpo internamente manifestado a través de la transpiración excesiva o escalofríos. Este estado se indica dentro de una zona de confort representada en un gráfico psicométrico (Figura 25), en donde se señalan las condiciones higrotérmicas en las cuales la mayoría de las personas se encuentran a gusto. Los parámetros que pueden ser observados en la Figura 25 van desde 18 °C y se extienden hasta 28°C. La humedad se extiende entre 20 y 80%.

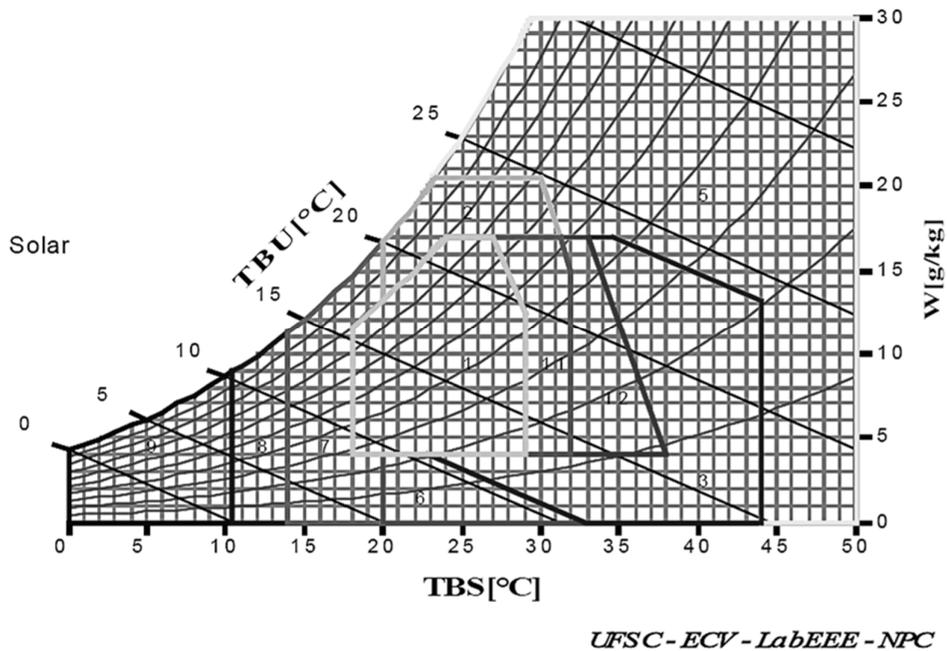


Figura 25. Gráfico Psicrométrico

Con el gráfico psicrométrico que se expuso, es posible establecer algunas en conjunto con los datos climáticos del lugar algunas condiciones de diseño para el edificio combinando así, las condiciones climáticas y el edificio para una menor dependencia de sistemas artificiales para lograr el confort térmico. El confort térmico en el ambiente construido es un problema del que se deben encargar a arquitectos y técnicos. Éste ha sido tratado ampliamente y estudiado en la literatura científica. Se presta especial atención a los ambientes controlados ambientalmente y a los ambientes que utilizan sistemas naturales o mecánicos de ventilación (Rizzo *et al.*, 2004). Sin embargo, al ser un estado subjetivo, cambia de persona a persona por razones tanto psicológicas como fisiológicas, lo que ha dado origen a dos distintos enfoques de análisis.

### 2.2.2.1 Enfoque Racional

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 numeroso grupo de personas para 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 así 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).

Fanger (1970), estudió el comportamiento del cuerpo sano, adulto y sedentario al estar en estado de confort relacionándolo finalmente con la temperatura superficial de la piel. Según su estudio, para conseguir este estado hay tres variables principales que deben permitir que el calor emitido por el cuerpo sea igual a la producción interna del mismo. Su hipótesis consiste en que el valor de la temperatura de confort térmico puede definirse en términos del estado físico de las personas y no en términos de las condiciones del ambiente térmico.

La importancia del aporte de Fanger no se limitó a establecer un procedimiento de balance térmico cuyo resultado arroja una magnitud, sino un valor capaz de predecir lo que las personas sentirían ante tal o cual ambiente térmico. Para eso, Fanger retoma la experiencia De Bedford (1936) donde establece una escala de siete puntos que aplica a sujetos que deben elegir el nivel que más se acerca a su sensación del ambiente térmico. A tales respuestas Fanger las llamó "votos" y consideró al confort térmico como el conjunto de las condiciones donde las personas eligen las tres categorías centrales de la escala y no solo la neutral. Es decir que pueden estar entre lo "ligeramente fresco" y lo "ligeramente caluroso" con lo que trata de absorber los posibles desajustes entre la realidad objetiva y la opinión subjetiva de las personas. Para cuantificar, Fanger establece un índice de valoración medio denominado "Voto Medio

Estimado” (PMV) el cual representa el promedio de los votos emitidos por un grupo de personas sobre su sensación térmica valorada según una escala realizada con estos 7 niveles:

- 3 muy frío
- 2 frío
- 1 ligeramente frío
- 0 neutro (comfortable)
- + 1 ligeramente caluroso
- +2 caluroso
- + 3 muy caluroso

La escala varía desde el nivel -3 (frío) a +3 (calor) se puede relacionar este valor con el Porcentaje Previsto de personas Insatisfechas (PPI o PPD), teniendo como valor mínimo un 5%.

El valor de PMV para el confort térmico global (ISO 7730, 2005 Y ANSI/ASHRAE 55, 2004) en ambientes térmicamente moderados, como en el caso de museo es de:  $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$ . Esto quiere decir que, modificando todos los parámetros ambientales para conseguir que el valor del PMV sea 0 o neutro, como máximo se puede obtener un 95% de satisfacción en las personas con esas condiciones. Como dicho estado mental es relativo a cada persona, debido a diferencias psicológicas y fisiológicas, Fanger realizó entrevistas de evaluación subjetiva de aceptabilidad térmica las cuales también se incorporaron a la Norma ISO 10551/95.

No obstante, los votos individuales presentan una dispersión alrededor de dicho valor medio y es de gran utilidad prever el porcentaje de personas que van a estar incómodas por frío o por calor. Esta previsión la conseguimos mediante el índice PPD basándonos una vez más es la escala de sensación térmica. Tal como señala la gráfica establecida por Fanger a continuación:

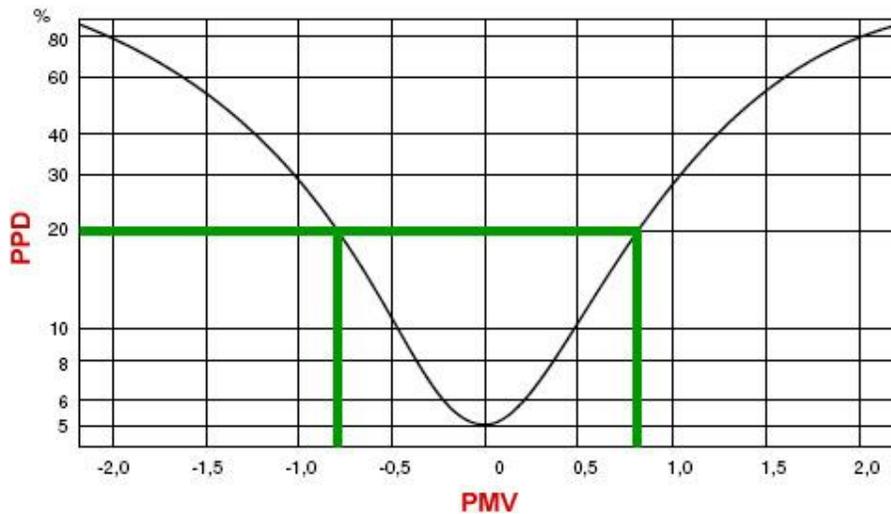


Figura 26. Gráfica PMV-PPD. Fanger (1970)

Fuente: [http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=417&Itemid=234](http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=417&Itemid=234)

Para un porcentaje dado de insatisfechos del 20% habrá que añadir también si dicha insatisfacción o malestar es debida a la sensación de frío o de calor, correspondiéndose entonces con un valor de PMV del  $-0,84$  o del  $+0,84$  respectivamente.

El método impera sobre todo en las ciencias físicas y biológicas donde se inserta la bioclimatología cuyo propósito, como ciencia multidisciplinaria, es el estudio entre la relación de las condiciones climáticas y el desempeño de los seres vivos (Auliciems, 1997). En esta ciencia, los bioclimatólogos han desarrollado aspectos de sensación térmica humana a través de modelos matemáticos que buscan establecer estándares de condiciones de clima confortables para el ser humano. Cabe mencionar que debido a la variación biológica entre las personas, es imposible que todos los ocupantes de un mismo entorno puedan sentirse cómodos, por lo que se busca crear condiciones confortables para el grupo, es decir, establecer condiciones para que el mayor porcentaje del grupo esté en el confort térmico. Entonces, el ambiente es considerado aceptable cuando la mayoría de las personas están satisfechas.

### 2.2.2.2 Enfoque Adaptativo

Los modelos de adaptación para el confort térmico encuentran sus raíces en el índice de Bedford (1936) quien introdujo el empleo de estudios de campo para investigar la relación entre el ambiente físico y los sentimientos personales de confort en un ambiente de trabajo. Esta línea de investigación no fue seguida en muchos años dado el rápido desarrollo que tuvieron los modelos de aproximación racional. Los trabajos iniciales de Humphreys (1978) establecieron varios conceptos importantes que han permitido el desarrollo posterior de los modelos de adaptación. El primero es el concepto de temperatura de neutralidad, asumida primeramente como temperatura de confort, la cual se obtiene desde un análisis de regresión lineal que correlaciona las respuestas dadas por personas en un estudio de campo (subjetivos) y los valores de los parámetros climáticos medidos con instrumentos (objetivos). El segundo es la dependencia encontrada entre la temperatura media exterior y el confort interior. Esta relación es más evidente en edificios ventilados naturalmente.

Por eso, los modelos adaptativos son también conocidos como neutralidad térmica y se diferencian de los modelos de aproximación racional fundamentalmente, por el hecho que no tienen base termofisiológica sustentada en resultados experimentales de laboratorio. Por el contrario, el modelo de adaptación se basa en resultados de estudios realizados en campo bajo una amplia gama de condiciones climáticas.

Humphreys y Nicol (1998) contrario a los estándares cuantitativos, establecen que los individuos no son receptores pasivos de estímulos sensoriales sino que son participantes activos en el establecimiento. La temperatura de confort es un resultado de la interacción entre los sujetos y su ambiente térmico. Por lo tanto será menos probable que sufran incomodidad aquellos con más oportunidades de adaptarse al ambiente o de adaptarlo a sus requerimientos (Foutain, Brager y De Dear, 1996; Humphreys y Nicol, 2001; Brager y De Dear, 2004). En ese sentido los estudios de campo sobre el confort térmico basados en el principio adaptativo se orientan hacia el desarrollo de estándares locales de confort para el diseño y construcción de edificaciones por climas y culturas, para diferentes condiciones de climatización (enfriamiento o calentamiento mecánico o ventilación natural).

Asimismo, Humphreys y Nicol (2002), afirman que mostrar solo las inconsistencias existentes en el método PMV no sería correcto por lo que proponen una mejoría a partir del modelo estadístico. Sin embargo, reconocen la importancia del método y la conclusión de que sería conveniente revisar los factores psicofísicos y fisiológicos de la construcción de la PMV en vez de crear los ajustes estadísticos. La relevancia de la metodología empleada para evaluar los índices PMV y PPD en la norma ISO 7730 (ISO 2005) debe ser reconocida ya que da cuenta de una gran cantidad de trabajos coordinados por investigadores respetados en el medio para la evaluación del confort térmico interior.

El análisis o percepción subjetiva del ambiente térmico comúnmente se realiza a través de una encuesta de aceptabilidad relacionada con la escala de sensación térmica de los 7 puntos de Fanger, donde el resultado arroja el porcentaje Voto Medio (MV) y el Porcentaje de Insatisfechos (PPD), además permite correlacionar estos resultados con los correspondientes a la percepción objetiva de neutralidad térmica. Diversos estudios (Van Hoof & Hensen, 2007) han demostrado que al tomar en cuenta ambos enfoques y no limitar el estudio solo a lo que hacen referencia las normas, trae numerosas ventajas en estudios de campo para analizar la aceptabilidad real de los usuarios, lo que no necesariamente se logra en las temperaturas indicadas por las normas. Las normas usadas actualmente pretenden ser aplicables a cualquier tipo de edificio, cualquier tipo de ventilación, patrón de ocupación y zona climática.

Cuando los arquitectos e ingenieros de la construcción hablan del modelo de adaptación de confort térmico, por lo general se refieren a un gráfico que relaciona la temperatura exterior predominante y a la temperatura requerida para el confort interior. Esta relación tiene importancia práctica ya que muestra lo que probablemente sea aceptable en un edificio en un clima de temperatura particular. Además resulta especialmente útil cuando se aplica en un edificio que está operando sin calentamiento o enfriamiento (Humphreys *et al.* 2013).

### 2.2.3 Breve conclusión respecto a los desafíos ambientales en museos

El edificio juega un importante rol en la definición de las condiciones higrotérmicas interiores que pueden ser ajustables tanto al confort humano o a la conservación de los objetos expuestos. Para los responsables por la conservación, el museólogo, en lo que respecta a un edificio de museo lo más importante es ajustar las condiciones climáticas a los objetos de arte por cuestiones de conservación/preservación.

Cabe destacar que ese control es mayoritariamente realizado a través de métodos activos (sistemas mecánicos) en desmedro de los métodos pasivos (por el propio edificio) lo que es poco comprensible en edificios antiguos no construidos para este fin. A continuación se presenta una Tabla Síntesis de los principales autores que establecieron condiciones para los museos. Esto, apunta a una estrecha relación del problema de la incompatibilidad ambiental con el edificio y su comportamiento térmico ambiental, justificando comprender el edificio como un ecosistema espacial.

Tabla 4. Tabla Síntesis Condiciones Higrotérmica en Museos. Elaboración de la autora.

Año	Autor	País	Enfoque
1994	Thomson	UK	Parámetros higrotérmicos
1999	UNI 10829	IT	Parámetros higrotérmicos
2003	Pavrogeorgatos	IT	Parámetros higrotérmicos
2004	ASHRAE	UK	Parámetros higrotérmicos
2006	Grossi	PT	Índice sintético
2007	Gennusa	IT	Índice de simultaneidad-IS
2010	Padfield	FI	Edificio

También, respecto los aspectos mencionados anteriormente sobre los dos enfoques de evaluación del confort térmico, se considera importante la evaluación de la satisfacción térmica de los usuarios visitantes en los museos a partir del enfoque racional, visto que los parámetros higrotérmicos que rigen los museos se refieren a los de conservación de las obras de arte y están generalmente controlados por aire acondicionado. Entonces lo que se considera adecuado es el método de Fanger. En conclusión, el método racional de Fanger puede ser aplicado en ambientes de museos que funcionan con acondicionadores de aire para un ambiente controlado para conservación de las obras. A partir del registro higrotérmico del ambiente es posible evaluar la satisfacción del visitante por el método PMV y con ello verificar si este ambiente es térmicamente aceptable para los visitantes. Sabiendo que los edificios de

museos priorizan la conservación, surge la siguiente interrogante para el clima subtropical húmedo: ¿El ambiente de museo es térmicamente aceptable para sus visitantes?

### 2.3 Principios de la arquitectura bioclimática

En este apartado se describen las principales relaciones de la arquitectura y el clima. El objetivo es apuntar como la geometría del edificio se puede relacionar con el clima y así, reducir los costos de energía eléctrica para calefaccionar o enfriar el ambiente para establecer condiciones higrotérmicas adecuadas. La Bioclimatología es la ciencia que estudia la climatología aplicada a los seres vivos. Por lo tanto la Arquitectura Bioclimática es la que utiliza la tecnología para complementar la correcta aplicación de los elementos arquitectónicos. Esto con la intención de proveer al ambiente construido un mayor grado de confort higrotérmico para sus ocupantes utilizando un menor consumo energético (Lamberts *et al*, 1997).

Ahora según Olgyay (1998), el proceso de concepción de una edificación que toma en cuenta los factores del clima sigue cuatro pasos: el estudio de las variables climáticas(características anuales de temperatura, humedad relativa, radiación y vientos), el efecto del clima en el ser humano(sensaciones humanas trasladadas al gráfico bioclimático), las soluciones tecnológicas (localización, orientación, sombras, forma, movimientos de aire y equilibrio de la temperatura interior) y la expresión arquitectónica.

El clima es el agente de primer orden en el momento de diseño porque abarca factores tales como forma, orientación, confort del usuario, conservación de objetos, iluminación interior, integración con el medio, materiales y localización. La construcción dependerá de la rigurosidad del clima y sus exigencias. El edificio por lo tanto, se considera como mecanismo de control térmico y ambiental donde el usuario se siente protegido, seguro y bajo efectos psicológicos y físicos aceptables.

El consumo energético de un edificio varía ostensiblemente dependiendo del clima de la localidad, de su diseño, de la calidad de los procesos constructivos utilizados, del uso, la gestión energética, los sistemas de control, etc. Además, los edificios constantemente están expuestos a múltiples y variadas influencias físicas que afectan de manera determinante el consumo energético. Según Müller (2013) optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida en un edificio y los servicios o funciones que en él se desarrollan, obliga a observar los siguientes sistemas concomitantes: el sistema edificio, definido por su diseño y construcción; el sistema

climatización, definido por las variables climáticas del lugar donde se emplaza el edificio; el sistema instalaciones, definido por las características de los equipos consumidores de energía y el sistema usuario determinado por las prácticas de uso, expectativas de confort térmico y calidad medioambiental. Según estos criterios, es de vital importancia entender al objeto arquitectónico como un modificador del sistema natural que es a su vez, modificado por las características del medio ambiente en el que se inserta.

La relación entre los edificios con aire acondicionado o calefacción y la temperatura media exterior, es más compleja debido a que la temperatura interior es definida por los usuarios en base a sus gustos o expectativas y no necesariamente es similar a la temperatura media exterior. Esta temperatura seleccionada por los usuarios suelen modificarse en diferentes lapsos de tiempo en base a las referencias de confort del aire acondicionado. Esto puede constituir una desventaja ya que pueden existir diferentes preferencias térmicas y consecuentemente no todos los usuarios experimentan la sensación térmica de confort. Es menester tener en cuenta que en el caso de un museo modificaciones de temperatura y humedad pueden ser fatales para las colecciones. El edificio como contenedor es responsable en la estabilización y/o disminución de dichas acciones.

La incorporación de los principios bioclimáticos en el proceso de diseño permite la implementación de sistemas pasivos con el propósito de explorar las posibilidades que estos sistemas ofrecen. Los sistemas de Enfriamiento pasivo, según Givoni (1994), consisten en aplicar técnicas simples para la disminución de la temperatura interna a través del uso de fuentes de energía natural.

En Brasil, casi 50% de la energía consumida en los edificios públicos es consumida en aire acondicionado, lo restante es consumo de iluminación y equipamientos. Dado que este consumo tiene un fuerte impacto, la utilización de estrategias de la arquitectura bioclimática es una alternativa. Según Eletrobrás (1999), las medidas de reducción del consumo de energía en edificios existentes podrían reducir 30%. Incluso en edificios que consideran la eficiencia energética en su diseño la economía puede llegar a 50%. La reducción del consumo de energía pasa principalmente por minimizar el consumo de energía para acondicionamientos de aire. Según Givoni

(1994) una vez que el proyecto arquitectónico puede minimizar la temperatura media total de temperatura diurna por la radiación solar directa o indirecta.

### 2.3.1 Edificio y Comportamiento Térmico Ambiental

Actualmente, el logro de un adecuado nivel de confort en los edificios se suele confiar principalmente a los sistemas convencionales de climatización, en menor medida a los sistemas y soluciones pasivas y por último con mucha menos importancia se confía en influencia de la forma arquitectónica. Esta depende mucho de la estrategia elegida en la definición del edificio.

Para Lamberts, Dutra y Pereira (1997) las variables que determinan el nivel de eficiencia energética del edificio son la forma, la función, los cerramientos opacos y transparentes (aperturas); por otro lado el sistema de iluminación artificial, el sistema de climatización y la cantidad de carga térmica que la edificación recibe a lo largo del día. Las variables arquitectónicas como la orientación, forma, función y tipos de cerramientos interactúan simultáneamente con el ambiente y el hombre. Estos ejercen un efecto directo sobre la demanda de climatización y por consiguiente, sobre el consumo final de energía (Lamberts, Dutra y Pereira, 2004).

Bajo estos principios la metodología que se sugiere debe llevar un diseño con pretensiones de ser eficiente energéticamente, deberá seguir la siguiente lógica:

1) Un estudio climático con análisis de todas las variables higrotérmicas predominantes. Vale decir un estudio que incluya la temperatura, humedad, radiación solar, velocidad y dirección de los vientos, de forma que desde el primer momento se disponga a priorizar información acerca de cuáles podrían ser las variables de las que habrá que protegerse y de cuales posean un potencial de aprovechamiento energético.

2) Del análisis conjunto de estos datos y de las condicionantes debe surgir la primera idea de cómo adecuar programa, forma y lugar.

3) A partir de aquí las estrategias de reducción de la demanda se consiguen con medidas pasivas y soluciones bioclimáticas puntuales que han de incorporarse de manera natural al diseño de edificio.

4) El siguiente paso ha de ser buscar la máxima eficiencia a través de las medidas activas de ventilación y de los sistemas de climatización. De esta forma queda garantizado el minimizar el consumo energético del edificio.

e) Finalmente, luego de diseñado un volumen con muy poca demanda energética para su funcionamiento, se analizan cuidadosamente las fuentes de energía necesarias provenientes de fuentes renovables, minimizando así las energías fósiles con criterios de máxima eficiencia.

Bohigas *in* Arquitectura y Energía Natural (1995) considera:

La arquitectura especialmente en los últimos años se ha ampliado considerablemente gracias al concepto de confortabilidad, asimismo se ha exigido mayor atención a las cuantificaciones energéticas. Por lo tanto, la lógica de la forma de la arquitectura viene dada por parámetros objetivos del ambiente los cuales entran a formar parte de las propuestas para un nuevo orden arquitectónico. (p.6)

Desde los principios de la preocupación con la sostenibilidad en la arquitectura, la relación de las condiciones formales de los edificios ha sido demostrada la gran influencia de la geometría del edificio porque representa ser un elemento de potencial para minimizar en el consumo energético (Alvarado y Gonzalez, 2014).

La mayor parte de los criterios son compartidos por la mayoría de los investigadores de la Arquitectura Bioclimática, aunque no dejan de ser innumerables y no siempre congruentes entre ellos. A pesar que hayan estudios posteriores a Serra y Coch (1995) respecto al edificio, su forma y su repercusión térmico ambiental, (Ruano, 2008; Sassi, 2006, Herde, 2004), se utiliza en esta investigación la referencia de Serra y Coch (1995), por tratar de la evaluación de la geometría de modo más completo hasta la fecha y es método posible de cuantificar ciertas características. Estos establecen una metodología de análisis de las cualidades ambientales del edificio sobre el clima. Esta metodología prevé una aproximación a diferentes consideraciones para solucionar el problema del confort térmico de las personas, a la vez, sugiere la utilización de ese instrumento básico teórico para la concepción de una arquitectura que plantea técnicas de control ambiental a partir de diagramas morfológicos. La metodología presentada ofrece un conjunto de análisis específicos sobre la morfología del edificio de manera

clara y objetiva, además es bastante congruente con los análisis de la mayoría de la bibliografía.

En el ambiente natural que cada lugar posee se expresan diferentes manifestaciones energéticas típicas que se pueden resumir en lo que se llaman preexistencias ambientales de este lugar. Estas características son básicamente climáticas, pero también pueden ser de otros tipos, como sociales, culturales, económicas, etc. Entre los aspectos del proyecto se destacan: forma, compacidad, esbeltez, porosidad, aportaciones pasivas y elementos de protección fijos.

### **2.3.2 Aspectos Previos a Considerar**

Cuando un edificio está diseñado de acuerdo con el clima, consume menos energía ya que, el edificio se aprovecha del clima donde está insertado para mantener una temperatura interior, más cercana al confort. Para concebir un diseño ambientalmente adecuado, es importante que el arquitecto trate las acciones microclimáticas como una herramienta de decisión de proyecto. En lo que se refiere al comportamiento higrotérmico, es necesario un análisis desde los diferentes aspectos, por lo que Serra y Coch (1995) apuntan:

- Aspectos topográficos;
- Aspectos de orientación;
- Aspectos de relación con el agua;
- Aspectos de relación con la vegetación;
- Aspectos de Corrección del entorno

#### **a) Topografía**

Cuanto a topografía Serra y Coch (1995), afirman:

Los aspectos topográficos que pueden influir en la elección o evaluación de la ubicación son: la altura relativa, la pendiente de terreno y su orientación.

En general, en periodos sin viento las situaciones más deprimidas son más frías y húmedas puesto que acumulan más frío, además en virtud de la contaminación atmosférica se producen nieblas. La presencia de niebla no permite el acceso de la radiación solar, esto a la vez impide que se caliente el aire que está en contacto con el terreno.(p. 226)

Respecto a la orientación y la consideración de las direcciones en los proyectos, es menester anticipar que se tratarán más adelante más en virtud de qué tipo de pendiente tiene una fuerte relación con la orientación, se hace necesario tratarlo ya en los primeros planteamientos y análisis de la ubicación de un caso determinado. En este caso de edificios de museo insertados en tramas urbanas consolidadas, estos aspectos deben ser considerados en su ubicación.

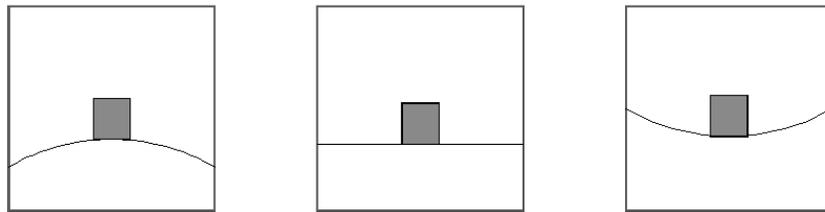


Figura 27. Aspectos topográficos: altura relativa.  
Fuente: Serra y Coch, 1995 p. 226. Adaptado por la autora.

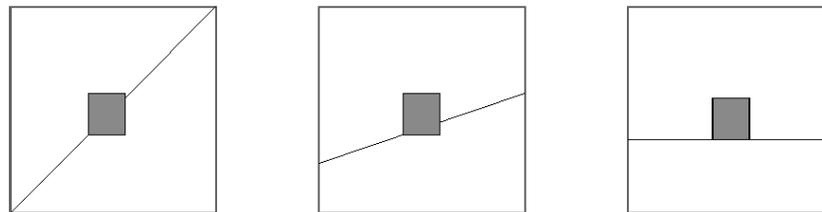


Figura 28. Orientación y pendiente.  
Fuente: Serra y Coch, 1995p. 228. Adaptado por la autora.

Ahora, la repercusión térmica ambiental resulta muy importante. Por lo tanto, en general, las vertientes hacia el Norte son siempre más aconsejables. En lo que se refiere a los climas de todos los tipos, en general, en el hemisferio Sur se prefiere, en principio, vertientes a Norte.

**b) Orientación**

En el clima subtropical, según Serra y Coch (1995), generalmente la zona de posible ubicación en las vertientes es más amplia siempre que se busque la protección

de los vientos fríos y la captación de brisas. La orientación favorable abarca toda la zona del Norte al Noreste. Serra y Coch (1995) consideran:

Como consideración general podemos decir que las formas lineales tienen un comportamiento térmico mejor durante todo el año si se alargan en dirección Este-Oeste. Esto en virtud de que tienen más posibilidades de captar radiación en invierno con la gran superficie de exposición que representa la fachada a Norte. En cambio, en verano captarán poco a causa de que las fachadas Este y Oeste son más reducidas. (p.284)

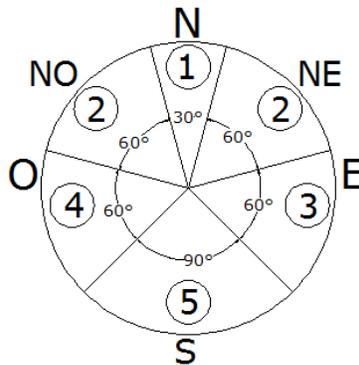


Figura 29. Orientaciones según orden de preferencia.  
Fuente: Serra y Coch, 1995-227. Adaptado por la autora.

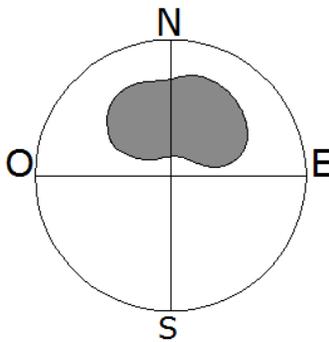


Figura 30. Orientación Preferida.  
Fuente: Serra y Coch, 1995p. 230. Adaptado por la autora.

### b) Relación con el agua

Serra y Coch (1995), consideran:

La repercusión térmica ambiental para el clima subtropical húmedo es muy importante a causa del carácter de regulador térmico que tienen las grandes cantidades de agua. En el borde del mar repercute la inercia del agua mayor que en la tierra, por eso las temperaturas son más estables. Esto tiene un

efecto decreciente a medida que nos alejamos de la costa, pero su influencia se deja sentir hasta gran distancia del mar. (p. 231)

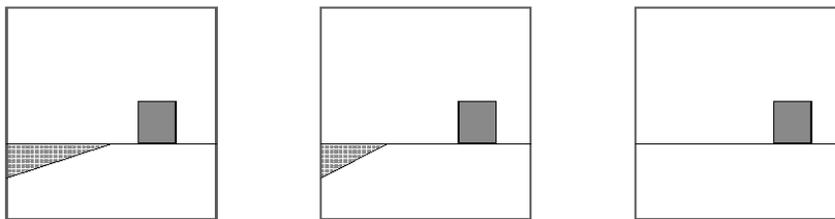


Figura 31. Aspectos en relación con el agua.  
Fuente: Serra y Coch, 1995, p. 231. Adaptado por la autora.

#### d) Relación con la Vegetación

La repercusión térmico-ambiental es consecuencia directa de la barrera al asoleamiento que la vegetación produce antes de que llegue a tierra y la que representa también respecto de la radiación de la tierra hacia el cielo. Esto, unido al efecto de barrera al viento hace que las temperaturas dentro de un bosque sean más estables y ligeramente más bajas, así como también que el ambiente sea mucho más húmedo.

En los casos de grandes masas de árboles existen brisas por la mañana y la noche similares a las del borde del mar. Por otra parte, la presencia de arbolado de hoja caduca hace que la radiación en invierno penetre con mayor facilidad en el bosque y que sus acciones no sean tan marcadas, ideal para el clima subtropical húmedo, con estaciones bien marcadas.

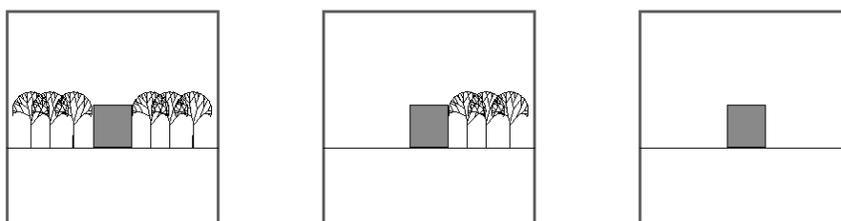


Figura 32. Aspectos en relación a la vegetación.  
Fuente: Serra y Coch, 1995, p. 232. Adaptado por la autora.

#### e) Corrección del Entorno

Serra y Coch (1995, p. 281) consideran dos acciones posibles, la creación o la supresión de elementos del entorno, es decir, creación o supresión de barreras, adición o supresión de superficies de agua, plantación o supresión de vegetación. La

repercusión térmico ambiental en este caso, además de la posible obstrucción solar, es importante para la acción sobre el viento. La presencia de agua alrededor de un edificio puede incrementar notablemente el grado de humedad del ambiente. De esta forma, si el aire es seco se enfriará por la acción evaporativa. Considerando que para el clima subtropical húmedo, de humedad constante, la supresión de masas de agua puede contribuir para las condiciones higrotérmicas interiores, la plantación de árboles puede hacer cambiar positivamente el microclima si se combina con la elección adecuada de especies de hoja perenne o caduca.

### 2.3.3 Forma General del Edificio

Ahora bien estos aspectos tienen sus condicionantes del entorno del edificio, algunos aspectos de adecuación del edificio con el clima, también tiene un fuerte impacto ambiental.

Lo fundamental en este estudio y que tiene gran impacto en la conformación de los edificios de museo revientan sobre la forma general del edificio, lo que Serra y Coch definen como las principales características de la forma arquitectónica son: **la compacidad, la porosidad y la esbeltez**. (Serra y Coch, 1995, p.240). Refiere ello, tanto al tratamiento de sus volúmenes, como a sus proporciones y al aspecto exterior de estos volúmenes. Aunque, para la comprensión de la forma general de un edificio se compone del conjunto de las características geométricas y volumétricas que puede tener y que lo definen. Para otro tipo de análisis es necesario observar las definiciones de piel del edificio conforme Anexo B.

#### a) Compacidad

Serra y Coch (1995), argumentan:

El concepto de compacidad establece una relación entre la superficie que rodea al edificio y su volumen, o sea que se refiere al grado de concentración de las masas que lo componen. La repercusión en el comportamiento térmico del edificio es inversamente proporcional, es decir, a mayor compacidad menor es el contacto con las condiciones exteriores. Por un lado ello significa menores posibilidades de captación de radiación y por otro, menor

posibilidad de pérdida de energía. En los edificios más compactos hay también pocas posibilidades de ventilación, también aparecen espacios centrales alejados del perímetro con los inconvenientes y ventajas que esto supone. Son edificios adecuados en zonas de climas extremados (muy cálidas, frías o ventosas) ya que el contacto con las condiciones exteriores es mínimo. (p.241)

Esto es altamente aclarador para evaluar la forma, por lo que complementan:

Con el factor de forma<sup>12</sup> no ocurre lo mismo porque el resultado que da  $f = S_g / V_t$  (una superficie dividida por un volumen) es dimensional, expresado en m. 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. (p. 241)

En cambio, el coeficiente de compacidad (Ver Anexo C) es adimensional y está definido de forma que a la máxima compacidad, que es la de la esfera, le corresponde un coeficiente también máximo (igual a 1). En este caso, edificios con la misma forma tendrán idéntico coeficiente de compacidad, aunque su volumen sea distinto.

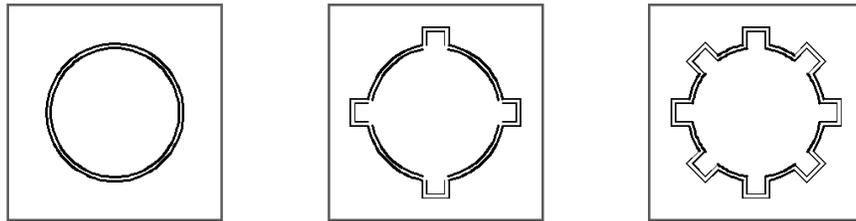


Figura 33. Grado de compacidad de un edificio.  
Fuente Serra y Coch, 1995, p. 240. Adaptado por la autora.

En ese sentido, un alto grado de compacidad es inapropiado para el clima subtropical húmedo. También Serra y Coch (1995), consideran respecto a la forma:

Las formas centrales y en estrella tienen un comportamiento térmico muy irregular y ofrecen pocas posibilidades de corrección por el efecto de la orientación. Finalmente, las formas en retícula o agregadas tendrán mejores posibilidades de tener un buen funcionamiento si predominan los ejes en dirección Este-Oeste. (p. 284)

<sup>12</sup> Factor Forma, es una relación de superficie por volumen, considerada para evaluación de la geometría y su repercusión térmico ambiental en grande parte de bibliografía.

## b) Porosidad

Los autores Serra y Coch (1995), afirman:

La porosidad de un edificio nos da idea de la proporción entre volumen lleno y volumen vacío del mismo, quiere decir cuál es la proporción de patios existentes en un edificio en relación con su volumen total. Si su superficie abierta es superior a este valor se consideran sus paredes como formando parte de la piel y por lo tanto influyen sobre la compacidad. (p.243)

En general, la porosidad no es un aspecto muy aplicado a edificios de museo, ya que los espacios se conforman en un *continium espacial*, por lo tanto sin compartimentos, como mencionado en el apartado de la historia de los museos es decir, que los edificios de museo tienen un factor de porosidad igual a cero. Por un lado, un edificio con un alto grado de porosidad significa que tiene muchas superficies de intercambio con el exterior. Por otro lado es más difícil aislarlo de las condiciones exteriores. Pero también es más fácil conseguir una buena ventilación de las zonas interiores del edificio.

Asimismo ofrece la posibilidad de crear espacios intermedios con un microclima propio que puede ser útil para aumentar la humedad del ambiente, una decisión bastante equivocada para la conservación de las obras de arte especialmente, que necesitan una humedad controlada. Todo esto hace que en general los edificios con patios sean recomendables sobre todo en climas cálidos secos y no recomendables para climas como el subtropical húmedo.

La ecuación para la porosidad puede ser observada en el Anexo D y a continuación se pueden observar los diferentes grados de porosidad de un edificio:

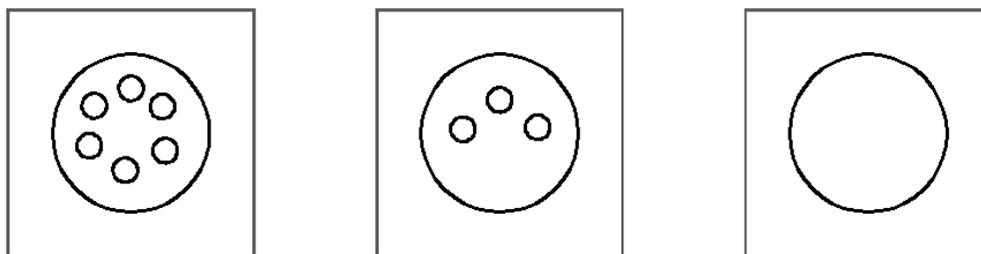


Figura 34. Grados de porosidad del edificio.  
Fuente Serra y Coch, 1995, p. 243. Adaptado por la autora.

### c) Esbeltez

Esta tercera característica definidora de la forma del edificio es la proporción general de un edificio desde el punto de vista de lo alargado que sea en sentido vertical. La repercusión térmica ambiental está determinada por el hecho de que a mayor esbeltez, menor superficie de contacto con el terreno y mayor exposición climática (radiación, vientos, etc.). También se debe contar con que a mayor altura son mayores los problemas interiores de estratificación del aire. En general, no hay climas donde sea recomendable una esbeltez más grande (Serra y Coch, 1995).

Para que el coeficiente de esbeltez sea adimensional, la altura ( $h$ ) tiene una magnitud “ $d$ ”, depende del rayo de un círculo de superficie igual a la media de las plantas. (Ver Anexo E). A continuación se observa los grados de esbeltez del edificio:

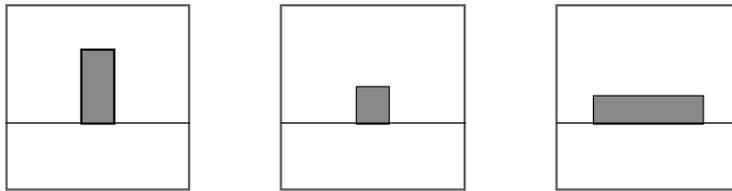


Figura 35. Grados de esbeltez de un edificio.

Fuente: Serra y Coch, 1995, p. 245. Adaptado por la autora.

Estas tres características definidoras de la forma conforman la silueta del edificio, y nos da una idea de la conformación de la forma arquitectónica el edificio. Para un diseño de museo, se considera que estas serían las premisas iniciales de la conformación de un nuevo diseño.

Otros aspectos que pueden ser indirectamente vinculados a la forma, algunos aspectos pueden ser levantados para la evaluación de los edificios. Del tratamiento de la piel del edificio, se destacan las variables dependientes: **asentamiento**, **adosamiento** además de **perforación**, **zonificación** y **volumen**. Estos aspectos se tomaron en cuenta porque nos da la idea de volumen, y que hay algunos aspectos pertinentes para la aplicación en los edificios de museo como objeto arquitectónico con expresividad. Los cuales se presentan a continuación:

#### d) Asentamiento

El asentamiento de un edificio es un aspecto de la piel que indica el grado de contacto de las superficies que rodean el volumen de todo el edificio con el terreno. Este aspecto está directamente relacionado a la expresividad arquitectónica, aunque no en manera definidora.

Este es un aspecto que tiene un impacto grande a la forma en lo que se refiere a la repercusión térmica, debido a que el volumen queda más o menos expuesto a radiación y menor ventilación- y aumento de humedad. Para el clima subtropical húmedo Serra y Coch (1995) no recomiendan un asentamiento mayor que 6m.

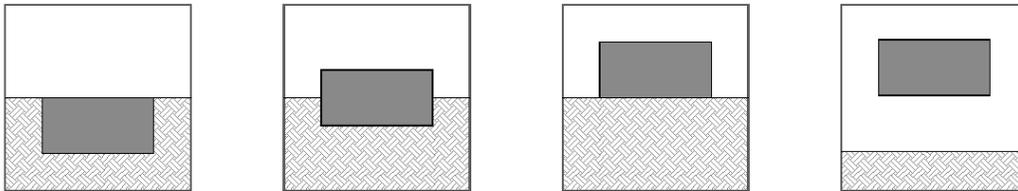


Figura 36. Grado de asentamiento de un edificio.  
Fuente: Serra y Coch, 1995, p. 248. Adaptado por la autora.

#### e) Adosamiento

El adosamiento de un edificio es un aspecto de la piel que refiere al grado de contacto de las superficies que rodean el edificio con otros locales o edificios vecinos. La repercusión térmica ambiental de un grado de adosamiento alto está directamente ligada al hecho de que esto genera pocas superficies de intercambio con el exterior. Por lo tanto, son edificios que no pueden ser buenos captadores de radiación solar y que tienen mayor dificultad en ventilar. Existe una probabilidad de aumento de las condiciones de humedad relativa en el interior del edificio y pocas posibilidades de captar luz y calor del exterior (Serra y Coch, 1995).

En el caso de los edificios de museo como icono, un edificio casi siempre se encuentra aislado en el terreno. Eso implica una baja protección térmica respecto al exterior promovido por el contacto con otros espacios habitables aunque, un alto grado de adosamiento no es aconsejable para el clima subtropical húmedo.

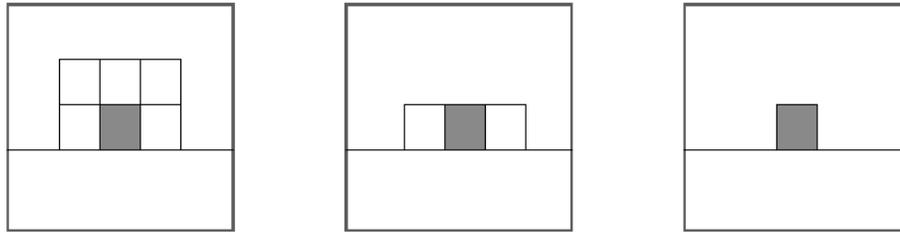


Figura 37. Grado de adosamiento de un edificio.  
Fuente: Serra y Coch, 1995, p. 250. Adaptado por la autora.

### f) Perforación

La perforación de un edificio es un concepto que nos da idea de la permeabilidad de su piel al paso del aire. Depende tanto de la superficie de perforación, como de otros factores como son las dimensiones y la posición relativa de las aberturas. El coeficiente de perforación de un edificio es la relación de superficie perforada y la superficie global de la piel (Ver Anexo F).

Serra y Coch, (1995) afirman que:

La perforación no es una característica fija ya que el uso del edificio puede hacer aconsejable variar el grado de perforación de acuerdo con la orientación y estación del año. Así es que normalmente en invierno el grado de perforación es mucho más pequeño que en verano. Existe por ello una variabilidad posible determinada por el hecho de que la mayoría de aberturas son practicables.(p. 254)

Con ella se asegura la renovación del aire, lo cual es una buena solución para climas cálidos húmedos, pero nunca para climas extremados, por eso el clima subtropical húmedo es delicado el porcentaje de apertura, por tener altas temperaturas asociadas a alto grado de humedad.

También es importante alentar que, en los museos raramente las perforaciones o ventanas son practicables por los usuarios. Las perforaciones practicables se caracterizan por las infiltraciones que se producen por las juntas de las perforaciones en elementos practicables del edificio cuando éstos están cerrados. La hermeticidad depende del coeficiente de perforación pero sus valores son más pequeños. Esta refiere a la relación entre la superficie de la infiltración de aire y la superficie total del edificio,

mas no será considerado en este estudio, solamente el porcentaje de aperturas por orientación de ellas en la forma del edificio.

### **g) Zonificación**

Es importante considerar que, en los museos, la principal actividad es la exposición de las obras de arte, por lo que ubicar estas zonas de exposición alejadas de las fachadas mencionadas, facilita el cuidado con la conservación, ya que donde la acumulación de energía puede oscilar la temperatura y humedad controlada en su interior. Dividir el interior promueve una mayor diversidad ambiental, y la utilización de circulaciones verticales o atrios promueve la transmisión de energía se por convección natural en sentido ascendente y según la altura pueden producirse importantes fenómenos de estratificación térmica.

Para Serra y Coch, (1995), afirman:

...desde el punto de vista climático, es importante que los espacios principales estén orientados al Norte, Noreste o Noroeste puesto que esto permite que acumulen energía radiante en invierno sin peligro de un exceso de temperatura en verano... (p.265)

Los espacios secundarios, como circulaciones pueden utilizarse como barrera protectora respecto a las orientaciones más desfavorables protegiendo a la actividad principal de las condiciones extremas.

### **h) Volumen**

Serra y Coch (1995) consideran que para el volumen, del punto de vista térmico ambiental, los espacios de forma alargada mejoran con el acceso de energía lateral para evitar la falta de uniformidad de condiciones este concepto viene extremadamente vinculado a lo de la esbeltez y compacidad por lo que se relaciona grandes volúmenes a climas más extremados, para almacenaje de aire y que, por lo tanto desaconsejable al clima subtropical húmedo. Por este motivo, para el clima subtropical húmedo, se debe procurar que la captación de energía en invierno en los espacios, se haga en el nivel más

bajo y que la convección sea la que reparta de acuerdo con la zonificación anteriormente comentada.

#### **2.4 Breve conclusión respecto al edificio y el comportamiento térmico ambiental**

Como se ha tratado de mostrar, el edificio juega un rol muy importante en las condiciones interiores como de temperatura y humedad y eso está directamente relacionado con el consumo energético del edificio. Es un tema bastante complejo, porque el edificio involucra no solamente la forma volumétrica en sí, sino que la materialidad y la composición de los muros que tienen fuerte influencia en la demanda energética del edificio y en el confort interior, sin embargo no es tema de esta investigación.

Pensar en la concepción de la forma del edificio tomando en consideración el clima donde está insertado es fundamental para disminuir el consumo de energía. Con el marco teórico aquí presentado se propone analizar los edificios de museo en cuanto a sus características geométricas y de volumen de los casos de estudio relacionando su consumo energético, la satisfacción térmica del usuario y los requerimientos para las obras de arte sometiendo los casos a la evaluación de la compatibilidad ambiental para edificios de museo en el clima subtropical húmedo.

# Capítulo 3



### 3. CASOS DE ESTUDIO

#### 3.1 Clima Subtropical Húmedo

La caracterización del clima y sus elementos (humedad, temperatura, radiación y vientos) son herramientas imprescindibles en el planteamiento para una edificación ya sea un museo, una vivienda o una escuela. De manera tal, se deben evaluar las principales características del clima ya que formarán parte del proceso de diseño para una respuesta adaptada al clima.

El clima subtropical húmedo (Figura 38) segundo Köppen<sup>13</sup>, se extiende en una franja que va desde las latitudes de 23° y 35° en ambos hemisferios. Se caracteriza por tener una temperatura media de entre -3°C y 18°C el mes más frío, mientras que en el verano la temperatura media del entorno es de 22°C.



Figura 38. Clima Subtropical Húmedo, según Köppen.

Fuente: [http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/KC\\_classification\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/KC_classification_en.asp)

Sin duda, para tener información de mayor precisión es fundamental el conocimiento específico del clima. En Brasil, el clima subtropical húmedo es clasificado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (IBGE). Éste clasifica los climas del país en relación a la temperatura y precipitaciones. Específicamente, en el caso del clima subtropical húmedo de Brasil, no hay estaciones sin precipitaciones. A continuación lo podemos observar en la Figura 39:

<sup>13</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 los efectos de la efectividad de la precipitación y la intensidad de la evaporación en la vegetación local.

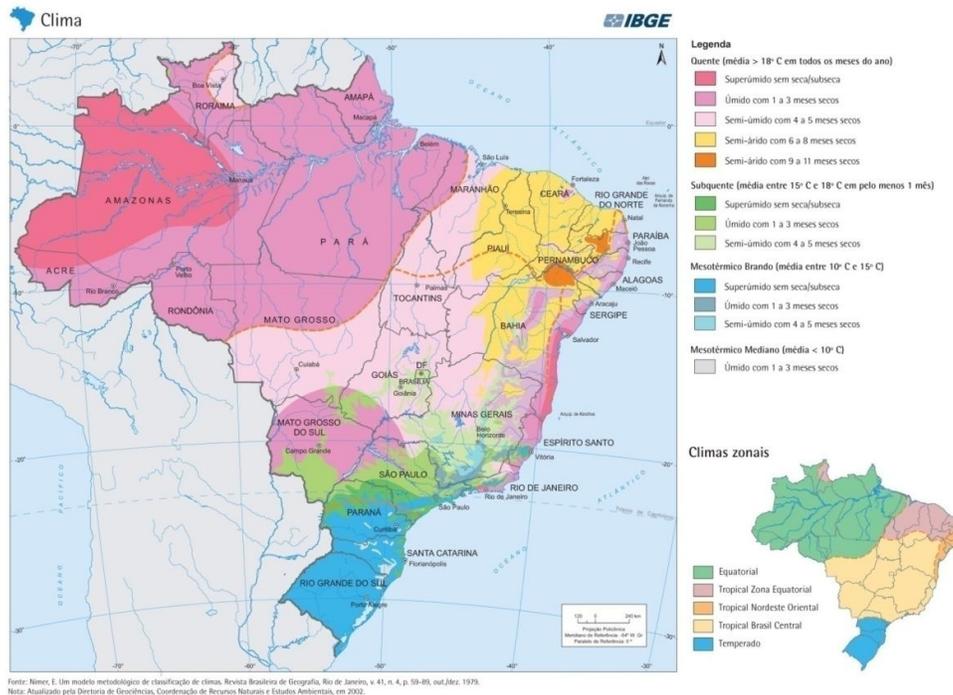


Figura 39. Clima Subtropical Húmedo de Brasil.  
Fuente: <http://www.ibge.gov.br/home/>

En este clima las construcciones tienen variaciones de cambios térmicos en función de la geología local, la vegetación y la cercanía con la costa Atlántica. De acuerdo con Florensa *et al.* (1995) el problema son las condiciones extremas que puede ocurrir en cualquier periodo del año y a cualquier hora del día. Algunos lugares con este clima alcanzan en periodos fríos temperaturas negativas. Otros tienen temperaturas encima de 30° C en periodos cálidos. Bajo tales condiciones, los edificios deben tener una geometría en equilibrio con las superficies opacas o transparentes, de manera que puedan atender condiciones ambientales interiores favorables al confort tanto en invierno como en verano.

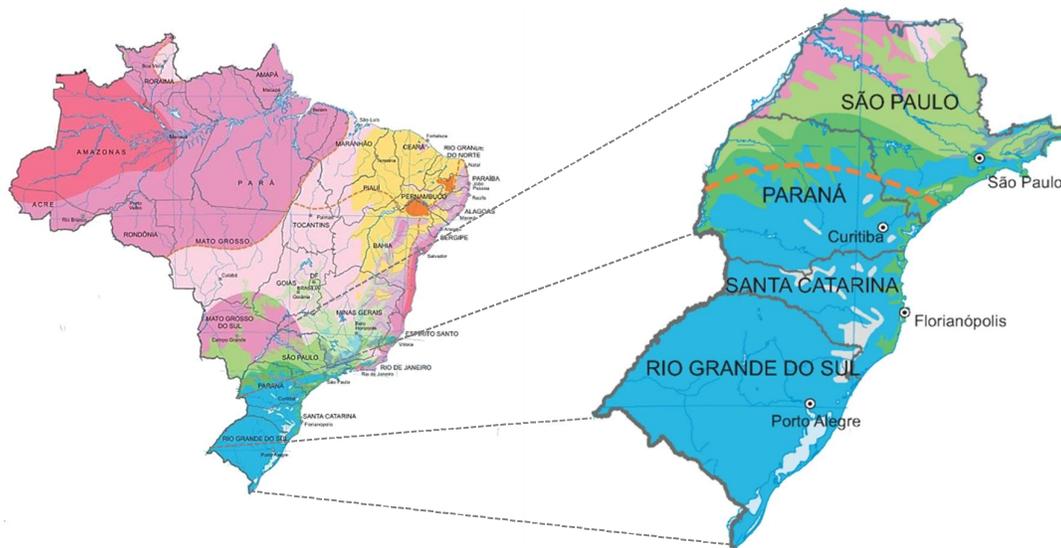


Figura 40. Ocurrencia del Clima subtropical Húmedo en Brasil.  
Elaboración de la autora.

Para dar mayor precisión al análisis de las variables climáticas y sus respectivos impactos en el diseño en este clima, el método más utilizado es el de año climático. El análisis de las variables climáticas (temperatura, humedad, radiación, dirección y velocidad de los vientos) se hace a través de ficheros existentes en estaciones meteorológicas.

Las normales climatológicas son un ejemplo de los datos medidos en las estaciones disponibles para la caracterización del clima de las ciudades. La serie de datos normal están estandarizados por lo que la Organización Meteorológica Mundial calcula para períodos de 30 a 30 años. Se obtiene a partir de los promedios mensuales y anuales totales diarios. La serie de 1970-2001 es la más reciente y presenta los promedios mensuales de temperatura, la media de temperatura máxima, temperatura mínima media, máximo absoluto y temperaturas mínimas, presión atmosférica y humedad. Los datos medidos en las estaciones pueden ser también recogidos de los archivos climáticos TRY (*Test Reference Year*). Los archivos contienen datos específicos de probabilidad matemática, estos son extraídos de las características del clima en estudio por medio de estaciones meteorológicas que recogen datos de las 8760 horas que conforman un año climático. El conocimiento de las condiciones climáticas externas es importante pues representa los requisitos básicos para el comportamiento térmico y el consumo de energía en las edificaciones. En los anexos, se puede apreciar los datos climáticos para tres ciudades en este clima, las cuales fueron elegidas para

selección de los casos de estudio. Ahora, entendiendo que en el clima donde se inserta el proyecto es posible evitar, o al menos minimizar, aspectos ambientales indeseables como vientos fuertes, altas temperaturas, polución, entre otros. También que es posible saber cuánto influyen cada una de ellas en el ambiente construido. Desde la perspectiva climática que se puede observar en las gráficas, Lamberts, Dutra y Pereira (2004, p. 116-143) hacen un análisis del clima y sugieren estrategias bioclimáticas para las tres ciudades en el área de estudio:

*“La ciudad de São Paulo sufre mucho con el efecto de isla de calor, debido a altas densidades, a pequeña cantidad de vegetación y a la contaminación del aire. Para São Paulo se destacan alternativas que promuevan la mejor ventilación posible y menor necesidad de aprovechamiento de calor solar”.*

*“Curitiba se caracteriza por el des confort térmico causado por el frío incidente. Para las edificaciones en esta ciudad, se destaca el mayor aprovechamiento de energía solar posible. Para los días de calor, la ventilación puede minimizar parte del desconfort”*

*“El clima de Porto Alegre es complicado, visto que el diseñador trabaja con situaciones antagónicas: frío intenso y húmedo en invierno y calor intenso y húmedo en verano. Para Porto Alegre es importante planear un sistema de ventanas eficientes, las cuales pueden propiciar la ventilación necesaria en verano y al mismo evitar las pérdidas de calor. La ventilación cruzada es la solución más adecuada para retirar el calor interno en los días de verano.”*

También Lamberts y Ramos (2006, p. 2) afirman que “las decisiones adoptadas por los arquitectos en la etapa de proyecto, tiene gran relevancia en el desempeño de una edificación”. Las variables arquitectónicas que más influyen la eficiencia energética de la edificación, son: volumetría del edificio, orientación de las fachadas, áreas, posicionamiento y protección a radiación de las ventanas, sistema constructivo de las paredes y colores de las superficies expuestas a radiación solar.

Dentro de las posibilidades para una arquitectura eficiente, es importante utilizar los datos climáticos asociados al confort térmico de los usuarios. La carta bioclimática generada por el *Software Analysis Bio* muestra las principales estrategias bioclimáticas para el clima de Curitiba, São Paulo y Porto Alegre. Los puntos rojos equivalen a datos de temperatura y humedad para 8760 horas de TRY (*Test Reference Year*).

En el clima de São Paulo entre zonas de Ventilación (2) y Enfriamiento Evaporativo (3) y Masa Térmica para Enfriamiento (4) ocurren intersecciones. Para eso, segundo Goulart (1998) es necesario aplicar estrategias simultáneamente o una de ellas.

- 1 Zona de Confort;
- 2 Ventilación;
- 3 Enfriamiento Evaporativo;
- 4 Masa Térmica para Enfriamiento;
- 5 Aire Acondicionado;
- 6 Humidificación;
- 7 Masa Térmica y Calentamiento Solar Pasivo;
- 8 Calentamiento Solar Pasivo;
- 9 Calefacción

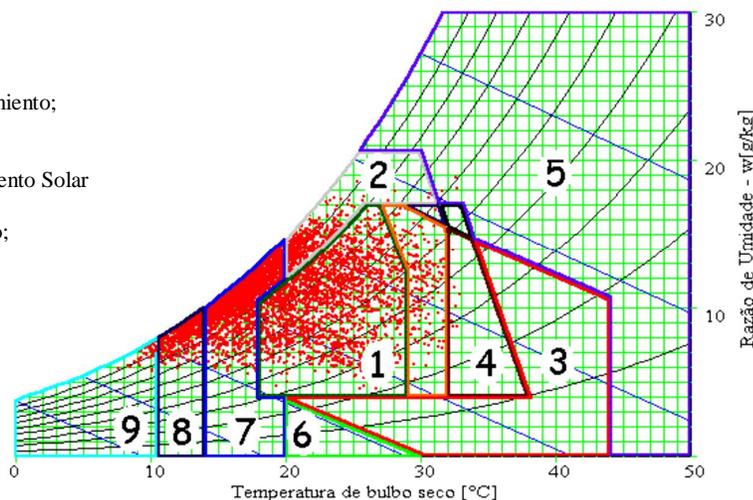


Figura 41. Carta Bioclimática con TRY de São Paulo.

Fuente: *Software Analysis Bio- UFSC*

A continuación la tabla presenta el porcentaje en horas para la aplicación de estrategias pasivas para São Paulo.

Tabla 5. Estratégias Bioclimáticas para São Paulo. Adaptado por la autora.

Confort		27,1 %	
Desconfort	CALOR	V	13,2 %
		EE	2,5 %
		MR	2,5 %
		AC	0 %
	FRÍO	MA/AS	48,1 %
		AS	10,4 %
		AA	0,7 %

Dónde:

V: Ventilación      RE: Enfriamiento Evaporativo      EE: Masa térmica para Enfriamiento  
 AC: Aire Condicionado      MA/AS: Masa térmica para Calentamiento / Calentamiento Solar  
 AS: Calentamiento Solar      AA: Calentamiento Artificial      AA: Calentamiento Artificial

Para Curitiba, la Carta Bioclimática (Figura 42) muestra que, entre las zonas de ventilación (2), de Enfriamiento Evaporativo (3) y Masa Térmica para enfriamiento (4) ocurren algunas intersecciones, en estos puntos se deben adoptar estrategias únicas o simultáneas. En la tabla de a continuación son presentados los porcentaje de horas donde ocurre el desconfort térmico. También se presentan los porcentajes en que cada

estrategia es apropiada para Curitiba. En este caso la suma supera el 100% ya que algunos puntos están descritos más de una vez (Goulart, 1998).

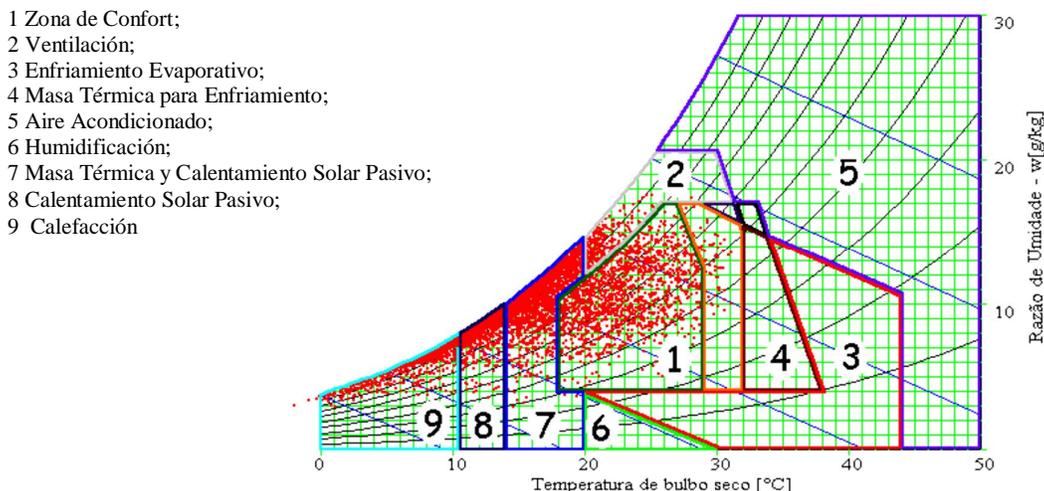


Figura 42. Carta Bioclimática con TRY de Curitiba.  
Fuente: *Software Analysis Bio- UFSC*

Tabla 6. Estratégias Bioclimáticas para Curitiba. Adaptado por la autora.

Confort			20,9 %
Desconfort	POR CALOR	V	5,8 %
		EE	0,7 %
		MR	0,7 %
		AC	0 %
	POR FRÍO	MA/AS	42,4 %
		AS	18,8 %
AA		11,7 %	

Dónde:

V: Ventilación                      RE: Enfriamiento Evaporativo                      EE: Masa térmica para Enfriamiento  
 AC: Aire Condicionado              MA/AS: Masa térmica para Calentamiento / Calentamiento Solar  
 AS: Calentamiento Solar              AA: Calentamiento Artificial                      AA: Calentamiento Artificial

En Porto Alegre, se observa que entre las zonas de Ventilación (2), Enfriamiento Evaporativo (3) y Masa Térmica para Enfriamiento (4) ocurren intersecciones. En estos casos es necesario aplicar las estrategias únicas o simultáneas.

- 1 Zona de Confort;
- 2 Ventilación;
- 3 Resfriamiento Evaporativo;
- 4 Masa Térmica para Resfriamiento;
- 5 Aire Acondicionado;
- 6 Humidificación;
- 7 Masa Térmica y Calentamiento Solar Pasivo;
- 8 Calentamiento Solar Pasivo;
- 9 Calefacción

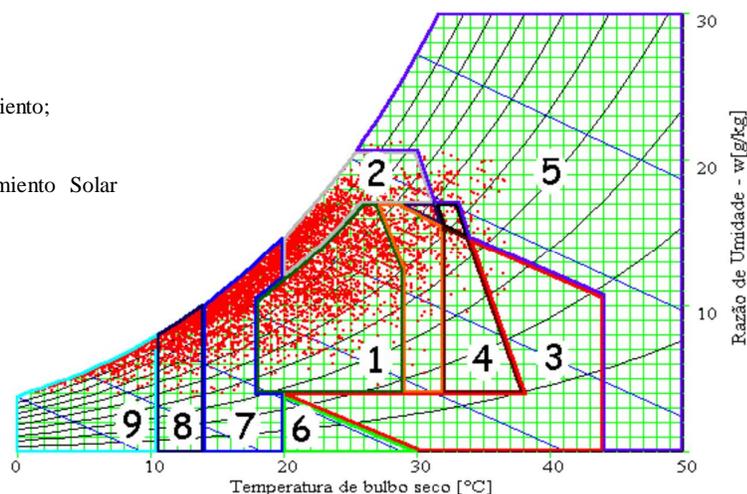


Figura 43. Carta Bioclimática con TRY de Porto Alegre.

En la tabla de a continuación son presentados el porcentaje en horas en cada estrategia es apropiada.

Tabla 7. Estratégias Bioclimáticas para Porto Alegre. Adaptado por la autora

Confort			22,4 %
Desconfort	POR EL CALOR	V	23,4 %
		EE	4,5 %
		MR	4,5 %
		AC	1,4 %
	POR EL FRÍO	MA/AS	33,7 %
		AS	11,7 %
AA		6,0 %	

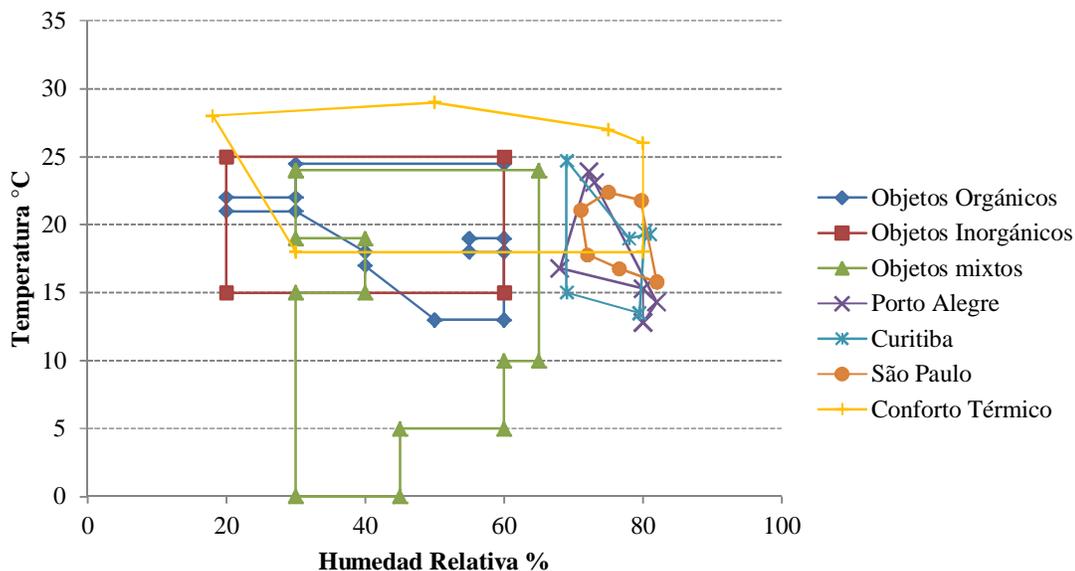
Dónde:

V: Ventilación	RE: Enfriamiento Evaporativo	EE: Masa térmica para Enfriamiento
AC: Aire Condicionado	MA/AS: Masa térmica para Calentamiento / Calentamiento Solar	
AS: Calentamiento Solar	AA: Calentamiento Artificial	AA: Calentamiento Artificial

Luego de analizar las estrategias, clima y zonas de confort térmico en tres ciudades, se elaboró un climograma específico para el clima de los Museos a partir de una base de datos climáticos restringidos a un año para las tres ciudades (São Paulo, Curitiba y Porto Alegre). Esto proveniente del *Software Analysis Bio* del *Laboratorio de Eficiencia Energética de Edificaciones-LABEE* de la Universidad Federal de Santa Catarina. Ahora bien, como esta base contenía datos de Humedad Relativa (RH) y solo medía la temperatura media mensual, se determinó la humedad relativa media y máxima, considerando constante la humedad absoluta con la utilización de un diagrama psicométrico.

También se utilizó el gráfico de Zona de Confort Térmico y estrategias bioclimáticas según Givoni; así lo muestran las cartas bioclimáticas de las tres ciudades. Los datos ajustados para representar en el Climograma quedaron de esta forma:

Gráfico 1. Climograma. Elaboración de la autora.



El climograma ilustra las dificultades para regular el clima al interior de los museos incluyendo las diferencias de requisitos en términos higrotérmicos. También, se observa que el clima de las ciudades es marcado por estaciones bien definidas correspondiendo calor en verano y frío en invierno ya fuese con menor o mayor intensidad. Estos conocimientos sirven como referente para el análisis de la geometría del museo en el comportamiento térmico-ambiental.

### 3.2. Elección de los casos de estudio

Valiéndose del marco teórico presentado anteriormente este capítulo pretende además de describir los casos de estudio, presentar el método utilizado para medir la Compatibilidad Ambiental en tres edificios de museos de arte en el clima Subtropical Húmedo de Brasil. El objetivo es encontrar las características formales de los casos y su desempeño en los parámetros relacionados a la Compatibilidad Ambiental. Para esto fueron abordados los aspectos de la morfología del edificio de museo, el requerimiento necesario para las obras de arte y la satisfacción térmica del usuario, además del consumo energético para la mantención del clima interior.

La selección de los casos se realizó a través de los siguientes criterios:

- Identificación de la localización de museos en Brasil;
- Correlación de los museos el clima;
- Las ciudades con mayor cantidad de público visitantes en museos;
- Los museos que fueron concebidos luego del “Efecto Bilbao”(1992) que se conforman de espacios únicos donde la obra está en el mismo microclima que los usuarios;
- Finalmente los edificios que permitieron realizar las encuestas directas a los usuarios para lo cual se consideró un caso para cada ciudad.

Para el primer criterio de selección de los casos de estudios se utilizó la Guía de “*Museus en Números*” edición actualizada (2011) del *Instituto Brasileiro de Museus* (IBRAM) que revela la cantidad de los museos y su ubicación en el país. Tal publicación, realizada en conjunto con *Ministério da Cultura do Brasil*, es el resultado de un sistema de catastro aplicado en todo el territorio nacional. Además de revelar los números referentes a lo cuantitativo de las instituciones, fue posible identificar los tipos de exposición de los museos de artes visuales o históricos y clasificar los museos según su fundación y año de concepción.

En la segunda etapa se identificó que 67% de los edificios de museos se concentraban en el clima Subtropical Húmedo de Brasil (área azul del mapa) en los estados de Rio Grande del Sur, Santa Catarina, Paraná y gran parte del estado de Sao Paulo donde se observa también, la mayor concentración de museos en las capitales de estas regiones conforme se observa en la Figura 44, a continuación:

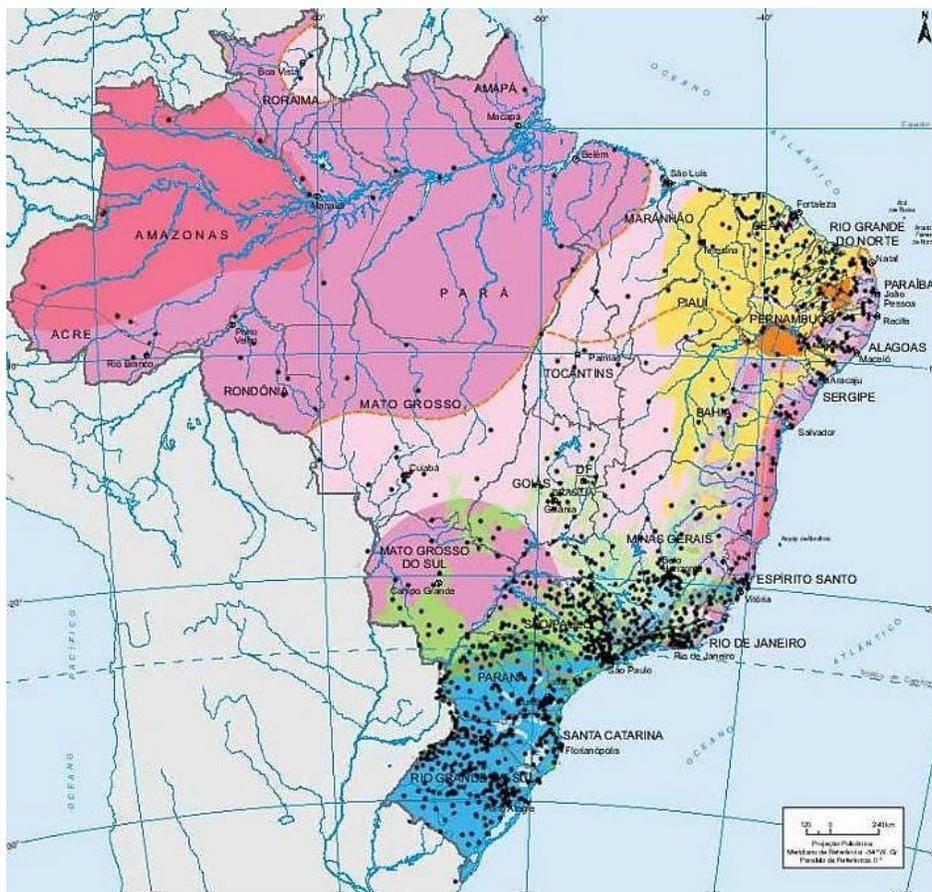


Figura 44. Mapa Clima IBGE, 2010, sobre posición Museos IBRAM, 2010.  
El clima y los museos, elaboración de la autora, 2011.

Como tercer criterio de elección de los estudios de caso se analizaron las ciudades que contienen la mayor cantidad de museos y por ende, mayor cantidad de público. Este aspecto permitiría evaluar la satisfacción del público visitante en cuanto a su satisfacción térmica. En esta etapa se eligieron las ciudades de São Paulo (132 museos), Curitiba (70 museos) y Porto Alegre (63 museos) excluyendo por lo tanto la capital de Santa Catarina, Florianópolis que contabiliza apenas 28 museos en la isla (*Museus em Números*, 2010).

Como cuarto criterio se han seleccionados edificios recientes y significativos construidos luego del “efecto Bilbao” (1992) caracterizados por similar tipo de muestra de obras de arte, es decir, un edificio continuo— no compartimentado—donde la obra esté en el mismo microclima que los usuarios. Finalmente los edificios que permitieron realizar las encuestas directas a los usuarios fueron considerados un por cada ciudad.

La elección por los criterios arriba descritos, se complementa con la referencia del escritor Roberto Segre en 2010 en su libro “Museos Brasileiros” quien destaca que en las dos últimas décadas los museos se concretizan en tres ejemplos icónicos significativos: MAC Niterói de Oscar Niemeyer (1996); MUBE, de Paulo Mendes da Rocha (1994) y el *Iberê Camargo* en Porto Alegre de Álvaro Siza (2008). Validando por lo tanto los casos icónicos elegidos. Bajo estas condiciones y limitantes declaradas, los casos son presentados a continuación en la Figura 45:

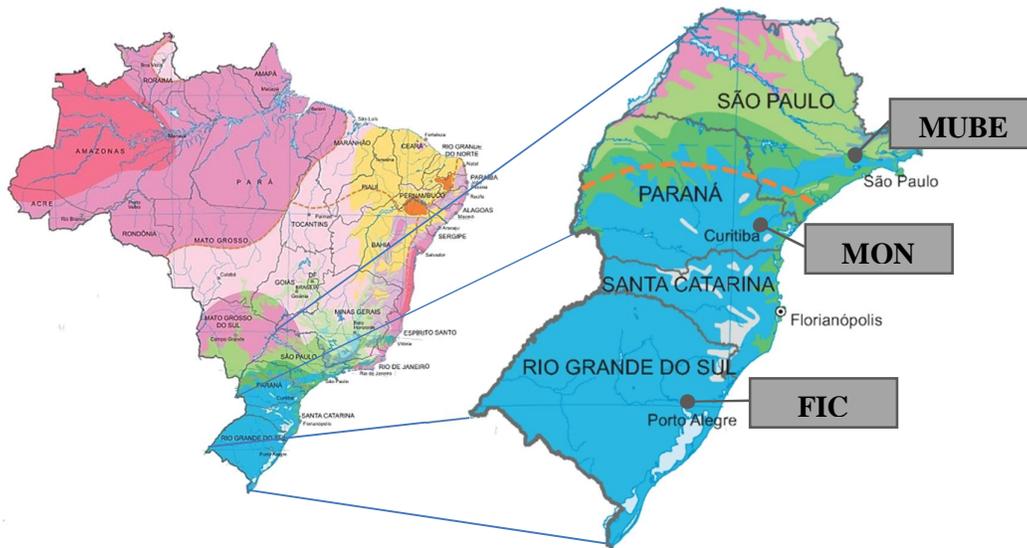


Figura 45. Ubicación de los casos de estudio.  
Elaborado por la autora

Los casos de estudio presentados, son obras de arquitectura que están firmadas por arquitectos de prestigio internacional. Si bien estas obras son de sobra conocidas en sus aspectos formales, no se suele hablar de los conceptos bioclimáticos y su desempeño térmico-ambiental. Justamente esto es lo que se pretende analizar en la compatibilidad ambiental de los casos a continuación.



### 3.2.1 *Museu Brasileiro da Escultura* (MUBE)

El Museo Brasileño de la Escultura surge en respuesta a la implantación de un *shopping center* en el Barrio Jardín Europa, uno de los lugares más prestigiados en la ciudad de São Paulo lo que interferiría en la tranquilidad y sofisticación del entorno. La Sociedad de Amigos de Museos-SAM y la junta de vecinos, se movilizó para que el área de 7 mil m<sup>2</sup> al lado del *Museu da Imagem e do Som*—MIS, tuviera otro destino de manera tal nace el MUBE. También se cree que la familia del gran escultor Víctor Brocheret que vivía al lado debió influir en la idea del museo de esculturas.

Paulo Mendes da Rocha, considerado uno de los grandes arquitectos de la historia fue seleccionado a través de un concurso cerrado y comienza su exposición reforzando el carácter urbanístico del terreno. Para proyectar, el arquitecto se refiere siempre a la ciudad, a lo urbano y a su morfología. El museo pretende antes de todo ser didáctico, por tanto dispone instrumentos para la lectura del espacio urbano. (Sperling, 2001)

Inaugurado en 1994 el terreno triangular en declive en la Esquina de la Avenida Europa con la Calle Alemania, dio espacio a una respuesta urbana: una plaza con un marco y el subsuelo<sup>14</sup>, es decir, el museo. Una gran viga de 60 metros de largo y 12 metros de ancho, conocida como “*una piedra en el aire*” o “*nube de concreto*” perpendicular a la Avenida, es el único elemento construido sobre el suelo como un pórtico que sirve para albergar manifestaciones artísticas, escultóricas y teatrales. Se trata de un edificio de planta única con poco más de 4 metros de alto.

Inicialmente diseñado para albergar esculturas, el edificio hoy recibe muestras temporarias de diversos tipos que van desde fotografías a instalaciones. Según la Administración del museo el MUBE recibe de 80 a 100 mil visitas al año, gran parte de las visitas ocurren en el período de la tarde. El ingreso al museo es gratuito y está abierto de martes a domingo durante todos los meses del año de lunes de 10 a 19h.

Segre (2010) describe lo interesante de MUBE “un lento movimiento de los usuarios que circundando la sombra del pórtico descienden lentamente en la larga y

---

<sup>14</sup> El falso subsuelo, el museo vence el desnivel existente entre La Avenida Europa y la Calle Alemania, el nivel superior se instala en la cota de la Avenida y el inferior en la cota de la Calle Alemania.

suave rampa que lleva al espacio soterrado, como una misteriosa entrada a los tesoros de las civilizaciones antiguas”.

El emplazamiento del MUBE está localizado en un entorno urbano con densidad mayoritariamente residencial y con alto grado de polución debido al tránsito intenso de vehículos particulares y públicos, muy común de la ciudad. No hay grandes masas de vegetación o de aguas naturales considerables. Se observa un pequeño número de árboles en el vecindario. También es notable el uso de espejo de agua en forma triangular como estrategia para humedecer el aire en los días con baja tasa de humedad y además para disminuir el tiempo de transmitancia térmica desde la cobertura hacia el interior del auditorio. En las áreas donde no hay espejo de agua el piso permeable de la plaza protege la impermeabilización de la cobertura y crea una capa de aire hacia el interior del edificio que funciona como un reductor de tiempo de absorción de energía térmica solar.

La planta libre de las salas de exhibición poseen un área de 3 mil metros cuadrados distribuidos en forma de U, siendo la apertura de la U orientada para Nordeste. La disposición de los espacios permite una circulación entre los ambientes y una conexión del interior con el exterior mediante la utilización de escaleras y rampas. El edificio está enterrado en dos muros perpendiculares, eso le protege de la radiación solar directa ya que apenas dos fachadas están en contacto con el exterior. En cuanto a la distribución, los usos de exposición están distribuidos por esta forma en U, asimismo los dos grandes muros enterrados protegen las áreas de exposición de la incidencia directa del sol, vientos y lluvia. Tangente a ellas las actividades de servicio como la administración de café se benefician de la iluminación y ventilación naturales a través de sus ventanas. La ausencia de aperturas en la parte de exposición- resultantes de la estrategia de asentamiento- dificulta la iluminación y ventilación uniforme. En este edificio, Paulo Mendes da Rocha nos muestra la importancia de la estrategia semienterrada para proteger las obras de la radiación solar directa y ganancias térmicas por las fachadas y así también lo relevante que es reducirla demanda energética. Cabe comentar que la orientación está presente en los primeros Croquis del proyecto (ver figura 53).



Figura 46. Museu Brasileiro da Escultura. Vista Avenida Europa. Foto: autora.



Figura 47. Museu Brasileiro da Escultura. Vista Esquina . Foto: Nelson Kon/  
Fuente: <http://mube.art.br/>



Figura 48. Museu Brasileiro da Escultura. Vista Calle Alemania.  
Fuente: <http://mube.art.br/>



Figura 49. *Museu Brasileiro da Escultura*. Vista interna Instalación.  
Foto: Autora.



Figura 50. *Museu Brasileiro da Escultura*. Vista interna. Exposición Fotografías.  
Foto: Autora.



Figura 51. *Museu Brasileiro da Escultura*. Vista interna. Exposición Collage.  
Foto: Autora.

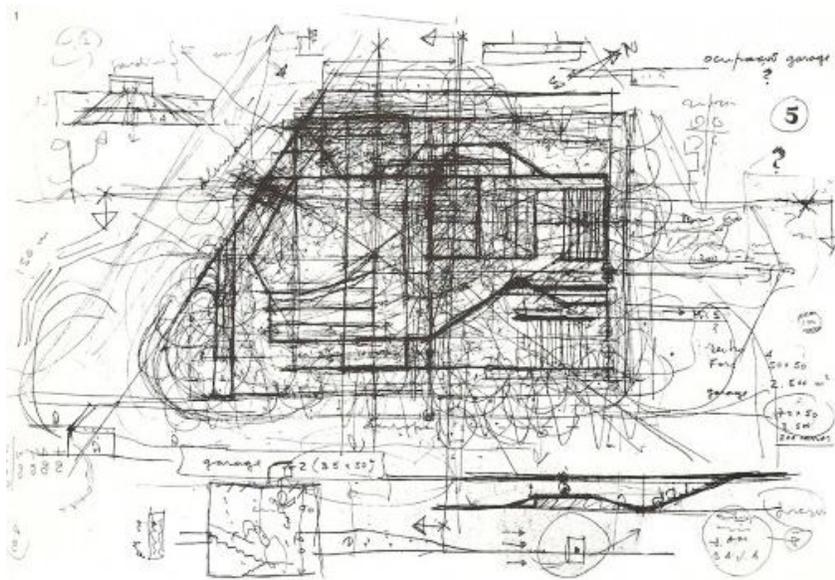


Figura 52. Croquis de Paulo Mendes da Rocha.  
 Fuente: Revista *Projeto*, 183, pág. 32

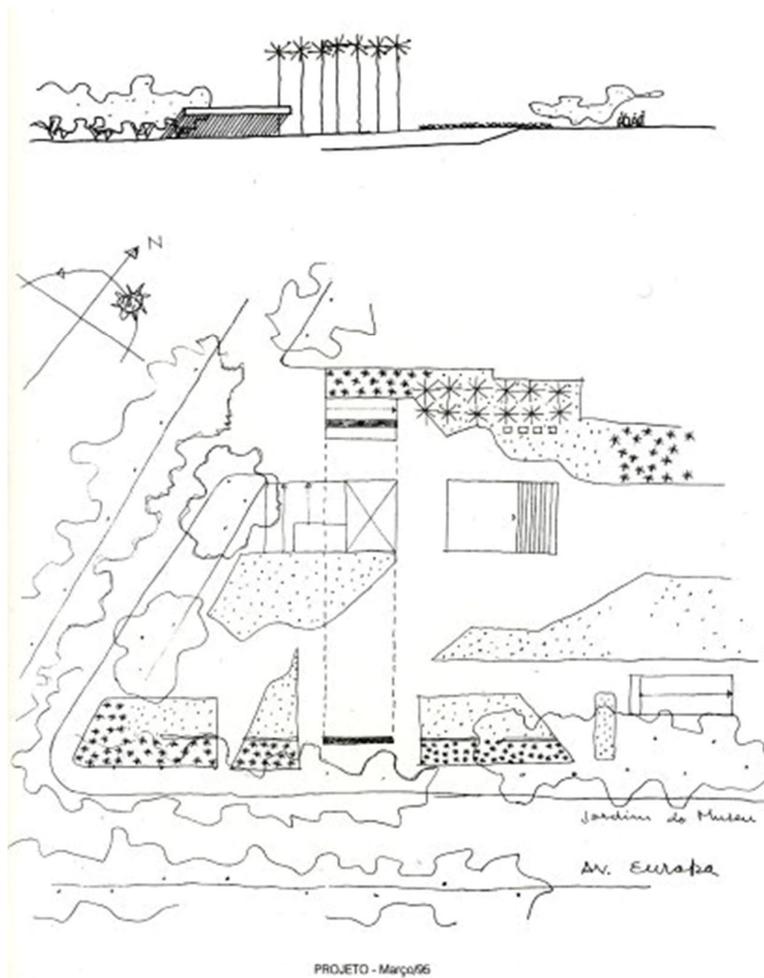


Figura 53. Croquis de Paulo Mendes da Rocha 1986 presentado al Memorial del Concurso.  
 Fuente: Revista *Projeto*, 183, p. 41

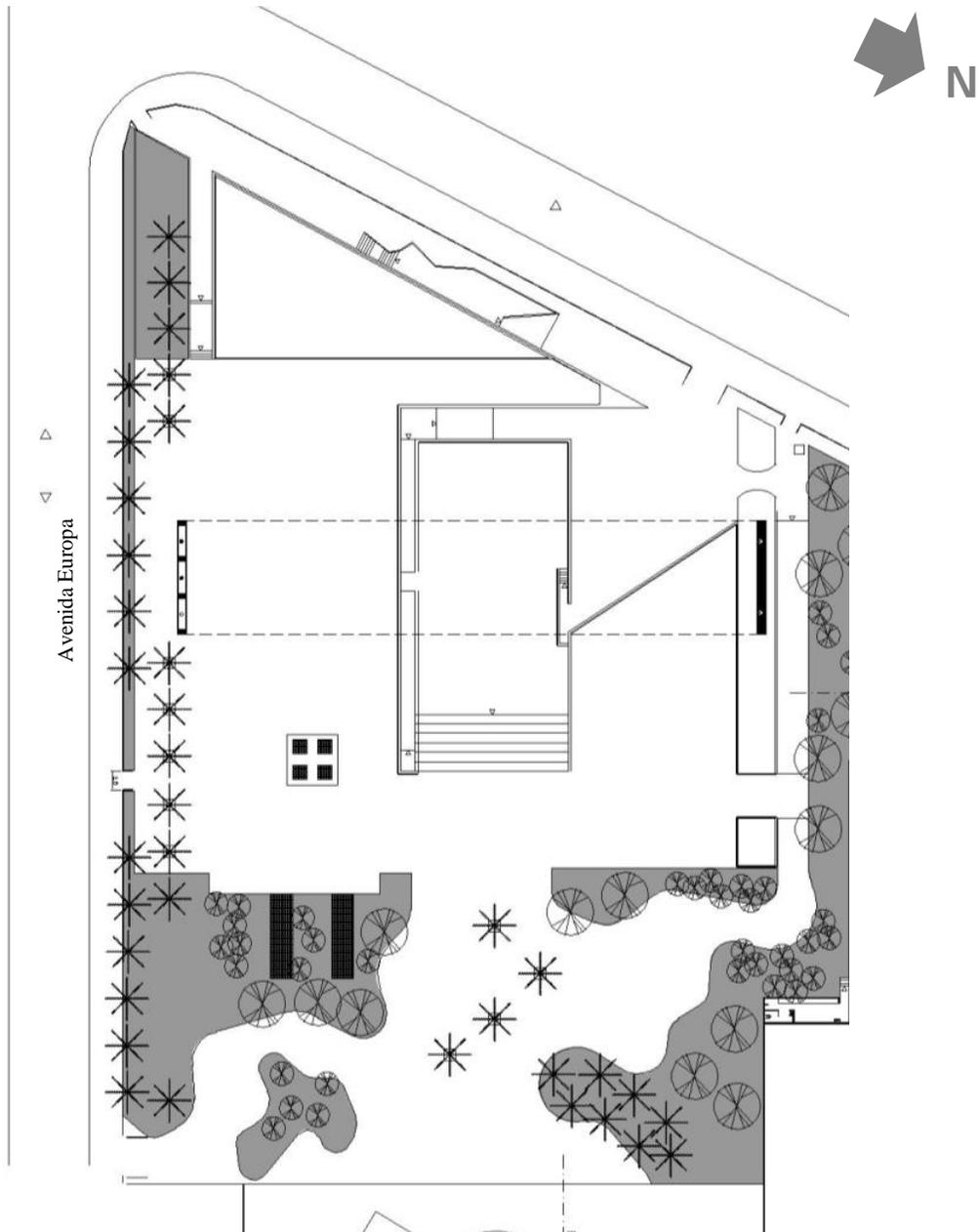


Figura 54. MUBE. Implantación.

Fuente: <http://teoriacritica13ufu.wordpress.com/2010/12/12/museu-brasileiro-da-escultura-mube/>

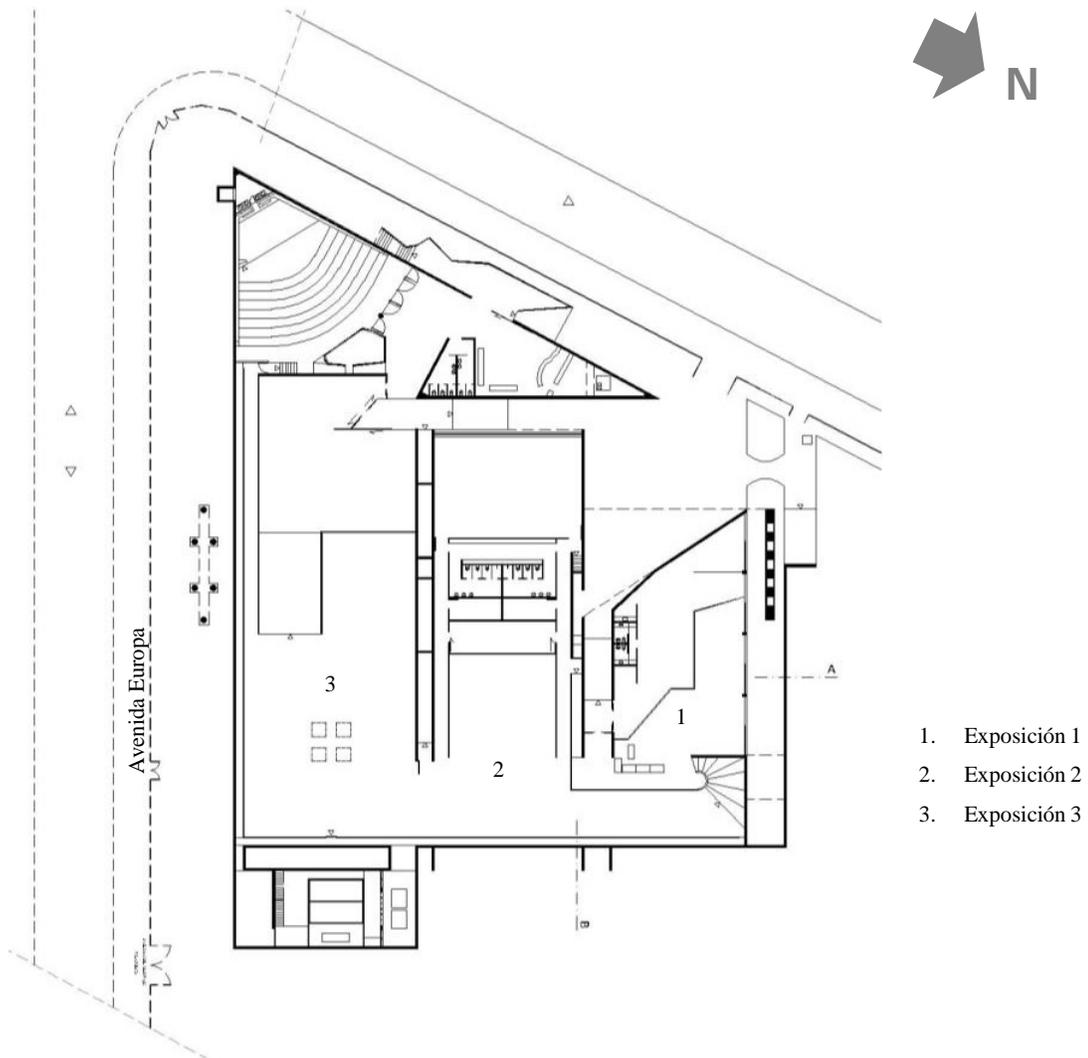


Figura 55. *Museu Brasileiro da Escultura*. Planta Baja Exposiciones  
 Fuente: <http://teoriacritica13ufu.wordpress.com/2010/12/12/museu-brasileiro-da-escultura-mube/>

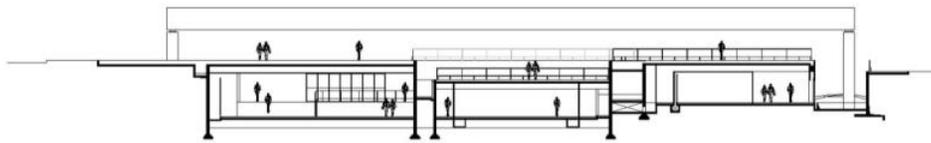


Figura 56. *Museu Brasileiro da Escultura*. Corte Longitudinal.  
 Fuente: <http://teoriacritica13ufu.wordpress.com/2010/12/12/museu-brasileiro-da-escultura-mube/>

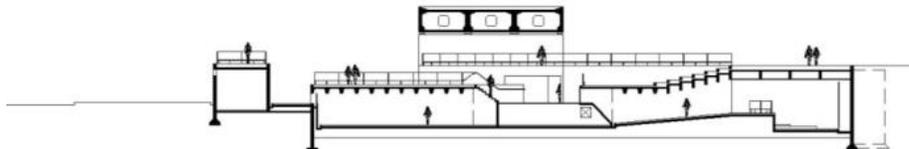


Figura 57. *Museu Brasileiro da Escultura*. Corte Transversal.  
 Fuente: <http://teoriacritica13ufu.wordpress.com/2010/12/12/museu-brasileiro-da-escultura-mube/>



### 3.2.2 Museu Oscar Niemeyer (MON)

En 1967 Oscar Niemeyer<sup>15</sup> diseña el Edificio Castelo Branco al lado el Parque Juan Pablo II diseñado por Burle Marx. Aunque el edificio construido entre 1974 y 1976 estuvo destinado al Instituto de Educación de Paraná, nunca se ocupó el edificio. En 2000, el gobernador del estado Jaime Lerner invita al arquitecto Oscar Niemeyer a transformar el edificio Castelo Branco en un museo con la idea de transformar el edificio en referencia a América Latina<sup>16</sup>. Treinta y cinco años después de diseñarlo el arquitecto invitado impuso su condición: “diseñar un edificio nuevo”. Surge entonces un edificio que se anexará al edificio ya existente más tarde conocido por “ojo”. (Figuerola, 2003).

El encargo de adaptación del edificio antiguo fue desarrollado por el equipo paulista *Brasil Arquitetura*, Marcelo Ferraz y Francisco Fanucci, mientras que el Nuevo Museo quedó a cargo de Oscar Niemeyer. Para el nuevo edificio el arquitecto propuso un gigantesco ojo de 30 metros de ancho y 70 metros de largo, totalizando 3 mil m<sup>2</sup> de área construida. Se trata de dos leves cáscaras que configuran el embasamiento y la cobertura del salón en exhibición delimitado por dos fachadas de vidrio que evidencian su independencia de la estructura y permiten la visual de la ciudad para los visitantes que lo recorren. El ojo y el edificio antiguo están unidos por una rampa curvilínea exterior y una rampa subterránea por el interior. El carácter inédito del Ojo lo identifica como un nuevo icono arquitectónico en la ciudad de Curitiba (Segre, 2010).

La volumetría peculiar del museo, llama la atención y atrae en público, siendo noticia en el diario, mismo cuando el edificio se encontraba cerrado:

*Ontem pela manhã, mesmo fechado para visitaçao, à arquitetura incomum e surpreendente atraía as pessoas que paravam para admirar a criação do famoso arquiteto Oscar Niemeyer (Gazeta do Povo, 24 de nov.2002).*

---

<sup>15</sup> De 1936 a 2012 la presencia de Oscar Niemeyer en el escenario de la arquitectura contemporánea es reconocida por un número de premios y vasta bibliografía. Entre los premios recibidos pueden destacarse: Pritzker 1988, 1996 - Premio Leão de Ouro da [Bienal de Venezia](#), VI Mostra Internacional de Arquitetura, 2001 - Premio [UNESCO](#) 2001, categoría Cultura, 2009 - Título de Doutor Honoris Causa de la [Universidade Técnica de Lisboa](#).

<sup>16</sup> Cuando La Fundación Guggenheim anunció la decisión de implantar una unidad en Brasil dejando abierta la elección de la ciudad, el arquitecto y gobernador del estado de Paraná inicia la campaña para la candidatura la ciudad de Curitiba. No solamente buscó viabilidad física sino también se adelantó en una construcción simbólica de importancia para el arte, la cultura y la necesidad de un nuevo museo para la ciudad y para el estado. <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.125/3567>.

Según Niemeyer, la opción del edificio suspendido e independiente del edificio antiguo es porque “el pueblo de Curitiba aprecia el Instituto de Educación, la escuela es un edificio bonito que opté por no esconderlo”. El arquitecto acompañó la obra desde su oficina en Rio de Janeiro por teleconferencia. En apenas seis meses la obra de 20 millones de dólares estaba lista. “Es una obra simple, moderna y lógica” afirma el arquitecto. Las líneas curvas que caracterizan el trabajo de Niemeyer marcan el edificio. “La curva es la solución natural para grandes áreas” dijo el arquitecto (Figuerola, 2002).

La gran sala de exposición mide cerca 1,6 mil metros cuadrados cuyo cielo en la parte convexa de la estructura alcanza un pie derecho de 12 metros. La volumetría está apoyada en una base rectangular de cuatro pisos. En el lado opuesto al salón principal, el lado cóncavo, están ubicadas las áreas de apoyo, sala audio visual y mini auditorio. Desde 2004, para ampliar su espacio expositivo, los tres pavimentos que componen la torre-base que sostiene el edificio fueron destinados a exhibición de fotografías. En el exterior 316 metros de rampas hacen la conexión desde la calle. La entrada cuesta 3 reales para estudiantes y 6 reales para el público general, mientras que para menores de 12 años adultos mayores y grupos pre agendados, es gratuita. El MON está abierto de martes a domingo de las 10h a las 18h. Según la institución, gran parte de los visitantes no agendados vienen en el periodo de la tarde; el promedio de público en todo el complejo es de aproximadamente 200 mil visitas al año.

Niemeyer en el MON priorizó el espectáculo arquitectónico y la exaltación técnico- constructiva del hormigón armado en pro de la dignidad cívica (Zaniscof, 2007).

El MON está emplazado en una cuadra típicamente moderna casi aislado en el terreno en un área denominada centro cívico debido a la concentración de edificios públicos de este sector en la capital paranaense. A pesar de no ser directamente privilegiado por el bosque, es importante mencionar que atrás del edificio existente una considerada masa de vegetación conocida como *Bosque do Papa*. Como estrategia bioclimática, el edificio del “Ojo” es bastante compacto en su posición de eje longitudinal en relación a la orientación dejando sus fachadas vidriadas en dirección al este oeste. A pesar de que el edificio es bastante compacto en su solución general, las fachadas 100% vidriadas sin protección efectiva no son adecuadas para los principios bioclimáticos de este clima.



Figura 58. Implantación general del complejo MON.  
Fuente: Revista AU, 2003 p. 43.



Figura 59. Museu Oscar Niemeyer. Vista externa.  
Foto de la autora.

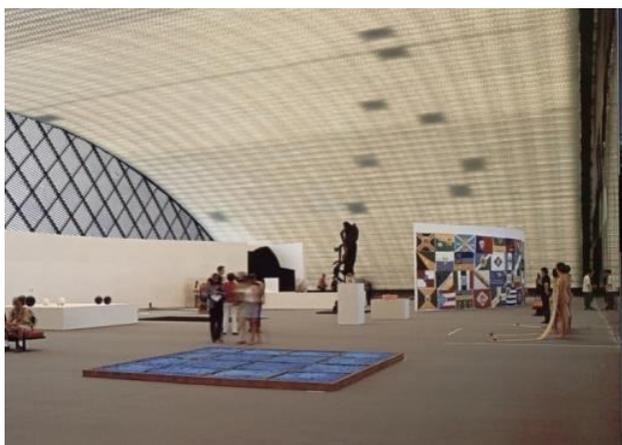


Figura 60. Museu Oscar Niemeyer. Vista interna original con vidrio gris.  
Fuente: Paiva, Cida. Novo olhar sobre a cidade. N° 32, p. 45



Figura 62. Museu Oscar Niemeyer. Vista interna actual con vidrio negro.  
Foto da autora.

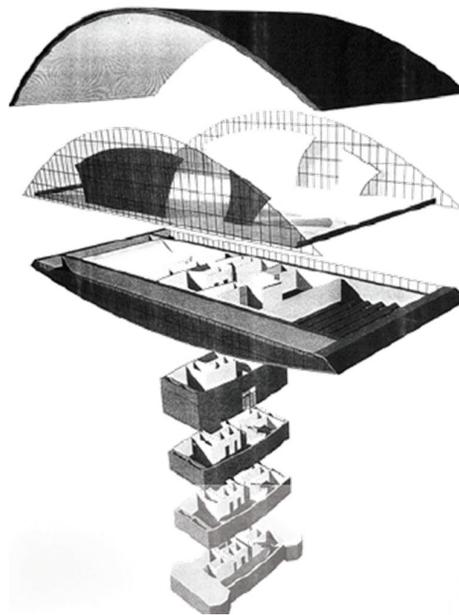


Figura 61. Museu Oscar Niemeyer.  
Vista esquemática.  
Fuente: Gonçalves 2010 p. 227

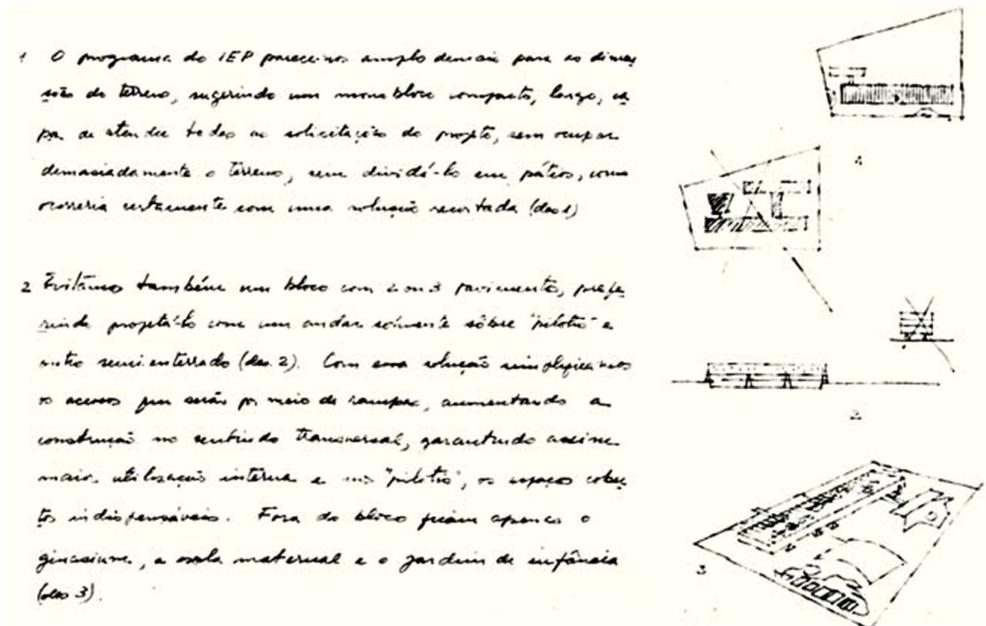


Figura 63. Croquis de Oscar Niemeyer para el Instituto de Educación- Edifício Castelo Branco.  
Fuente: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8084/000567255.pdf?sequence=1>

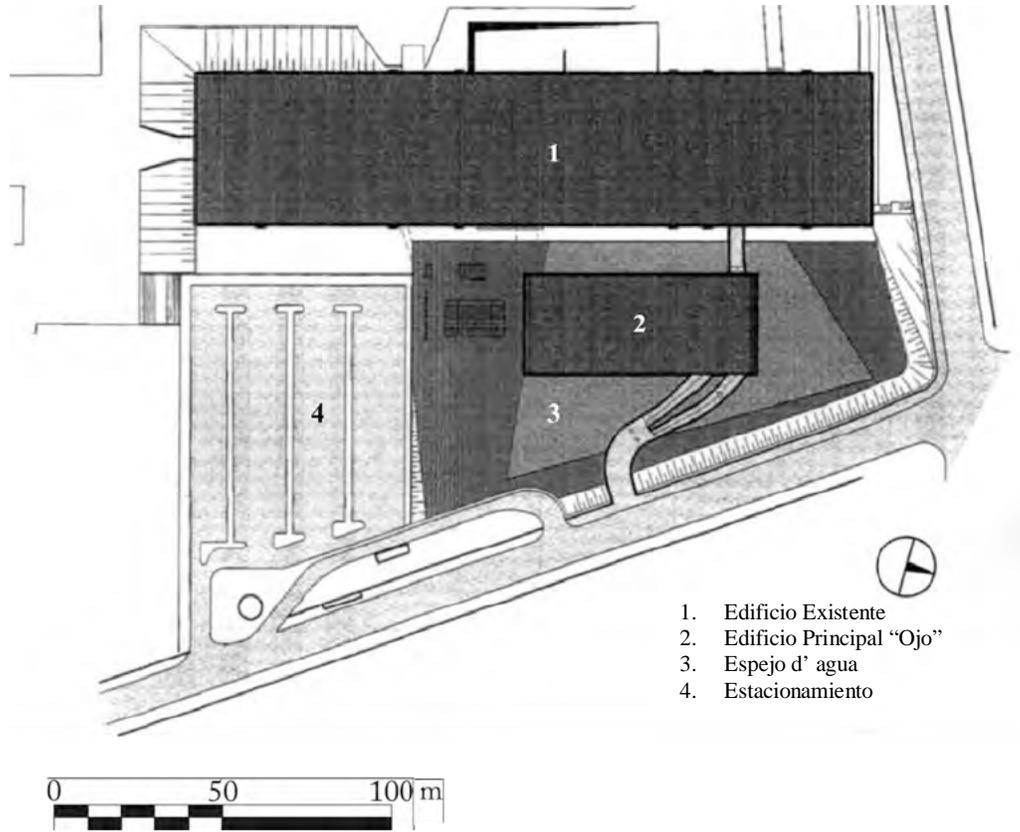


Figura 64. *Museu Oscar Niemeyer*. Implantação.  
 Fuente: Paiva, Cida. *Novo olhar sobre a cidade*. N°32, p. 45.

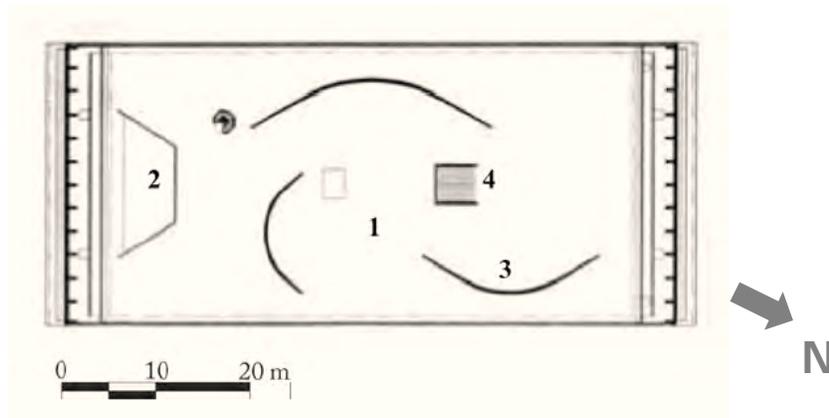


Figura 65. *Museu Oscar Niemeyer*. Planta Arco Cóncavo.  
Fuente: Paiva, Cida. Novo olhar sobre a cidade. nº32, p. 46.

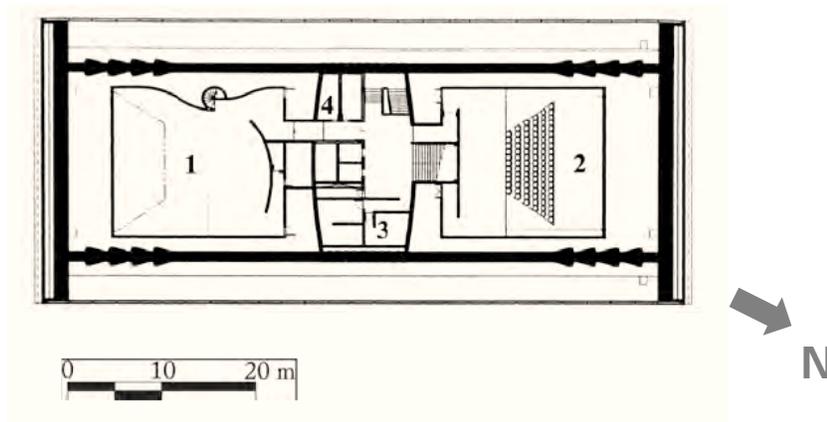


Figura 66. *Museu Oscar Niemeyer*. Planta Arco Convexo.  
Fuente: Paiva, Cida. Novo olhar sobre a cidade. nº32, p. 46.

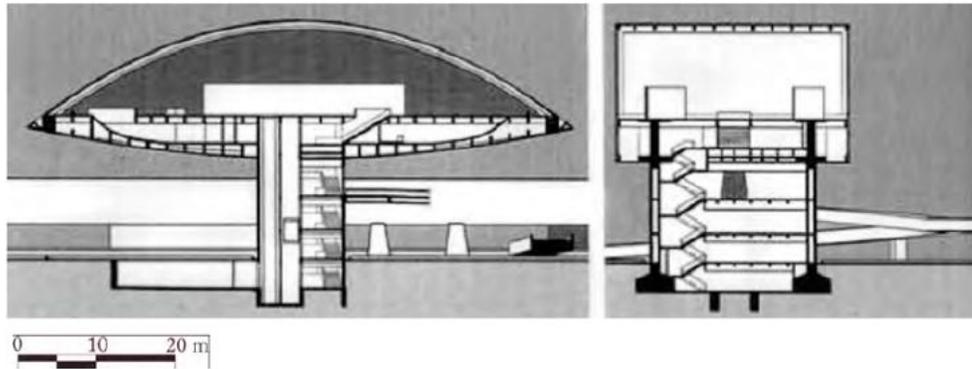


Figura 67. *Museu Oscar Niemeyer*. Cortes Longitudinal y Transversal.  
Fuente: Niemeyer, Oscar. 2004. Minha Arquitetura 1937-2004, p-290

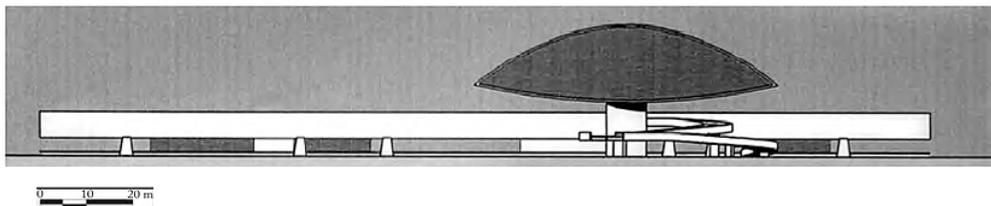


Figura 68. *Museu Oscar Niemeyer*. Elevación Este.  
Fuente: Niemeyer, Oscar. 2004. Minha Arquitetura 1937-2004, p-290

### 3.2.3 Fundação Iberê Camargo (FIC)

La Fundación Iberê Camargo fue creada en 1995, un año más tarde del deseo de Maria Coussirat Camargo, esposa y presidenta honorífica de la fundación, con el apoyo de amigos y liderada por Jorge Gerdau Johannpeter con el objetivo de preservar, divulgar las obras de Iberê Camargo<sup>17</sup> e incentivar la producción artística contemporánea. La sede inicial funcionaba en el taller del artista lugar que no era posible transformar en museo con 4 mil obras del pintor. El terreno para nueva sede fue donado por el estado de *Rio Grande do Sul*. Consistió en un terreno escarpado y densamente arborizado al margen del Lago Guaíba con 8250 m<sup>2</sup> y menos de 2 mil m<sup>2</sup> de área plana junto a la Avenida Padre Cacique (FIC, 2008).

El lugar era una antigua pedrera y en parte un relleno sobre el Guaíba. Con el pasar del tiempo, madurada la idea de la sede propia, en 1998 se efectuó la primera reunión del consejo de la fundación. La secretaria general Cristina Soliane propuso el nombre de Oscar Niemeyer para la futura sede, este fue reprochado inmediatamente por el empresario vicepresidente de la institución Justo Werlang justificando que Niemeyer no se preocupa por el uso específico de los espacios y que, entonces prefería no correr este riesgo. Sin alarmas la elección del profesional duró casi un año. Luego, José Luiz de Melo Canal se convirtió en una pieza fundamental en el proceso ya que a pedido de la Institución realizó una amplia pesquisa documentada en un *dossiê que* presentó al directorio. La lista contenía diez nombres entre ellos, Álvaro Siza, Rafael Moneo, Richard Meier, Arata Isozaki, Frank Gehry, Christian de Portzamparc, I. M. Pei, Hans Hollein, Renzo Piano y Tadao Ando. Posterior a algunas reuniones el foco recae sobre tres personajes: el portugués Álvaro Siza, el norteamericano Richard Meier y el español Rafael Moneo. Canal tuvo la misión de visitar las tres oficinas en Porto, Nueva York y

<sup>17</sup>*Ibere Camargo* / Ibere nació en 1914, en una pequeña ciudad del sur de Brasil. Luego se trasladó a Porto Alegre en 1936 para estudiar arquitectura en el Instituto de Bellas Artes mientras trabajaba como dibujante. Se casó en 1939 con María Coussirat, una profesora de dibujo graduada del mismo Instituto. Paulatinamente fue interesándose en la pintura y el dibujo. Después de exponer algunos paisajes expresionistas, en 1942 ganó una beca para estudiar Artes en Río de Janeiro. Durante su estancia en esa ciudad acometió naturalezas muertas geometrizadas, varias de sus famosas pinturas de carretas, la serie negra, las series Núcleo de los sesenta y Andamento de 1972. En todas ellas aparecía como marca característica el uso de cada vez más gruesas capas de pintura. Tras vivir cuarenta años en Río de Janeiro, y ya como artista reconocido, vuelve con su esposa a Porto Alegre extendiendo hacia el sur el rígido eje del arte trazado entre Sao Paulo y Río, comenzando así una de las etapas más atractivas y prolíficas de su carrera. Volcado a temas humanos y a una línea figurativa, aparecen Grito, la serie Los idiotas –que retrata a importantes figuras de la sociedad local– y la serie Ciclistas –innumerables retratos de los paseantes de un parque cercano–. Grabados y dibujos al gouache ahora recrean cuidadosamente figuras. En su último período aparece una extensa serie de esqueletos como Fantasmagoría IV de 1987, que introduce el uso denso de esbozos blancos y negros. Su último trabajo, Solidao, es una pieza de cuatro metros de ancho pintada desde su lecho de muerte. La viuda de Ibere Camargo, Maria Coussirat Camargo, creó la Fundación en 1995, un año después de la muerte de su esposo. Su legado, además de 4.000 pinturas, grabados y dibujos, sería expuesto junto a una serie de exhibiciones temporales de artistas brasileños y extranjeros. Revisa AU. Pág. 63 Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/arg/n63/art14.pdf>.

Madrid, además de averiguar con los profesionales el interés y compromiso por el proyecto. El portugués Álvaro Siza fue el finalista. (Revista PROJETODESIGN, jul/2008).

“*Primeiro eu vi um buraco. Depois percebi que o buraco era um bocado estimulante...*”  
Frase de Álvaro Siza<sup>18</sup> sobre la solución para el proyecto en noviembre de 1998.

El volumen principal recortado contra la vegetación de la escarpa ocupa la concavidad dejada por la pedrera. Son cuatro pisos incluyendo el terreo sobre la plataforma. Este volumen es limitado por paredes rectas y caso ortogonales (al Sur y a Poniente), también por una pared ondulada (al Norte y al Oriente). Esta pared limita toda la altura al espacio del atrio el cual es rodeado en el perímetro restante por salas de exposición (una secuencia igual en los tres pisos superiores de tres salas de diferentes dimensiones), por la recepción, ropería y librería. No se diferencian espacios destinados a exposiciones temporarias y permanentes optando por una flexibilidad apropiada para las tendencias del funcionamiento real de los museos. Las salas de todos los pisos podrán estar abiertas sobre el espacio del atrio o cerradas por paneles removibles hasta la altura de 4 metros permitiendo así la entrada de la luz natural y artificial. Los accesos verticales (dos ascensores y dos escaleras) se sitúan en cada una de las extremidades de la segunda secuencia de salas de exposición. Incluye también un sistema de rampas de 8 a 9 % cuyo desarrollo se procesa en parte en el interior del atrio y en parte en el exterior

---

<sup>18</sup> Considerado uno de los cinco arquitectos más importantes del mundo contemporáneo, el portugués Álvaro Siza firma su primer proyecto en Brasil con aplausos de docenas de publicaciones especializadas en ingeniería y arquitectura en todo el mundo. Seleccionado para proyectar el Museo Iberê Camargo en Porto Alegre, el arquitecto tiene obras de su autoría esparcidas por toda Europa - como el proyecto del Museo Serralves en Oporto y del Centro Gallego de Arte Contemporánea, en Santiago de Compostela. Siza nació en 1933, en la ciudad portuguesa *Matosinhos*. Se recibió por la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Oporto. El arquitecto desde muy temprano se empeñó en el proyecto de no ser tradicionalista sin abandonar sus raíces, construyendo una obra caracterizada por la incesante búsqueda de lo nuevo. Son propias de los proyectos de Siza la complejidad formal y la simplicidad del dibujo con constantes inversiones en los planos horizontales, en la claridad de las formas y en la sofisticación de los espacios. En la nueva sede de la Fundación Iberê Camargo - definida por Siza como una “**casi escultura**” -, luz, textura, movimiento y espacio son cuidadosamente explotados - lo que favorece la relación directa entre el espectador y la obra de arte y enriquece todavía más el contacto con el trabajo de Iberê. El proyecto fue coronado con el premio León de Oro de la 8ª Bienal de Arquitectura de Venecia, uno de los más importantes eventos del área. Homenajado en más de cuarenta muestras individuales, el arquitecto es miembro de la *American Academy of Arts and Science* y *Honorary Fellow* del *Royal Institute of British Architects*, de la *Académie d'Architecture de France* y de la *European Academy of Sciences and Arts*. En 1992 recibió el Premio Pritzker, de la Fundación Hyatt, de Chicago por el conjunto de su obra. La premiación es como el Nobel de las artes. Siza participó activamente de las operaciones arquitectónicas más importantes del mundo como la Olimpiada de Barcelona y la Expo 98 de Lisboa. También integró el equipo que recuperó el *Chiado*, centro histórico de Lisboa destruido por un incendio en 1998. ([www.fundacaoiberecamargo.org](http://www.fundacaoiberecamargo.org))

constituyendo galerías que rodean el volumen del edificio abierto puntualmente en la bellísima paisaje de Porto Alegre. Así, Álvaro Siza describe el proyecto (Figueira et al, 2008).

Para el visitante es una sucesión de pequeños volúmenes hasta el gran cuerpo de cuatro pisos. El acervo de la FIC posee dos núcleos, uno que compone el Acervo Artístico y otro de Acervo Documental. El acervo Artístico constituye de más de cinco mil obras (3246 diseños en gouache, 1570 ilustraciones, 215 pinturas). El Acervo Documental se constituye por más de 20 mil documentos (catálogos, hemeroteca, fotografías, cuadernos de notas, correspondencias, recortes de noticiarios y matrices). Según la Administración del museo la FIC recibe un promedio de 150 mil visitantes al año. El ingreso al museo es gratuito y está abierto de martes a domingo durante todos los meses del año de las 12 a las 19h.

Algunas estrategias se pueden observar en esta obra de arquitectura: la verticalidad, la esbeltez, el atrio como mecanismo concentración y tiraje de aire, la utilización de luz natural cenital difusa, su orientación mayoritariamente norte y el predominio de llenos sobre vacíos.

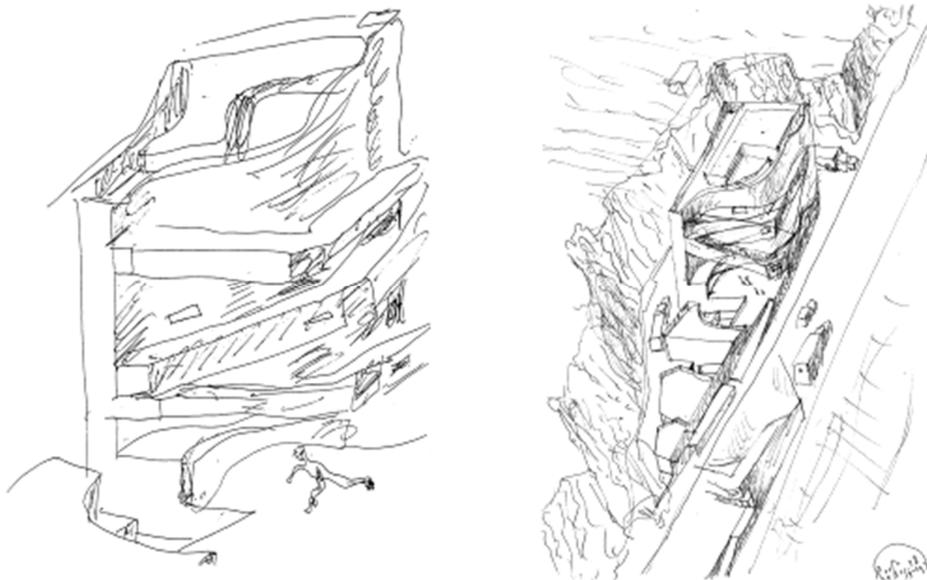


Figura 69. Croquis FIC. Álvaro Siza.  
Fuente: Siza, A. *Fundação Iberê Camargo* (2008).



Figura 70. Fundação Iberê Camargo.  
Foto de la autora

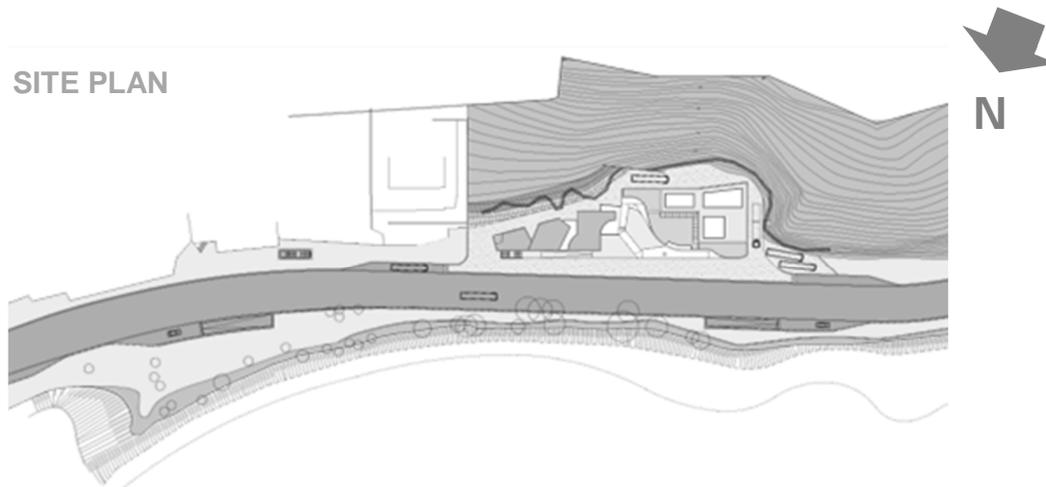


Figura 71. Fundação Iberê Camargo. Implantación.  
Fuente: Siza, A. Fundação Iberê Camargo (2008).

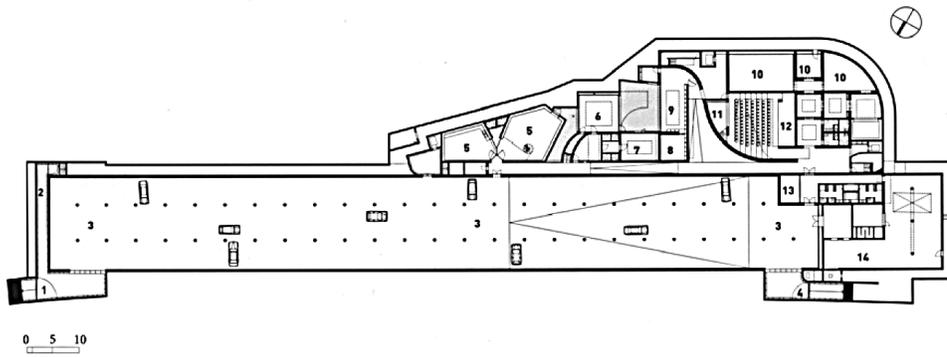


Figura 72. Fundação Iberê Camargo. Subsuelo.  
Fuente: Siza. A. Fundação Iberê Camargo (2008).

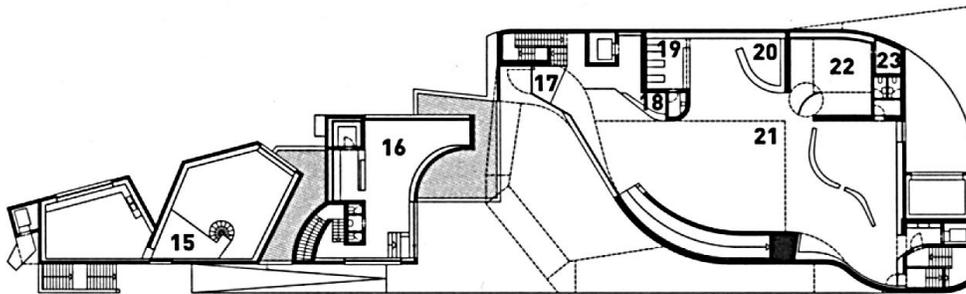


Figura 73. Fundação Iberê Camargo. Primer Piso.  
Fuente: Siza. A. Fundação Iberê Camargo (2008).

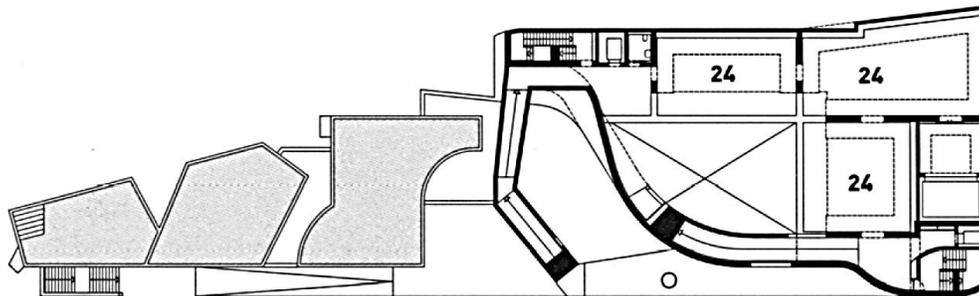


Figura 74. Fundação Iberê Camargo. Segundo Piso.  
Fuente: Siza. A. Fundação Iberê Camargo (2008)

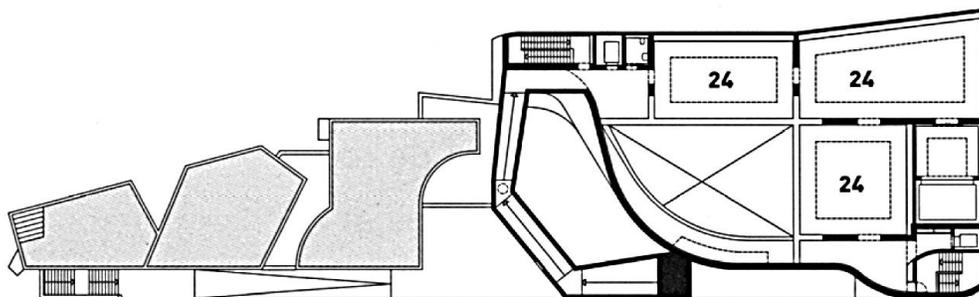


Figura 75. Fundação Iberê Camargo. Cuarto Piso.  
Fuente: Siza. A. Fundação Iberê Camargo (2008)

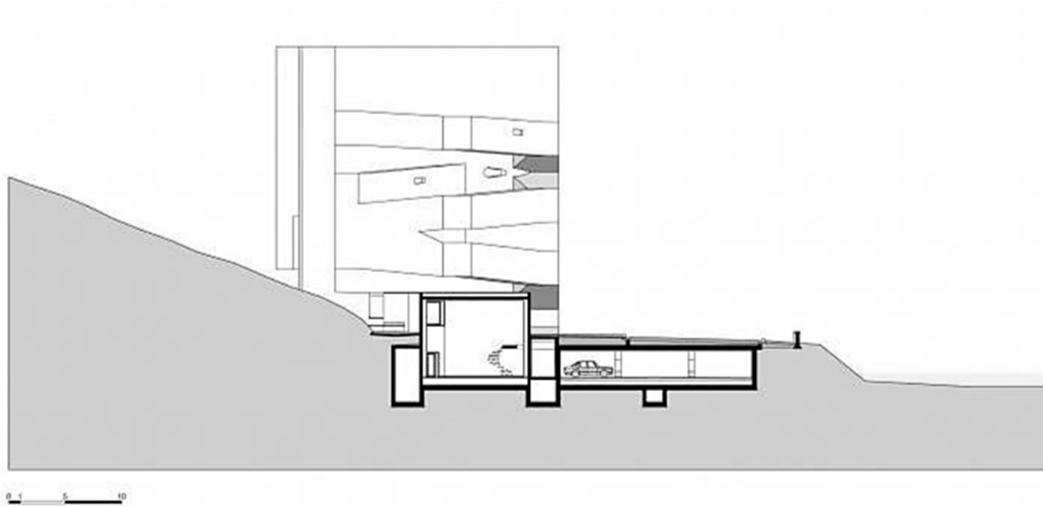


Figura 76. *Fundação Iberê Camargo*. Sección A.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

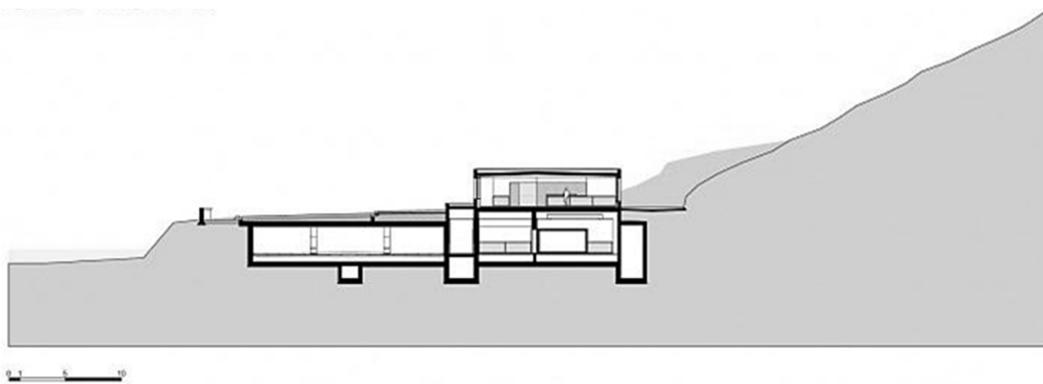


Figura 77. *Fundação Iberê Camargo*. Sección B.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

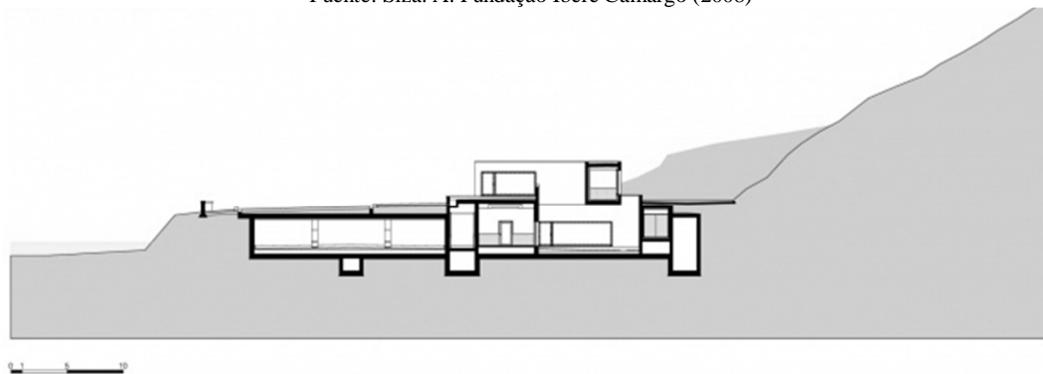


Figura 78. *Fundação Iberê Camargo*. Sección C.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008).

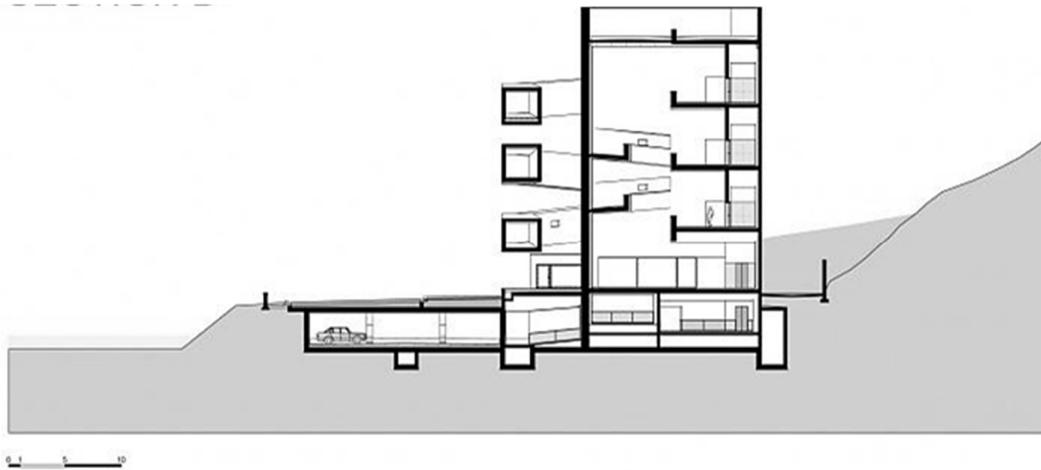


Figura 79. *Fundação Iberê Camargo*. Sección D.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

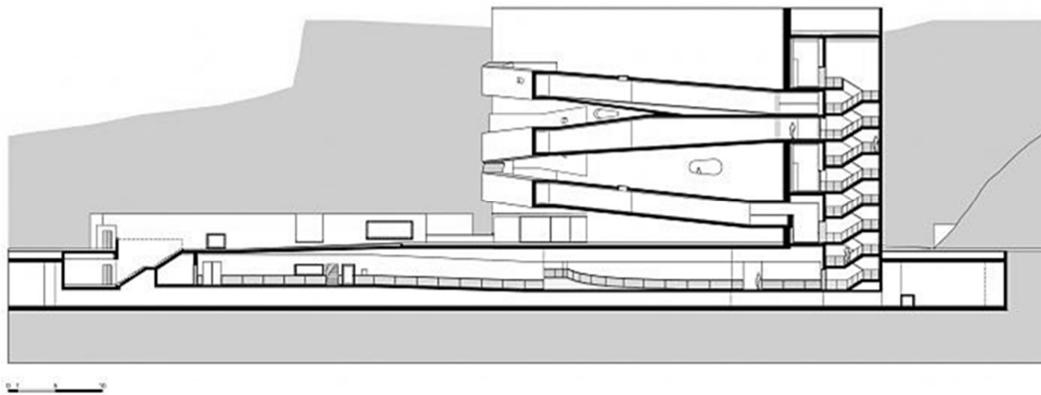


Figura 80. *Fundação Iberê Camargo*. Sección E.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

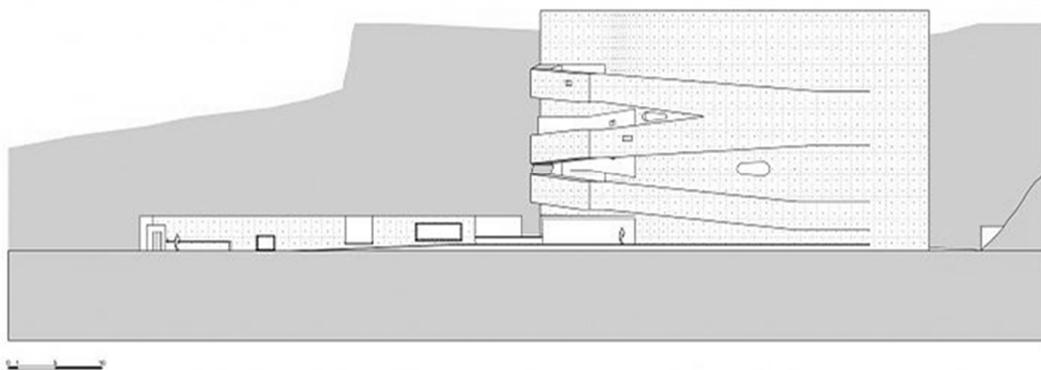


Figura 81. *Fundação Iberê Camargo*. Elevación Norte.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

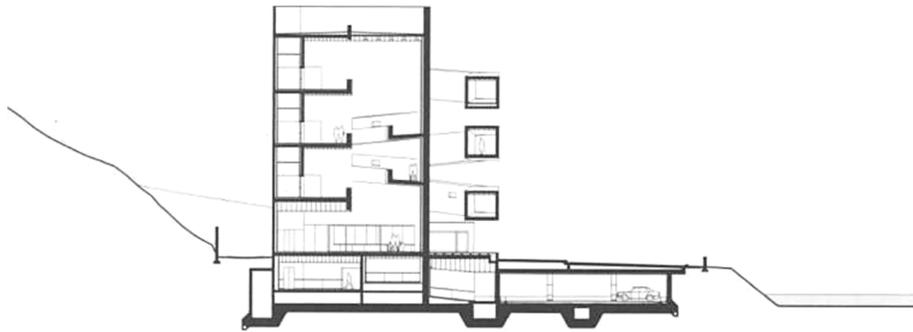


Figura 82. *Fundação Iberê Camargo*. Sección transversal exposiciones.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

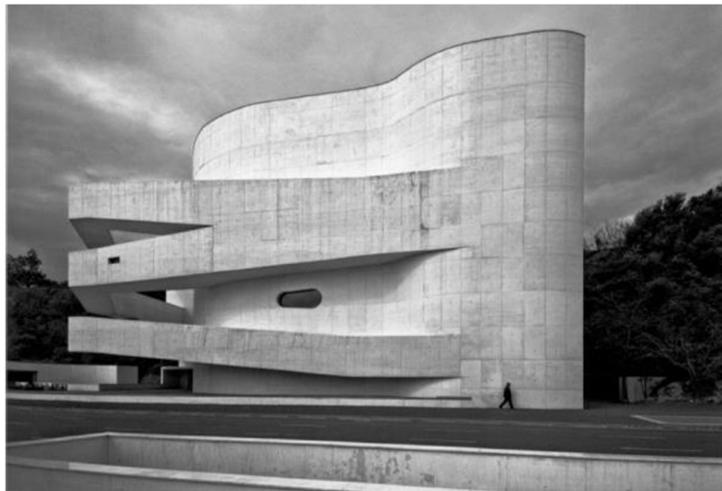


Figura 83. *Fundação Iberê Camargo*. Foto exterior volumen de exposiciones.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)



Figura 84. *Fundação Iberê Camargo*. Vista Interna.  
Fuente: Siza. A. *Fundação Iberê Camargo* (2008)

### 3.3 Análisis de la Compatibilidad Ambiental en los casos de estudio

Para la evaluación de la Compatibilidad Ambiental de los casos de estudio fueron correlacionados tres aspectos:

- Parámetros de la Geometría del edificio y su repercusión térmico ambiental;
- Parámetros Higrotérmicos para las obras de arte;
- Parámetros de Satisfacción Térmica el usuario.

La evaluación de comportamiento térmico ambiental de los casos de estudio se hace con las ecuaciones y diagramas conforme muestran los autores Olgyay (1998), Serra y Coch (1995). Una gran variedad de estudios expresan una fuerte influencia de la forma del edificio y su comportamiento térmico ambiental. Algunas tipologías, como es el caso del museo, presenta variaciones geométricas diferenciadas, por su función y expresividad pero también presentan un importante impacto en lo que se refiere a mejoramiento energético.

En paralelo se revisa el consumo del edificio para el aire acondicionado, que está asociado a las condiciones higrotérmicas para museos. Estas, están relacionadas a la mantención de un clima interior de  $20^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) de temperatura y 50% ( $\Delta \pm 5\%$ ) de humedad. Desde este aspecto se evalúa la conservación de las obras de arte que se basan en la metodología empleada por Gennusa et al. 2008. Posteriormente, se efectúa la evaluación de la satisfacción térmica utilizando encuestas directas a los usuarios (Fanger, 1970).

Los edificios son evaluados simultáneamente bajo los tres aspectos anteriormente mencionados, al final se presentan los resultados.



### 3.3.1 Parámetros de la Geometría del Edificio y su Consumo

La forma de un edificio interviene directamente en el aprovechamiento climático a través de la superficie y el volumen. La relación de la superficie de la edificación con los intercambios de calor con el exterior y el interior son a mayor superficie más capacidad de intercambio de calor. El volumen del edificio está relacionado con la capacidad para almacenar más energía, más volumen y más energía acumulada. Respecto a la orientación Olgyay (1998) afirma que la forma óptima es aquella que pierde la mínima cantidad de calor en invierno y absorbe la mínima cantidad de energía en verano. En sus estudios apunta que la mejor forma es la alargada sobre el eje este-oeste. Desde el punto de vista térmico, se debe solucionar un programa arquitectónico con la menor área posible de cerramiento exterior. Sin embargo, una edificación compacta con poca área de exposición puede ser desfavorable para el aprovechamiento de la luz natural en el ambiente.

Otro modo de cuantificar la relación entre el volumen del edificio y su capacidad de intercambiar calor con el exterior, es el “factor de forma” que es el coeficiente entre la superficie de contacto con exterior y su volumen. Sin embargo, el factor forma no representa necesariamente una configuración sino de tamaño ya que puede ser diferente para edificios de misma forma pero de volúmenes diferentes. Para todos los efectos el concepto de compacidad, definido en esta investigación, es lo que define los autores Serra y Coch (1995), que utilizan ecuaciones adimensionales para eso se levantó toda la información del edificio en archivos digitales. Las dimensiones de cada caso tal como los factores en valores que involucran cada ecuación, son los siguientes: altura, ancho, largos así como, volúmenes, superficie de envolvente y porcentaje de vidrio por fachadas. Se consideran fachadas las superficies externas verticales con inclinación superior a 60°. Estos elementos son directamente influenciados, según la estrategia del proyecto, por la posición y porcentaje de aperturas en ellas. Su relación a la orientación permite ganancia térmica por radiación medida por porcentaje de las superficies transparentes u opacas. Otro elemento importante considerado es la materialidad de cada fachada. Como en los tres casos los muros son de hormigón armado, el ítem aislación difiere su desempeño térmico.

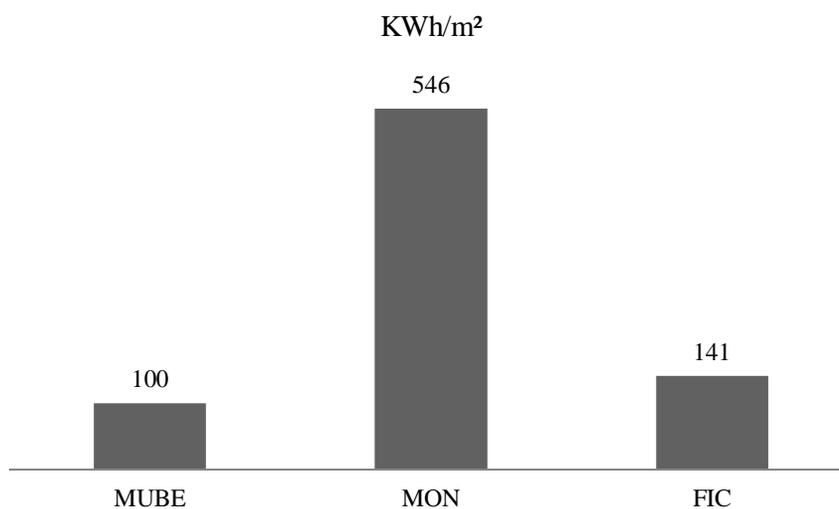
Para el estudio de la geometría de los tres casos, cabe mencionar que de los casos de estudio se tomaron en cuenta solamente espacios de exposición, por lo que solo

se consideró en el caso del FIC el edificio principal ya que los edificios anexos no aplican al concepto de compatibilidad ambiental.

Sabiendo que la geometría del edificio tiene potencial impacto en el consumo, se calcularon los gastos de energía extrayendo los consumos desde las facturas de energía eléctrica del año de 2012(Anexos) y divididos por  $m^2$  de modo que pudiesen ser comparables entre sí.

Para tanto, para homogeneizar los consumos en los tres casos se realizó un ajuste de consumo para el Caso del MUBE, ya que no utilizó el aire acondicionado. Según PROCEL (2001), el aire acondicionado es responsable por 48% del consumo final en los edificios públicos en Brasil, seguido por iluminación: 24%, bombas y máquinas: 13%, y equipamientos de oficina: 15%. Así, se puede estimar el consumo en aire acondicionado del MUBE, durante el periodo analizado. Los valores del MUBE, se ajustaron de  $68 \text{ KW}/m^2$  año para  $100 \text{ KW}/m^2$  año. A continuación, es posible apreciar los consumos de energía eléctrica de cada caso de estudio.

Gráfico 3. Consumo de energía eléctrica de los casos. Elaboración autora.



El próximo apartado hace relación con el cumplimiento de los requisitos higrotérmicos de las obras de arte lo que permitirá evaluar su desempeño en la compatibilidad ambiental al final de este capítulo. El levantamiento realizado respecto de las características definidoras de la forma y su repercusión térmico-ambiental se puede verificar en la tabla a continuación:

Tabla 8. Parámetros de la geometría y consumo MUBE, MON y FIC. Elaboración autora.

Parámetro:	MUBE 	MON 	FIC 
<b>Ape (m<sup>2</sup>)</b>	3071,34	2100	849
<b>Atot (m<sup>2</sup>)</b>	3071,34	2934,5	2450
<b>Aenv (m<sup>2</sup>)</b>	7092,92	5876	4947,5
<b>Vtot (m<sup>3</sup>)</b>	19024	25223	14218,4
<b>Apex (m<sup>2</sup>)</b>	1095	1500	1600
<b>Ados</b>	38	0,5	14
<b>Ase (m)</b>	- 4	+12	-1,4
<b>AfN (m<sup>2</sup>)</b>	0	841,1	1115,26
<b>AfS (m<sup>2</sup>)</b>	386,35	841,1	871,38
<b>AfO (m<sup>2</sup>)</b>	0	976,35	81,6
<b>AfP (m<sup>2</sup>)</b>	353,10	976,35	547,95
<b>PaN (%)</b>	0	0	11,3
<b>PaS (%)</b>	5,25	0	9
<b>PaO (%)</b>	0	73,35	0
<b>PaP (%)</b>	20,82	73,35	0
<b>Altura Total</b>	5	30	25
<b>Compacidad</b>	0,48	0,7	0,57
<b>Esbeltez</b>	0, 01	0,03	0,04
<b>Porosidad</b>	0	0	0
<b>Consumo (KWh/m<sup>2</sup> año)</b>	100	546	141

Siendo;

- **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+Apry=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

De acuerdo con los parámetros extraídos de los tres casos de estudio los resultados son bastante diversos. El MUBE tiene la mayor área de proyección con casi cuatro veces el área de proyección de la FIC. El MON a pesar de tener un volumen muy grande es el que tiene menor superficie envolvente por lo que aumenta su factor de compacidad. El parámetro Adosamiento también tiene su peculiaridad, una vez que la superficie está adosada al suelo no recibe radiación por lo que debe haber algún impacto en su consumo energético. También el parámetro Asentamiento permite otra referencia de la relación con el suelo, mientras más enterrado está el edificio sus superficies también evitan ganancia solar y por ende aumenta su demanda.

Como se observa en la Tabla, el porcentaje de superficie transparente u opaca difiere bastante entre los casos. El MON es el que tiene peor orientación sumado a eso las grandes superficies transparente hacia las fachadas este-oeste representan muchas horas de exposición solar directa, lo que demanda alto consumo de energía para enfriarlo. Según Figuerola (2003) uno de los elementos mejor elaborados en el proyecto son los montantes fijados en los vidrios del “ojo” concebido por el arquitecto de iluminación Peter Gasper. Oscar Niemeyer diseñó los montantes en diagonal y las piezas metálicas en forma hexagonal las que son insertadas entre dos vidrios grises. Además de proteger de la luz natural excesiva dañina para las obras de arte, el recurso no obstruye la vista del bello entorno para quien está dentro del edificio. Sin embargo, según la institución el consumo del edificio es muy alto para mantener el clima interior dentro de las normas de conservación de las obras. Afirman que sin el uso del aire acondicionado la temperatura alcanza medir 55°C en su interior debido a que la protección de las superficies vidriadas es insuficiente. Algunas modificaciones fueron realizadas por la institución para reducir la demanda energética del edificio, así como la instalación de vidrios más oscuros para disminuir la ganancia térmica y lumínica como también la renovación del sistema de aire acondicionado.

Con relación a la orientación, el MUBE, a pesar de que no estar totalmente dirigida hacia el norte, no sufre grandes efectos de radiación solar directa por superficies transparentes y porque está enterrado. El edificio de la FIC, tiene la mejor orientación en virtud de que su fachada principal está en dirección Norte, además de que concentra un porcentaje muy bajo de aperturas especialmente en la fachada sur disminuyendo la pérdida de calor recibido en su interior. A pesar de no ser considerada una característica que se relaciona a la geometría, otro parámetro que merece ser destacado es la

materialidad en hormigón armado, presente en los tres casos. Respecto al hormigón armado, en la FIC el espesor del muro tiene un promedio de 35 cm mientras que en el MUBE el espesor es de 25cm pero solo la FIC posee aislación interior y enfriamiento con agua fría en la cobertura y rampas exteriores. Cabe destacar lo que Paulo Mendes da Rocha dice sobre la horizontalidad generada con la creación de la plaza superior, la losa que recibe el agua lluvias escurre por los tableros prefabricados y funciona como protección mecánica de la impermeabilización, ya que la plaza habitualmente estaría muy concurrida por los usuarios. Finalmente en los análisis hechos sobre las características geométricas de cada caso se notan ciertas diferencias, entre ellos principalmente en relación al consumo donde se observan valores variados.



### 3.3.2 Parámetros Higrotérmicos para las Obras de Arte.

El clima interior en los edificios de museo está relacionado a dos importantes requisitos: la preservación de las obras de arte y el confort de sus visitantes o aquellos que trabajan en su interior. Estos requisitos corresponden a los principales desafíos de ese tipo de edificio. Lamentablemente, algunos materiales presentes en las obras de arte tienen diferentes requisitos de temperatura y humedad entre sí, además dar satisfacción térmica al usuario simultáneamente siendo difícil el control del clima interior de edificios de museo.

Entendiendo que el museo debe satisfacer simultáneamente los requerimiento higrotérmicos para las obras de arte y el confort térmico del usuario, el método aquí aplicado se basa en el *Simultaneous Index (SI)* (Gennusa, 2008). En este sentido, el objetivo de este subcapítulo trata de evaluar el cumplimiento de la temperatura y humedad para las obras exhibidas, a su vez para con los resultados de satisfacción térmica del usuario incorporar el concepto de Compatibilidad Ambiental.

En cada uno de los tres casos de estudio mencionados, se tomó registro de la temperatura y humedad del ambiente. Estos datos se tomaron in situ o de acuerdo con los registros ambientales proporcionados por cada institución, en invierno y verano pues son los periodos de mayor demanda de energía. Con los datos climáticos se evaluó el cumplimiento de la satisfacción térmica del usuario con los requisitos para varios tipos de obras de arte. Los datos registrados pueden ser vistos en la Tabla 9 a continuación.

Tabla 9. Registro de Temperaturas MUBE, MON y FIC. Elaboración autora.

		MUBE	MON	FIC
<b>Verano</b>	Temperatura	23,9 °C	21,4 °C	21,95°C
	Humedad	75 %	52 %	53,9%
<b>Invierno</b>	Temperatura	23,7 °C	21,4 °C	20,37 °C
	Humedad	42,16 %	50,2 5 %	51,07 %

La toma de los registros de temperatura y humedad del ambiente fue fundamental para analizar cuál de los tipos de materiales presentes en los objetos de arte son atendidos por estos parámetros higrotérmicos. Notase en los tres casos que la temperatura de los ambientes está cerca de los 20°C y 50% de humedad relativa

recomendado por gran parte de la bibliografía. Sin embargo, la variación del nivel de humedad en el Caso del MUBE es bastante alta en invierno y en el verano comparado con la FIC y el MON. También es importante considerar que tanto el MON como la FIC operaban con acondicionadores de aire, en cambio el caso del MUBE no utilizaba ningún sistema mecánico de acondicionamiento de aire.

Con relación al parámetro, en este estudio para el requerimiento para las obras (RO) se eligió la UNI 10829 por tratarse de la más completa referencia bibliográfica existente en lo que se refiere a condiciones higrotérmicas para las obras de arte, en efecto, su listado compone 42 ítems. A partir de esta norma, se elaboró una lista que contiene los 42 ítems con sus requerimientos higrotérmicos correspondientes con las tres columnas a la derecha, una para cada caso de estudio (A, B, y C). Luego, para cada ítem atendido del listado se asignó un punto por la temperatura y otro punto por la humedad, siempre comparando esto con los datos obtenidos en situ- conforme Tabla 9, anteriormente mencionada.

Por ejemplo, en la primera línea de la materialidad de la obra está el ítem: Papel, papel maché, papel ilustración y un pañuelo de papel, según esta norma sus requerimientos higrotérmicos son: temperatura entre 18 a 22 °C, con variación de 1,5°C y humedad relativa entre 40 a 55%. Al analizar el Caso de estudio A donde la temperatura registrada en el verano era de 23°C y 75% de humedad relativa, el valor de RO en este ítem es igual a cero ya que no cumple ni con la temperatura y la humedad relativa a este ítem. El mismo Caso A pero analizando el segundo ítem (Papiros, impresiones, materiales de celulosa) su RO es 1 ya que atiende al menos al criterio temperatura. Así sucesivamente en todos los ítems, totalizando el RO para cada caso de estudio.

Cabe destacar que la valoración máxima que sería 100%, es decir, 84 puntos es imposible alcanzar dado que algunos ítems del listado especificado en la UNI10829 poseen diferentes requerimientos higrotérmicos. Las Tablas 10 y 11 a seguir, corresponden a la evaluación de los Requerimientos para las Obras (RO) para invierno y verano para los tres casos de estudio respectivamente.

Tabla 10. Verificación de requisitos para las obras. Verano. Adaptado por la autora.

Materialidad de la obra de arte	Requerimientos			Casos		
	$\theta\theta$ (°C)	$\Delta\theta$ . (°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	0	2	2
Papiros, impresiones, materiales de celulosa	15-24		50-60	1	2	2
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	0	2	2
Entomológica colecciones	19-24	1.5	40-60	1	2	2
Animales y órganos anatómicos conservados en formol	15-25	_	N.S.	2	2	2
Animales, órganos secos, momias.	21-23	1.5	20-35	0	1	1
Pielés, 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	1	2	2
Colecciones etnográficas, máscaras, cuero, ropa de cuero	19-24	1.5	45-60	1	2	2
Pintura sobre lienzo de pintura al óleo, sobre tela y lienzo, temple, gouaches	19-24	1.5	40-55	1	2	2
Los documentos, material de archivo	13-18	_	50-60	0	1	1
Libros de gran valor, libros encuadernados en cuero, encuadernaciones de cuero, pergamino, miniaturas	19-24	1.5	45-55	1	2	2
Laca, marquetería, decoración o muebles de laca	19-24	1.5	50-60	1	2	2
Tallas policromadas de madera, madera pintada, pinturas en madera, iconos, relojes de péndulo de madera,	19-24	1.5	50-60	1	2	2
Instrumentos musicales de madera			45-65	1	2	2
Tallas de madera sin pintar, cestería, corteza	19-24	1.5	45-60	1	2	2
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	1	2	2
Mosaicos de piedra, piedras, rocas, meteoritos, rezar (no poroso), fósiles y las colecciones de piedra	15-25	_	20-60	1	2	2
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	2	1	1
Oro	N.S.	_	N.S.	2	2	2
Yeso y escayola	21-23	1.5	45-55	0	2	2
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	0	1	1
Murales en seco (independiente)	6-25	_	45-60	1	2	2
	10-24	_	50-45	1	1	1
Marfiles, cuernos, colecciones malacológica, huevos, nidos, los corales	6-25	_	45-60	1	2	2
	19-24	1.5	40-60	1	2	2
Fonogramas	10-21	_	45-60	0	1	1
Las fibras hechas por el hombre			40-60	0	1	1
Cine, fotografía a color	19-24	_	40-60	1	2	2
	0-15	_	30-45	0	1	1
Cine, fotografía blanco y negro	15-5	_	30-50	0	0	0
	5-15	_	40-60	0	1	1
	2-20	_	20-30	0	0	0
Plásticos	19-24	_	30-50	0	1	1
			Puntaje	29	59	59
			<b>RO VERANO %</b>	<b>35</b>	<b>72</b>	<b>72</b>

\* A: MUBE, B: MON, C: FIC

Tabla 11. Verificación de requisitos para las obras. Invierno. Adaptado por la autora.

Materialidad de la obra de arte	Requerimientos			CASOS		
	$\theta$ (°C)	$\Delta\theta$ (°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	1	2	2
Papiros, impresiones, materiales de celulosa	15-24		50-60	1	2	2
De tela, velos, cortinas, alfombras, tapicería de tela, Arras, de seda, trajes, vestidos, ornamentos religiosos, materiales de fibras naturales, sisal, yute	19-24		30-50	2	1	1
Ceras anatómicas de cera	<18	N.S	40-60 N.S.	1 0	1 0	1 0
Colecciones de herbarios y botánicos	21-23	1.5	45-55	0	2	2
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, momias	21-23	1.5	20-35	0	1	1
Pieles, plumas, animales de peluche y las aves	4-10	1.5	30-50	1	0	0
Acuarelas, dibujos, pasteles	19-24	1.5	45-60	1	2	2
Colecciones etnográficas, máscaras, cuero, ropa de cuero	19-24	1.5	45-60	1	2	2
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	0	1	1
Libros de gran valor, libros encuadernados en cuero, encuadernaciones de cuero, pergamino, miniaturas	19-24	1.5	45-55	1	2	2
Laca, marquetería, decoración o muebles de laca	19-24	1.5	50-60	1	2	2
Tallas policromadas de madera, madera pintada, pinturas en madera, iconos, relojes de péndulo de madera, Instrumentos musicales de madera			45-65	0	1	1
Tallas de madera sin pintar, cestería, corteza	19-24	1.5	45-60	1	2	2
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, rezar (no poroso), fósiles y las colecciones de piedra	15-25	-	20-60 45-60	2 0	2 1	2 1
Metales, aleaciones metálicas pulidas, plata, armaduras, armas, de bronce, monedas, objetos de cobre, estaño, hierro, acero, plomo, estaño	N.S.	-	<50 <55	2 1	1 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	0	2	1
Vidrio inestable, sensible e iridiscente, mosaicos de vidrio sensibles	20-24	1.5	40-45	2	1	1
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	1	2	2
Marfiles, cuernos, colecciones malacológica, huevos, nidos, los corales	6-25	-	45-60	1	2	2
	19-24	1.5	40-60	2	2	2
Fonogramas	10-21	-	45-60	0	2	2
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	1	0	0
Cine, fotografía blanco y negro	15-5	-	30-50	1	0	0
	5-15	-	40-60	1	1	1
	2-20	-	20-30	0	0	0
Plásticos	19-24	-	30-50	2	1	1
			Puntaje	47	60	59
			<b>RO Invierno %</b>	<b>57</b>	<b>73</b>	<b>72</b>

\* A: MUBE, B: MON, C: FIC

En los casos del MON y FIC tanto en invierno como en verano, se ha observado, la utilización de equipos controladores del aire afectan estos resultados y en consecuencia en el consumo pero mantiene en condiciones más estables los objetos de arte tanto respecto a la temperatura, como con la humedad. En el caso del MUBE se nota un porcentual de RO bastante inferior, ya que no utiliza alguna estrategia de acondicionamiento de aire artificial. Para el clima subtropical húmedo, los altos niveles de temperatura y humedad del aire, requieren la utilización de equipos para mantener las obras de arte en los niveles establecidos.

Los resultados se muestran en porcentaje de acuerdo con los datos obtenidos en el registro ambiental y los requerimientos para las obras de arte. También, es importante observar los valores del consumo de energía eléctrica del edificio para cumplir la función de conservación y preservación de las mejores condiciones ambientales para las obras. Los resultados son bastante semejantes para FIC y MON, aunque levemente dispares con relación al consumo energético, debiéndose en parte por su estrategia de diseño. Obviamente, el MUBE refleja el menor consumo, pero se considera que el clima no está adecuado para las obras de arte y por lo tanto no cumple su rol ambiental. En la Tabla 12 a continuación, se observan los resultados de desempeño de los tres casos con relación al requerimiento de las obras de arte-RO en comparación con el consumo energético del edificio.

Tabla 12. Requerimientos de las obras de arte (RO). MUBE, MON y FIC. Autora.

<b>Parámetro</b>		<b>MUBE</b>	<b>MON</b>	<b>FIC</b>
<b>RO (%)</b>	Verano	35	73	72
	Invierno	57	72	72
<b>Consumo (Kwh/m<sup>2</sup> año)</b>		100	546	141

Se puede concluir aquí, que existe una similitud bastante grande en los casos de FIC y MON en el requerimiento de control de las obras de arte, aunque es exponencialmente diferente su consumo energético para alcanzar los mismos resultados. Eso se debe ciertamente a las estrategias geométricas propias del edificio que como se ha visto ejercen gran impacto en el consumo. En la siguiente sección, se evalúan los requerimientos higrotérmicos para el usuario con los mismos registros ambientales

tomados para evaluar el cumplimiento de las obras de arte con el objetivo de evaluar algunas diferencias de desempeño en los casos de estudio.

### 3.3.3 Parámetro de Satisfacción Térmica de los usuarios

El objetivo de este apartado es evaluar la satisfacción térmica de los usuarios de los casos de estudios con relación a su satisfacción térmica. Tal como se ha mencionado en el capítulo 2, se utilizó una encuesta directa basada en la metodología de Fanger (1970) para evaluar la aceptabilidad del ambiente térmico.

Para esto, fueron consultados 264 visitantes con un tramo de edad entre los 18 y 65 años, en los periodos de invierno y verano de 2012. El número de consultas es equivalente al promedio de visitas diario en cada caso según la institución. Los usuarios fueron consultados según esta cantidad informada siendo en la FIC (45 personas en verano/50 en invierno), en el MON (30 personas en verano/ 50 en invierno) y en el del MUBE (39 personas en verano/ 50 en invierno) todas las consultas fueron realizadas en el periodo de la tarde, entre 15 y 17h y aproximadamente 15 o 20 min luego de su ingreso a la exposición, puesto que es el periodo de mayor ocupación en los tres casos.

En el cuestionario piloto (ver apéndice Consulta Satisfacción Térmica Verano) los usuarios contestaron a la pregunta de satisfacción térmica: “¿En relación a su satisfacción térmica, como te sientes en ese momento?”. Se utilizó una ponderación de nueve niveles basada en la escala de *kano* adaptada por Tontini y Santana (2007) en la cual, según los autores, el encuestado posee mayores posibilidades de expresar el nivel de satisfacción. Es importante considerar que el propósito fue verificar la satisfacción con el ambiente térmico y no determinar los rangos de temperatura ideal para el confort, por lo que se considera útil esta escala. Se consideró satisfecho a los visitantes que eligieron los niveles de 1 al 4, como muestra la Tabla 13 a continuación:

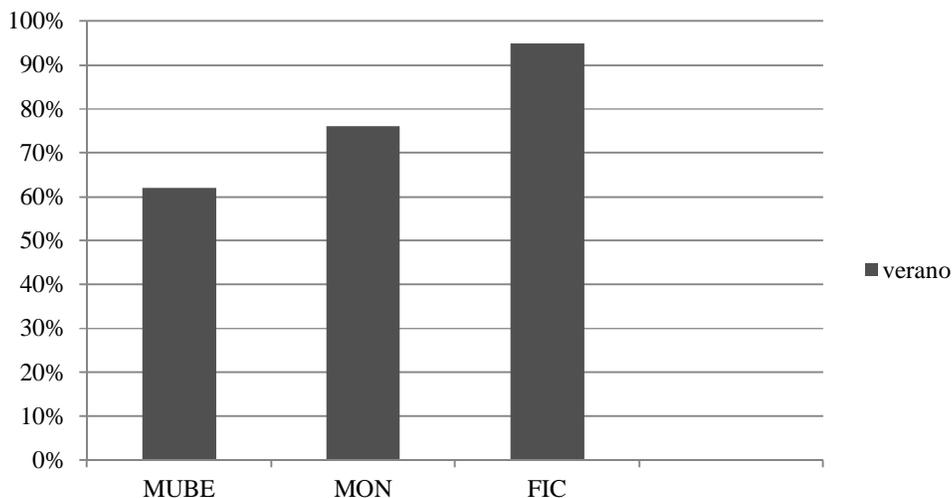
Tabla 13. Escala tipo Likert de atributos para Satisfacción Térmica del visitante.

Consulta Piloto. Adaptado por la autora

Extremamente Insatisfecho	Muy Insatisfecho	Insatisfecho	Levemente insatisfecho	Indiferente	Levemente satisfecho	Satisfecho	Muy Satisfecho	Extremamente Satisfecho
-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4

Al aplicar la consulta piloto en el verano, se verificaron resultados discrepantes en los tres casos para este período como es posible visualizar en el Gráfico 2, a continuación:

Gráfico 2. Satisfacción Térmica de los visitantes en verano



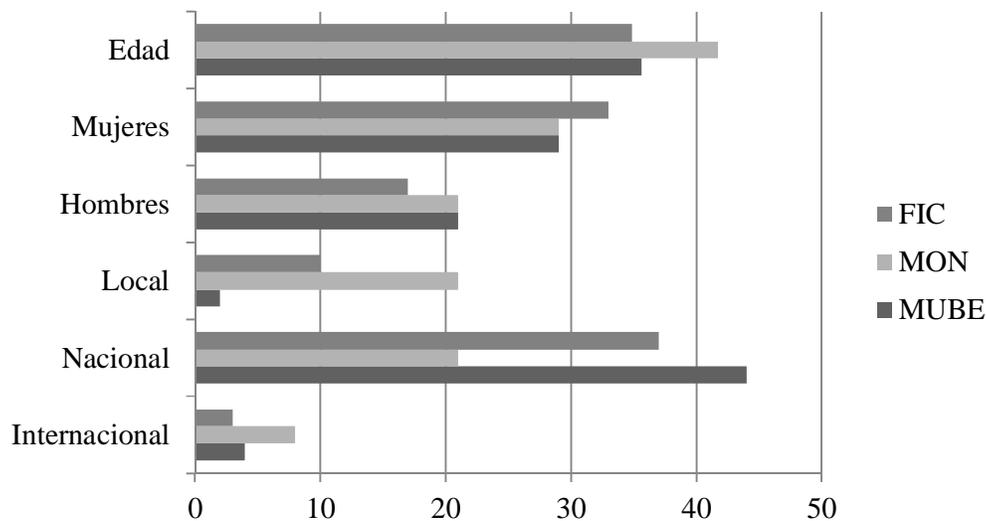
Debido a las diferencias entre los tres casos, se propuso la aplicación de una nueva consulta en invierno (ver apéndice consulta Satisfacción Térmica Invierno) con un método reconocido para medir la satisfacción con el ambiente térmico. Es importante recordar que, conforme visto en el Capítulo 2, este método considera que el ambiente es confortable cuando 90% de las personas están satisfechas, es decir, las personas que eligieron los niveles de -1 a 1, según la siguiente escala:

Tabla 14. Escala de Satisfacción Térmica. (Fanger)

Muy frío	Con frío	Levemente con frío	Neutro	Levemente con calor	Con Calor	Muy Caluroso
-3	-2	-1	0	1	2	3

Además con la nueva escala se buscó caracterizar el perfil del visitante con el fin de encontrar variables importantes. Con todo, se observa que el perfil de los visitantes consultados en los tres casos son bastantes similares. De las 150 personas encuestadas en este periodo, 10% eran visitantes internacionales, 68% de los visitantes eran visitantes nacionales- oriundos de diversas partes de Brasil y 22 % de los visitantes eran locales<sup>19</sup>. También se observó que la mayoría (60%) de los visitantes eran mujeres y 40% eran hombres y el promedio de edad de 34,9 años de edad. El Grafico 3 a continuación, muestra las características de los visitantes consultados en el período de invierno de 2012 en cada caso de estudio.

Gráfico3. Características de los visitantes consultados. Elaboración propia.

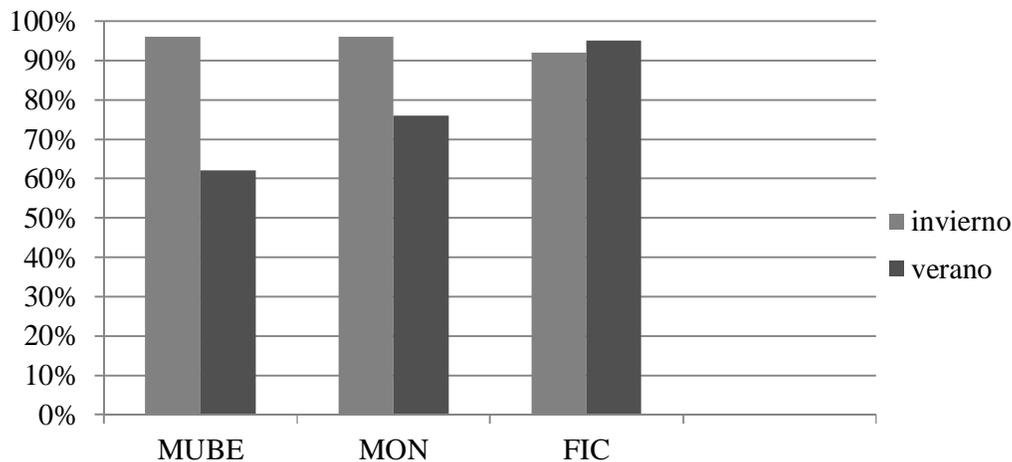


El gráfico de arriba permite visualizar que el perfil de los visitantes es variado aun cuando bastante uniforme en los tres casos, especialmente en lo que refiere a origen y género. El edificio que abriga las obras de arte en este caso debe atender la mayor cantidad de personas satisfechas sin discernir edad, género u origen ya que en las características de los el museo actuales con potencial turístico, reciben personas de distintas regiones del país y del mundo. Por esto no se puede definir una satisfacción térmica local, validando por lo tanto la utilización del método de Fanger- de enfoque racional.

<sup>19</sup> Se consideró local a las personas provenientes del mismo estado donde se encuentra el museo.

A continuación, en el Gráfico 4, es posible ver el desempeño en cuanto a la satisfacción térmica de los usuarios en los tres casos, en los dos periodos consultados:

Gráfico 4. Satisfacción Térmica visitantes (%). Elaboración propia



Se observa que la FIC mantiene la satisfacción de los usuarios superior al 90% de los dos periodos. Mientras que el MUBE y MON presentan satisfacción térmica superior a 90% en invierno, en verano los dos casos presentan resultados bien inferiores a los 90%. Es importante volver a comparar los valores consumos de energía de los edificios ya que, como se ha mostrado, el edificio tiene que cumplir el objetivo de dar confort a sus usuarios. A seguir, la Tabla 13 expresa los resultados numéricamente para mayor detalle.

Tabla 13. Satisfacción Usuarios (SU). MUBE, MON y FIC. Elaboración propia

<b>Parámetro</b>		<b>MUBE</b>	<b>MON</b>	<b>FIC</b>
<b>SU (%)</b>	Verano	62	76	95
	Invierno	96	96	92
<b>Consumo (Kwh/m<sup>2</sup> año)</b>		100	546	141

Es importante que el clima interior de los museos haya cumplido los valores higrotérmicos para la mayoría de los usuarios (90%) así es considerado satisfactorio. Mas es menester considerar que el ambiente de museo debe también atender a la mayor cantidad de requerimiento higrotérmico de las piezas en exhibición para que pueda ser considerado compatible. Por lo que se propone en el punto a continuación, una ecuación

que envuelva los dos requisitos y entonces volver a comparar con el consumo de energía del edificio y finalmente observar que características de la forma son definidoras de un mejor desempeño ambiental en este clima, según la C.A.

### 3.3.4 Ecuación de la Compatibilidad Ambiental

Se ha denominado Compatibilidad Ambiental (CA) al valor determinado por el cumplimiento de los requisitos de las obras de arte (RO) y de la satisfacción térmica de los usuarios (SU) en los periodos climáticos extremos (invierno/verano). La C.A. puede ser expresada a través de la siguiente ecuación:

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

### 3.3.5 Resultados de C.A. para los casos de estudio

Con el levantamiento de las informaciones anteriormente apuntadas, es posible obtener el factor de Compatibilidad Ambiental-CA para los tres casos de estudio:

-*Museu Brasileiro da Escultura* (MUBE): CA= SU+ RO

CA= (62+96+57+35).0,25 CA= **62,5 %**

-*Museu Oscar Niemeyer* (MON): CA= SU+ RO

CA= (76+96+73+72). 0,25 CA= **79,2%**

-*Fundação Iberê Camargo* (FIC): CA= SU+ RO

CA= (95+92+72+72).0,25 CA= **82,7 %**

Tabla 16. Resultados de C. A. y consumo de los casos de estudio. Elaboración propia.

Parámetro	MUBE	MON	FIC
C.A. (%)	62,5	79,2	82,7
Consumo (Kwh/m <sup>2</sup> año)	100	546	141



### 3.4 Conclusión y discusión de resultados de los casos de estudio

Los tres edificios presentan expresiones formales singulares: se encuentran emplazados en el mismo clima, tienen exposiciones similares, están contruidos en su mayor parte por hormigón armado a la vista y tienen proporciones similares de público pero sin embargo, con características de forma muy distintas entre sí.

Los resultados expresan una notable diferencia entre los tres casos aunque no de manera regular ya que dos de ellos presentan una similar satisfacción de los usuarios encuestados. En cambio, en cuanto a la preservación de las obras, en dos casos se constatan valores relevantes. Esto evidencia situaciones distintas que se relacionan con sus configuraciones arquitectónicas y condiciones de ocupación detectadas. Por ejemplo, en ambos valores el FIC presenta condiciones adecuadas, en cambio el MUBE es inferior en los dos requerimientos (SU y RO). Por otra parte, el MON presenta insatisfacción de usuarios pero una mantención de obras adecuada. Esto se puede vincular con las estrategias de forma y gestión de cada edificio. En los casos de FIC y MON hay que considerar que el ambiente estaba siendo climatizado por aire acondicionado, en tanto que en MUBE no se utilizaba ningún tipo de equipamiento de climatización.

En el MUBE el partido arquitectónico (semi-enterrado) reduce el área de radiación lo que permite una menor ganancia térmica y por ende menor consumo energético. Su sistema de aire acondicionado está diseñado para atender todo espacio expositivo. Sin embargo, las salas funcionan independientemente, motivo por el que se mantiene apagado gran parte del tiempo. En la FIC el edificio consume del 30% al 40% menos energía que una construcción convencional según datos oficiales de la institución. Cuenta con una estrategia de aprovechamiento de aguas pluviales y una estación de tratamiento de residuos sólidos y líquidos. Asimismo, mantiene el acervo con exposiciones permanentes y transitorias con gran éxito, cumpliendo con las exigencias y estándares ambientales internacionales para museos.

El de FIC es un volumen compacto en cuatro pisos con un atrio que los conecta, además tiene la mayor cantidad de superficie opaca. El MON se trata de un volumen elevado de un solo piso de exposición, con una superficie translúcida de 100% en ambas fachadas. El MUBE es un volumen de un piso con tres salas conectadas entre sí pero bajo tierra en dos de las cuatro fachadas las cuales tienen un comportamiento diferente

en relación al clima que pudiese afectar directamente el nivel de satisfacción térmica del usuario.

Se ha comprobado que a partir de esos dos análisis, en el caso del FIC, este obtuvo buen desempeño tanto en la satisfacción del público encuestado como en la tabla requerimiento para las obras. Se podría inferir por lo tanto, que las características de su forma, la reducción de superficie transparente, su gestión de sistema ambiental y su característica tipológica vertical con atrio central, ha contribuido para una adecuación ambiental. Por ende, el caso del MUBE, que expresa un buen confort térmico para el usuario puede deberse a una reducción del área expuesta y su tipología extendida y semienterrada. Mientras que, en el caso del MON, presenta un bajo desempeño para los visitantes y puede deberse a su forma erguida, translúcida y escasa gestión ambiental. Aunque los tres casos mantienen características de expresividad formal, aunque no está contemplado a profundizarse en este estudio.

Los resultados de los casos de estudio de los capítulos anteriores demuestran la importancia de la geometría del edificio en particular en el consumo de energía eléctrica para las condiciones higrotérmicas interiores, para asegurar en la compatibilidad ambiental del diseño de edificios de museo en el clima subtropical húmedo de Brasil.

Es importante considerar que no existe un cien por ciento de compatibilidad ambiental, ya que se ha visto diferentes necesidades higrotérmicas para distintos materiales y que el ambiente es aceptable ambientalmente cuando noventa por ciento siéntense satisfechas con la condición higrotermica. Un resultado llamado de la compatibilidad máxima en relación a estas condiciones, es un resultado de C.A. de 81,5 %, para la temperatura interior de 20°C variando 2° y 50% de humedad del aire con variación de 5%. Eso presupone que el edificio del museo debe ser concebido por lo tanto, para alcanzar estos indicadores con menor consumo energético.

A continuación, el capítulo cuatro presenta las condiciones definidoras de la forma del caso con mejor desempeño en la C.A. para conformación de nuevos edificios que mantengan las mismas características, aunque presenten distintas “siluetas”, para promoción de la expresividad de los edificios de museo y bajo consumo energético.

# Capítulo 4



#### 4. COMPATIBILIDAD AMBIENTAL Y MODELACIÓN PARAMÉTRICA

En este capítulo se mostrará la implementación y generación de algunos ejemplos de geometrías para edificios de arte en la zona subtropical húmeda en el Brasil, integrando las características geométricas analizadas en esta tesis.

Se propone la inserción de una herramienta de diseño paramétrico con el fin de alcanzar el objetivo propuesto en esta investigación, el de apoyar en el diseño de museos. Las relaciones y variables consideradas en la modelación paramétrica se describen mediante la programación en Grasshopper® orientado a generar geometrías arquitectónicas que promuevan la Compatibilidad Ambiental.

Esta propuesta experimental pretende conseguir soluciones, o al menos condiciones, que ordenen el confuso camino de las nuevas soluciones espaciales. Su ámbito estará delimitado dentro del marco de la tesis que se lleva a cabo, tomando en cuenta la evolución del museo tradicional hacia la expresividad y la Compatibilidad Ambiental para edificios de museo de arte en el clima subtropical húmedo.

Con esto no se pretende cambiar los modos tradicionales del diseño y la arquitectura, sino por el contrario, se busca evolucionar y fortalecer dichas prácticas a través del aprovechamiento de herramientas computacionales. Tampoco esta propuesta de herramienta pretende la determinación de soluciones únicas, sino más bien se ofrece en presentar exploraciones de diseño arquitectónico, en donde las características y concepto de Compatibilidad Ambiental son aplicados a una herramienta de utilidad para diseño. Esta herramienta se evaluó a través de convocatoria de *workshop* con profesionales del área, orientado a evaluar y validar el proceso de diseño y puesta en marcha.



## 4.1 Modelación Paramétrica

Con origen en las matemáticas, el término paramétrico refiere a un valor o medida sobre la cual algo depende generalmente representado por una variable que puede ser alterada.<sup>20</sup>El concepto de paramétrico en el diseño ha sido asociado a la noción de variación del diseño, específicamente en el desarrollo de la representación computacional de un objeto y su modelado geométrico (Mitchell, 1994; Mc Cullough y Mitchell, 1996).

Los sistemas paramétricos se presentan como una nueva alternativa donde se combinan conceptos de diseño y programación para ser adaptados al campo del diseño, buscando explorar las posibilidades existentes en torno al desarrollo de una idea geométrica y para construir una nueva forma de pensar los problemas en este campo.

Actualmente existe un sinnúmero de herramientas de modelado tridimensional que le permiten al diseñador representar geometrías en una pantalla. Sin embargo, estas cuentan con limitantes que no permiten que el proceso de modificación de la misma pueda ser efectuado de forma rápida y fácil. El diseño paramétrico ofrece la posibilidad de encontrar nuevas maneras de originar soluciones y de controlar el proceso de diseño. De esta manera, se produce tanto una automatización respecto a la definición de las geometrías, así como en la generación de un modelo que posibilita cambios y/o ediciones al diseño de manera ágil y significativa (Tedeschi, 2011).

La modelación paramétrica, también conocida por el concepto de modelado por restricción, introduce un cambio en el proceso de diseño, relacionando y alterando informaciones involucradas de manera sistematizada (Woodbury, 2010).

Entonces, se puede decir que estos sistemas se componen de mecanismos relativamente simples que consiguen asociar y entregar de forma rápida resultados en torno a la manipulación e integración de diferentes criterios de diseño. De esta manera, el diseño puede llegar a ser concebido como una búsqueda óptima y apropiada para asistir a la Compatibilidad Ambiental.

Para el establecimiento del modelo paramétrico, primeramente describe algunas condiciones para promover la compatibilidad ambiental en el diseño, las que

---

<sup>20</sup> Un parámetro es un término constante o variable en una función que determina su forma específica. Una ecuación paramétrica generalmente relaciona dos o más variables.

posteriormente se insertaron en la herramienta de diseño desarrollada. Esta se muestra a continuación.

## **4.2 Condiciones para el diseño paramétrico y la Compatibilidad Ambiental**

A continuación, se presentan las características definidoras de la forma del caso que obtuvo un mejor desempeño en relación a la C.A. en edificio de museo en el clima subtropical húmedo de Brasil. El objetivo de estas condiciones es dar conocimiento de algunos aspectos a considerar para concepción de nuevos edificios y orientar el diseño.

Las consideraciones que aquí son descritas están destinadas a promover la expresión, funcionalidad y compatibilidad ambiental en los edificios de museo de arte. Las consideraciones están basadas en la evolución histórica de la arquitectura de museos y en los principios de arquitectura bioclimática, también se incluye la revisión de los tres casos de estudio profundizados anteriormente. De acuerdo con los casos analizados, se describen las siguientes condiciones:

### **4.2.1 Orientación**

Para el clima subtropical húmedo de Brasil, se considera idealmente que el edificio debe estar dispuesto en un eje central orientado en el sentido este-oeste de modo que tenga su mayor fachada hacia el norte.

### **4.2.2 Situación Urbana**

Se considera importante que los museos estén ubicados tangentes a áreas centrales de la ciudad. Preferentemente en zonas de renovación urbana, cercanas a otros servicios de esparcimiento y/o conformar circuito cultural. Se recomienda un entorno urbano con amplitud visual, despejado horizontalmente a nivel peatonal para que se perciba a la distancia. También se debe tener como mínimo un área abierta contigua equivalente al doble de su área ocupada en parques o vías anexas. Con relación a accesibilidad, esta refiere a la sugerencia de una topografía más bien plana, la cual también facilita su ejecución.

### **4.2.3 Compacidad**

Debe ser considerada para la concepción del edificio, una compacidad intermedia (0,5). Para el clima subtropical húmedo de Brasil es recomendable un factor de compacidad como el que se señala en la gráfica del Apéndice A.

### **4.2.4 Porosidad**

Con relación a la porosidad se considera importante un factor de porosidad cero, es decir, que el edificio no contenga patios internos. Esto porque puede haber una pérdida del control de clima interior debido a su presencia. Una edificación con cero porosidades, es conveniente para disminuir el contacto con el exterior, y tener ganancias solares indeseables en verano o pérdidas de energía en invierno.

### **4.2.5 Esbeltez**

La esbeltez de la edificación va de la mano con la compacidad. Para el edificio de museo se considera una esbeltez intermediaria (0,04) como se señala en la gráfica del Apéndice A. Una esbeltez intermedia (proporción de altura y ancho de los lados) para evitar excesiva exposición a radiación y vientos.

### **4.2.6 Asentamiento**

El asentamiento es un factor bastante importante en los museos. Si son demasíadamente asentados puede haber problemas con humedad ya que es más difícil la ventilación. Se considera que, un leve asentamiento que posibilite aprovechar la inercia térmica en contacto con la tierra sin perjudicar la ventilación y expresividad.

### **4.2.7 Perforación**

De acuerdo con los análisis de los casos se considera que un porcentaje de perforación de 5% en la fachada sur, 25% en la fachada norte. En cambio para las fachadas este y oeste no se recomiendan aperturas ya que puede incidir directamente en las obras. Es menester considerar que la superficie opaca prevalezca sobre la superficie transparente, esta condición es fundamental para las obras de arte no reciban la luz directa. También pueden considerarse aperturas para una vista panorámica del entorno con protecciones y proporciones reguladas.

#### **4.2.8 Zonificación y espacio interior**

Se considera importante, a partir de este estudio, propiciar una visión general del espacio desde el acceso, para que el usuario elija y planee su propio trayecto, para eso la compartimentación del espacio no es una condición recomendada. También se ha percibido que el atrio, actúa como un buen aliado en la ventilación y tiraje del aire (por efecto Venturi, o Stack). Para tanto se considera que el área del atrio en planta no deba superar la superficie de exposición. Para la altura de cada nivel se recomienda entre 4 y/o 5 metros. Al analizar los casos también se consideró importante alejar los espacios expositivos de la fachada norte y de la incidencia de luz solar directa. Si posible, debe considerarse un acceso con atrio creando una camada de aire entre la fachada y las obras.

#### **4.2.9 Volumen y Magnitud**

Respecto al volumen y magnitud de museos en el clima subtropical húmedo, se considera importante disponer por lo mínimo 500 metros cuadrados y no superar los 5.000 metros cuadrados para representar y albergar una magnitud de público y muestra relevante y manejable ambientalmente. Edificios muy grandes también pueden exigir una demanda energética muy alta además de causar fatiga a los visitantes. Se considera también un volumen exento para que se reconozca su perfil, además una figura (silueta) diferente a las formas cercanas de los edificios similares de otras ciudades. Al ser semienterrado para reducir acumulación y pérdidas por exposición de la radiación, deteniendo atención a algún elemento o partes verticales exteriores de modo que enmarquen su imagen.

#### **4.2.10 Equipos de Climatización**

Luego de aplicar todas las condiciones para el edificio, es altamente recomendable la instalación de equipos de climatización para mantener los parámetros higrotérmicos constantes y adecuados. Se recomienda un equipo con alta eficiencia preferentemente alimentado con energías renovables.

Estas condiciones recién explicadas se considera importantes para dar las condiciones de diseño ambientalmente compatibles. Las diversas condiciones suelen ser difíciles de manejar simultáneamente el método de diseño tradicional, por lo que parece muy útil el auxilio de herramientas computacionales. A diferencia de un proceso

prescriptivo que coloca reglas generales y homogéneas o de una forma ideal que pretende una solución única, se sugiere el uso de la modelación paramétrica para permitir y regular una serie de condiciones con variedad de formas.



### 4.3 Aplicaciones paramétricas en el diseño ambiental

El diseño paramétrico funciona como un apoyo en el proceso de diseño y ha sido ampliamente utilizada en la arquitectura en los últimos años como un soporte frente al uso de herramientas computacionales (Singh, 2011). Ante ello, en la arquitectura, el uso de parametrización ha permitido un ir y venir entre la práctica del diseño y la evaluación del impacto de esas decisiones durante la etapa de diseño. El uso de los algoritmos y el diseño paramétrico le da un giro al proceso de diseño tradicional que había estado ligado durante mucho tiempo a la experiencia e intuición del diseñador, quedando atrás así la etapa en donde solo se usaban juicios personales para seleccionar y evaluar la calidad de los diseños (Betancourt, 2013).

Asimismo estas herramientas pueden ser poderosas para el estudio del desempeño ambiental de los edificios (Caldas & Norford, 2002) porque permiten controlar definiciones de la forma arquitectónica. Aris, *et al.*, (2006) muestran cómo el desarrollo de un diseño paramétrico es capaz de optimizar las aperturas de un espacio para conseguir el consumo energético mínimo y después diseñar alternativas de solución de posibles fachadas. Por otro lado Caldas (2002) hace uso del diseño paramétrico para minimizar el uso de aire acondicionado, electricidad y costos de la arquitectura. En muchos casos se han desarrollado herramientas de optimización y simulación como Tuhus-Dubrow & Krarti (2010) para el diseño de la forma y la fachada de un edificio en relación al consumo energético en diferentes climas. Otros autores usan los algoritmos genéticos en el proceso de diseño creativo para la generación de geometrías de edificios (Marin, *et al.*, 2008).

El uso del diseño paramétrico en la arquitectura permite diversas aplicaciones. Turrin *et al.*, (2011, 2012) presentan los beneficios derivados de combinar el modelos paramétrico y los algoritmos genéticos, para lograr el rendimiento de una solución geométrica en relación a las ganancias solares y luz natural con cubiertas. Wanget al., (2007) hacen una aplicación del diseño paramétrico para la solución de fachadas con rendimiento en confort térmico y ahorro energético. Se observa una tendencia que ha sido motivada actualmente por grandes fuentes teóricas y nuevas tecnologías. De acuerdo al marco teórico estudiado, se recopilan algunas recomendaciones importantes para tomar en cuenta en la implementación a una herramienta de diseño de los ilustrados en el apartado de a continuación.

La herramienta utilizada para la implementación de una plataforma de diseño está incorporada con el sistema de programación paramétrica Grasshopper® sobre la herramienta de modelado tridimensional Rhinoceros®. Según Turrin, et al., (2011) existen grandes beneficios derivados de combinar el modelo paramétrico y los algoritmos en etapas tempranas del diseño ya que permite obtener rápidamente gran cantidad de soluciones a un problema mediante la exploración de distintas geometrías.

Estas herramientas pueden relacionar una o más estrategias de un diseño a través de la configuración de la definición exacta de parámetros relevantes de un caso de estudio particular. Para el desarrollo de la implementación de las condiciones geométricas para los museos en el clima subtropical húmedo de Brasil, se utilizaron dos herramientas que se describen a continuación;

- Rhinoceros® es una herramienta para modelado 3D basado en NURBS- los NURBS permiten la construcción de una variedad de formas, independiente de su tamaño o grado de complejidad, por eso puede ser utilizado en diseño y arquitectura. Esta herramienta se convierte en la plataforma que permite la graficación y visualización en tres dimensiones de los resultados de generación de geometrías para museos.

- Grasshopper® es un editor gráfico de algoritmos integrados con las herramientas de modelado 3D. Empleando conceptos de instrucciones lógicas, convierte las definiciones de los algoritmos en formas en la plataforma de Rhinoceros. Tal editor está orientado al diseño paramétrico y permite al usuario el manejo de componentes que ayudan a definir todo tipo de formas, operaciones matemáticas, operaciones entre sólidos y componentes auto programables, entre otros.

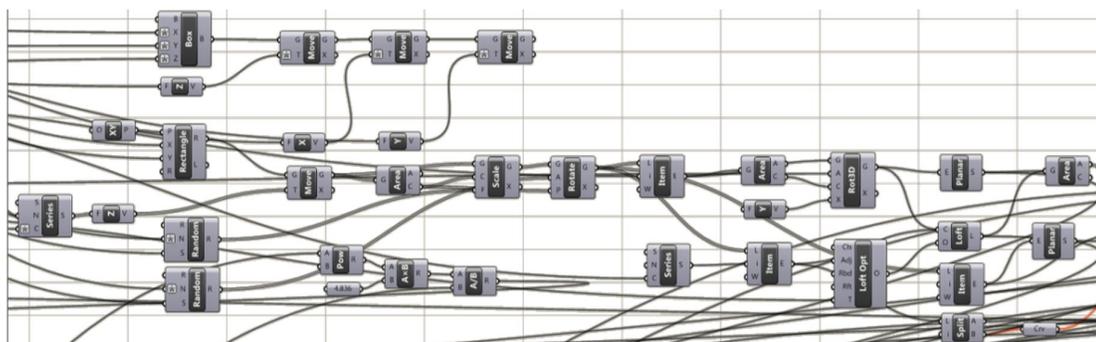


Figura 85. Interface de una definición paramétrica en Grasshopper.

Fuente: Autora

#### 4.4 Herramienta de diseño paramétrico para la C.A.

Con las condiciones de diseño ya anteriormente mencionadas, las características de la forma para la concepción de nuevas geometrías fueron insertadas en la herramienta paramétrica. Los parámetros y factores que promueven la compatibilidad ambiental de los museos.

En primer lugar se definieron el dominio de criterios geométricos. Estos refieren a los casos de estudio y sus dimensiones reales en la cual se define un cubo imaginario delimitado por dimensiones (x, y, z) determinado por un ancho, largo y alto. Estos valores son especificados en la tabla a continuación:

Tabla 17. Dominio de criterios geométricos. Elaboración de la autora.

Parámetro	MUBE	MON	FIC
1 Área Proyección (m <sup>2</sup> )	3071,34	2100	849
2 Área total (m <sup>2</sup> )	3071,34	2934,5	2450
3 Longitudinal máx. x (m)	85	70	45
4 Longitudinal máx. y (m)	55	30	22
5 Altura máx. z (m)	5	30	25
6 Número de Pisos	1	2	4
7 Atrio	-	-	1/3

De esta forma, el área mínima de una geometría posibles de 500m<sup>2</sup> (de 22m de ancho y 22m de largo con un alto de 5m) lo que equivale al metraje cuadrado predominante en los museos en Brasil (*Museus em números*, 2010 pág. 98). Asimismo, corresponde un área máxima de 6500m<sup>2</sup>, para (x, y, z) de 45m de ancho y de largo en un total de cuatro pisos, equivalente al caso de estudio con mejor compatibilidad ambiental.

De acuerdo con el dominio de criterios geométricos, a este cubo teórico, definido por el ancho largo y alto, se exploraron cuatro diferentes transformaciones tridimensionales. Éstas, tienen base en el trabajo de Marín (2008), que exploró distintas transformaciones para una geometría. Para esta investigación, se eligieron cuatro modificaciones, las cuales son: *Twist* (torsión), *Strech* (estirar), *Bend* (curvar) y *Taper* (estrechar) que darán forma a la geometría, conforme la Figura 86 a continuación:

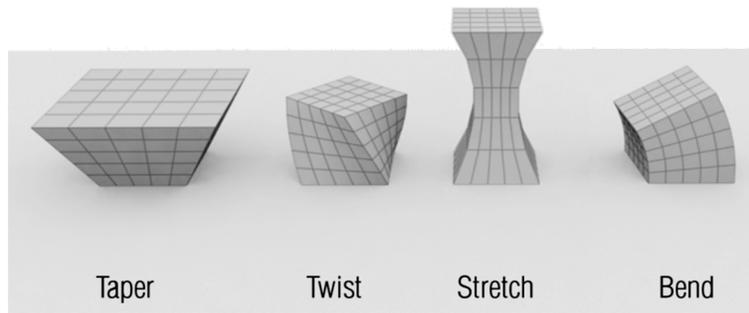


Figura 86. Transformaciones tridimensionales utilizadas.  
Fuente:Marin, 2008. Adaptado por la autora

Definidos los criterios geométricos para el cubo teórico y sus transformaciones tridimensionales, se definieron el dominio de criterios ambientales o evaluación de la compatibilidad ambiental. Para las características ambientales de la geometría a ser generada, se vincularon las ecuaciones de compacidad, de porosidad, de perforación y de esbeltez, ya que según Serra y Coch (1995) estas son las características que definen la forma.

Estos valores son resultantes de la geometría generada en donde, datos como la superficie global, volumen y alturas son revisados a medida que se aplican las transformaciones, permitiendo simultáneamente vincular la geometría concebida con sus cualidades geométricas asociadas a la compatibilidad ambiental. Con respecto a las ecuaciones que evalúan la compatibilidad de las relaciones de Porosidad (P) ha sido considerada como la diferencia entre la magnitud global del volumen (la media entre ancho y largo  $(X1-Y1)/2$ ) y la magnitud de espacio abierto interior  $(X2-Y2)/2$ ) estableciendo como valor de referencia (1) el 50%, o sea  $P = (X1-Y1)/2 - (X2-Y2)/2$ . Para Compatibilidad Ambiental de museos en esta zona el valor preferente es  $P < 0,25$  (un patio reducido para evitar superficie envolvente) y el óptimo  $P=0$  (sin patio). La herramienta paramétrica se programó para partir con volúmenes integrales, al evaluar directamente debería validar con porosidad óptima (0). Ahora, si el diseñador modifica la geometría colocando patios interiores anulará la solución si supera 0,25.

De las cuatro ecuaciones propuestas en la implementación del diseño paramétrico, dos fueron predeterminadas, la perforación y la porosidad. En el caso de la porosidad ninguno de los tres casos posee patio entonces el grado de porosidad es nulo, por lo tanto las geometrías generadas en la programación también poseerían la misma característica, siendo considerada por lo tanto con restricción de porosidad. La perforación, cantidad de superficie vidriada por fachada, debiera tener un porcentaje de

5% para la fachada sur y 25% para la fachada norte, en tanto las fachadas este y oeste 0%, característica perteneciente al mejor caso de estudio, la FIC. Así, los valores de esbeltez y compacidad son sensibles a las modificaciones de la geometría.

El diagrama de implementación paramétrica a continuación, muestra cómo se define y se relaciona el volumen inicial-cubo teórico con las transformaciones tridimensionales, las ecuaciones de las características geométricas para cumplir dicho desempeño de compatibilidad ambiental.

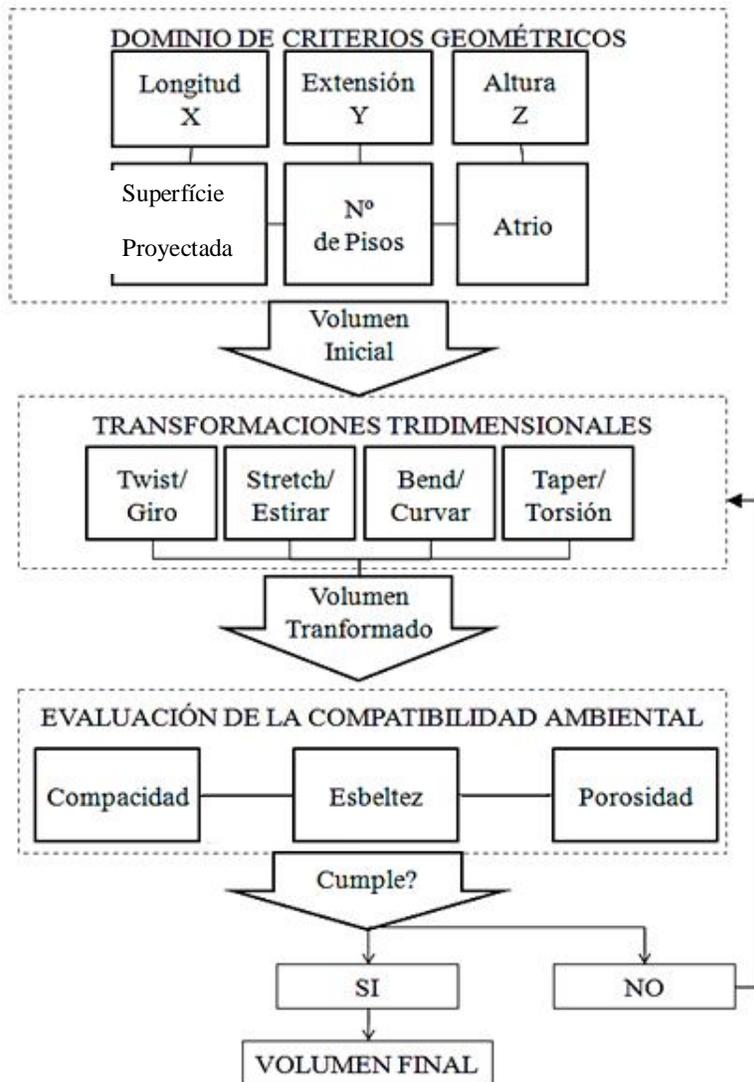


Figura 87. Diagrama de la Implementación Paramétrica.  
Elaboración de la autora.

## 4.5 Descripción del procedimiento de generación geométrica

En el apartado anterior fue descrito el planteamiento de la definición de los parámetros. A continuación se muestra cómo opera la modelación paramétrica para generación de geometrías de edificios de museos para el clima subtropical húmedo de Brasil que promueva la Compatibilidad Ambiental.

El primero paso es abrir el Rhinoceros® y en seguida digitar en la barra de comando la palabra Grasshopper®, a partir de este momento se debe compartir la pantalla con los dos programas (Figura 88). Desde la plataforma de Grasshopper® se debe abrir el archivo con la definición del algoritmo del modelo paramétrico.

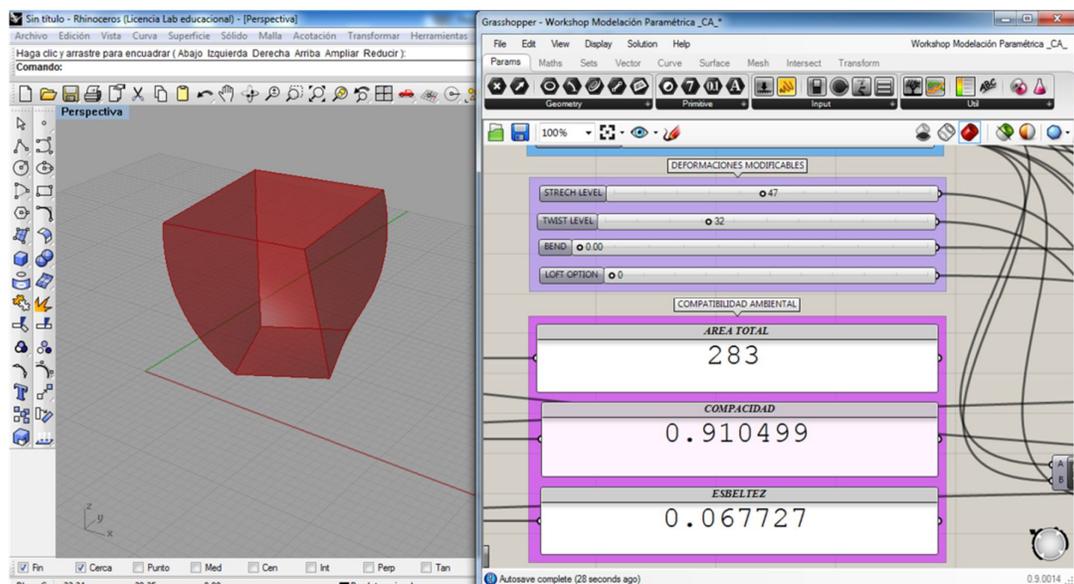


Figura 88. Interface del modelo paramétrico para la Compatibilidad Ambiental.

Fuente: Autora.

Para facilitar el contacto con el diseño paramétrico la interface fue agrupada en cinco grupos enumerados de uno a cinco y con diferentes colores (ver Figura 90). Así, el usuario no tiene contacto con los conectores que describen la definición del algoritmo programado. Al acercarse a los grupos una pantalla de bienvenida explica en detalle su funcionamiento, conforme muestra la Figura 89 a continuación.

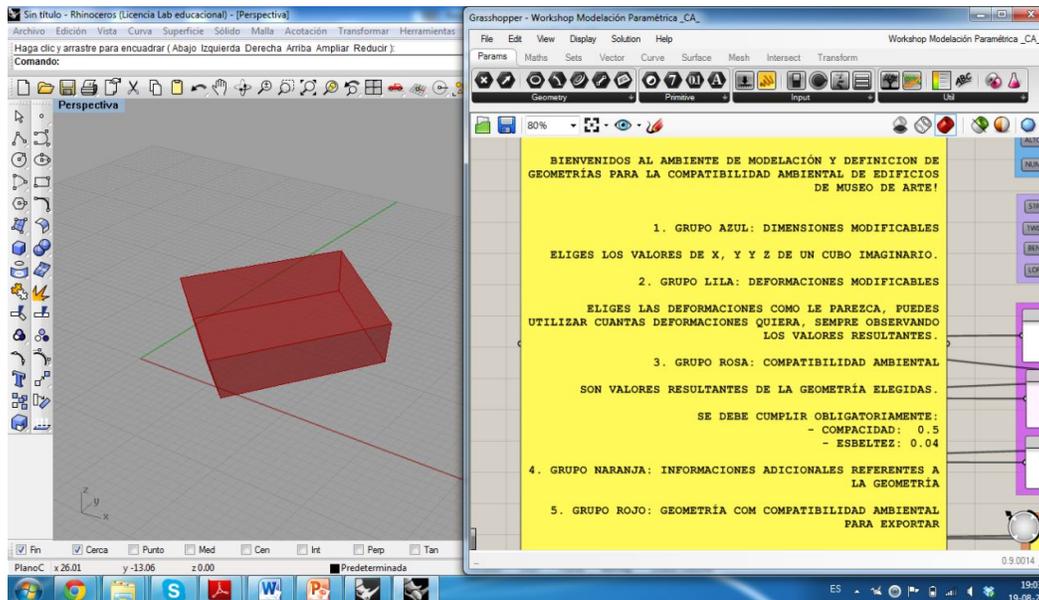


Figura 89. Pantalla de Bienvenida al ambiente de modelación.

Fuente: Autora.

Para iniciar el proceso de generación de la geometría, el usuario elige las dimensiones (x, y, z) de un volumen general que sean las proporciones del edificio, esto en los *sliders* en la caja azul en números enteros dentro de los rangos máximos definidos. Luego, aplica deformaciones de modo aleatorio en los *sliders* del grupo lila verificando que se cumplan los valores de esbeltez (0,04) y compacidad (0,5) que promueven Compatibilidad Ambiental.

Todas estas variaciones ejecutadas en los *sliders* de la interface de Grasshopper®, causan efectos en la geometría que es visualizada en Rhinoceros® en la pantalla compartida. Esto, permite un análisis visual de la forma arquitectónica desde distintos puntos de vista para considerar aspectos de localización, funcionalidad y expresividad. Cuando el arquitecto está satisfecho con la propuesta geométrica generada, puede exportar el volumen para desarrollarlo más detalladamente o almacenar opciones para comparar.

El paso siguiente será entonces, exportar esta geometría a otro software o imprimirlas para trabajar en plantas y cortes; asimismo puede aplicar recomendaciones adicionales, las cuales se relatarán más adelante.

A continuación la Figura 90 muestra los *sliders* de cada grupo de la programación paramétrica, abajo se describen las informaciones de cada grupo por color.

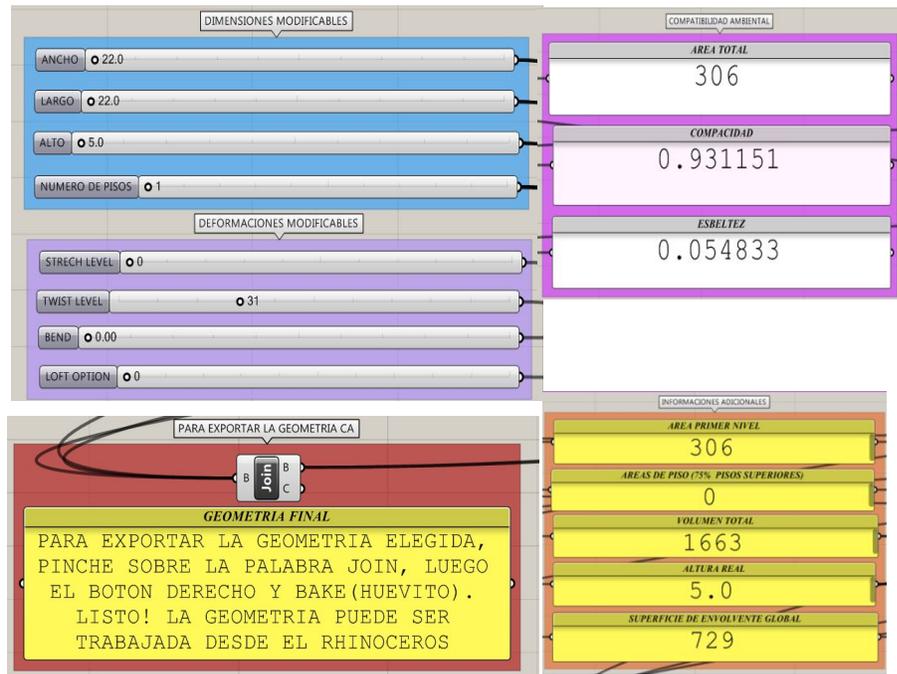


Figura 90. Sliders de la Programación Paramétrica.  
Fuente: Autora.

Dónde:

- DIMENSIONES MODIFICABLES:**  
Posee valores de x, y y z, de un cubo imaginario.  
X, corresponde a mínimo de 22m y máximo de 45m.  
Y, corresponde a mínimo de 22m y máximo de 45m.  
Z, corresponde a un mínimo de 5m y máximo de 30m.
- DEFORMACIONES MODIFICABLES:**  
Posee las deformaciones tridimensionales:  
Strech, Twist, Bend, y el Loft que tiene la función de suavizar las curvas conforme el deseo del usuario.
- COMPATIBILIDAD AMBIENTAL:**  
Valores de Compacidad y Esbeltez.  
Debe cumplir obligatoriamente 0,5 y 0,04 respectivamente.
- INFORMACIONES ADICIONALES:**  
Valores de Área del Primer piso;  
Áreas de Piso superiores, equivalente a 75% y 25% para atrio;  
Volumen;  
Altura Real de la Edificación, con las deformaciones;  
Superficie Envolvente.
- EXPORTAR GEOMETRÍA.**

Presentada la herramienta y su modo de operación, la siguiente etapa se propone un taller con el modelo paramétrico denominado “*Workshop* de modelación paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en edificios de museo en el clima subtropical húmedo” que será descrito a continuación.

## 4.6 Experiencia de aplicación del workshop

En este apartado se describe la experiencia denominada: “Workshop de modelación paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en edificios de museo de arte en el clima subtropical húmedo”, realizado el día 9 de agosto de 2013 de las 11am hasta las 19pm en el Laboratorio de Computación de la Universidad del Biobío. Esta experiencia estuvo dirigida a arquitectos, específicamente fueron 12 cupos los disponibles y de inscripción fue gratuita. Los 12 inscritos poseían distintas formaciones, algunos tenían experiencia profesional, otros actuaban en países tropicales y subtropicales. El objetivo del *workshop* fue verificar el uso, alcance y limitaciones de la incorporación del concepto de compatibilidad ambiental a través de la herramienta de diseño paramétrico desarrollada. Esta actividad experimental pretendía además, generar ejemplos que ordenaran el camino de las nuevas soluciones espaciales de los edificios de museo. Su ámbito está delimitado en el marco de la tesis que se lleva a cabo tomando en cuenta la expresividad y la compatibilidad ambiental para museos de arte.

La hipótesis planteada es que las características geométricas que contribuyan para la compatibilidad ambiental este integrada a una herramienta de diseño para el nivel de anteproyecto. Los parámetros incorporados y explicados en el apartado anterior, fueron aplicados en esta actividad propuesta, con duración de 6h. Esto, es considerado apropiado al trabajo regular de un arquitecto durante el proceso de proyecto, con una formación y uso de herramientas computacionales habituales.



Figura 91. Arquitectos en la realización del Workshop. 09 de agosto de 2013.

Fuente: Autora.

### 4.6.1 Desarrollo y aplicación

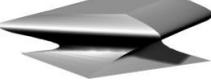
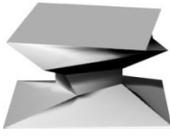
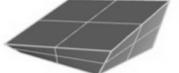
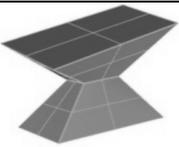
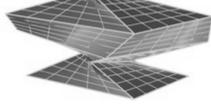
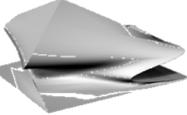
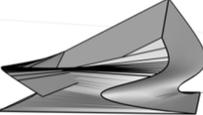
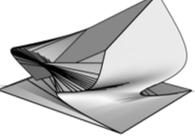
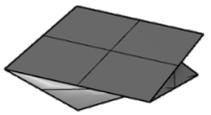
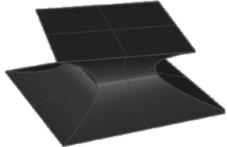
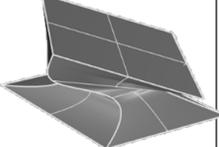
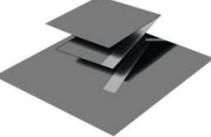
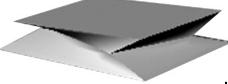
El *workshop* fue dividido en tres etapas, una teórica y dos prácticas. En la etapa teórica, se presentó a los participantes la estructura de trabajo, la línea base para el proyecto de museo de arte en el clima subtropical húmedo y las condiciones de diseño para la compatibilidad ambiental. Tal como se presenta a continuación:

Tabla 18. Programa de contenido del Workshop. Elaboración de la autora.

Workshop Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte	
ETAPA TEÓRICA	Introducción y estructura del workshop
	Presentación del terreno y de la línea base para el proyecto de museo de arte en el clima subtropical húmedo y condiciones de diseño.
	Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo: -Edificios de Museo de Arte Contemporáneo -Conceptos de confort térmico -Conservación de obras -La geometría y repercusión térmico ambiental de edificios
	Presentación de la Herramienta de Modelación Paramétrica de Geometrías para Museo de Arte en el Clima Subtropical Húmedo el modo de operación y ejemplo de modelación paramétrica para cumplir dichos parámetros.
PRACTICA I	Ejercicio Practico en la herramienta paramétrica, Parte I: Cada participante debe modelar 3 geometrías para museo de arte en el clima subtropical húmedo, (1 piso/2 pisos/ 3 o cuatro pisos) que cumplan los criterios de Compatibilidad Ambiental
	PRACTICA II Ejercicio Practico en la herramienta paramétrica, Parte II: Cada participante debe elegir una de las geometrías para museo de arte en el clima subtropical húmedo, y desarrollar proyecto. Preparar plantas, secciones, render y/o foto montaje.

En seguida el primero ejercicio práctico consistía en generar 3 propuestas de geometría: una de un piso, una de dos pisos y una de tres o cuatro pisos. Eso debido al objetivo de encontrar poblaciones que se asemejaran a la topología de los tres casos de estudio (MUBE, MON y FIC). El ejercicio propuesto con la herramienta llevo a los participantes a testear varias propuestas de forma, acompañando simultáneamente sus valores de compacidad, porosidad, esbeltez. También, se podría verificar la cantidad de área de exposición y número de pisos. Luego los participantes empezaron a desarrollar sus propuestas de geometrías de museos de arte con la utilización de la herramienta paramétrica. A continuación, se aprecian las geometrías generadas:

Tabla 19. Geometrías generadas en el workshop.

	POBLACIÓN A	POBLACIÓN B	POBLACIÓN C	POBLACIÓN D
PART. 1				
PART. 2				
PART. 3				
PART. 4				
PART. 5				
PART. 6				
PART. 7				
PART. 8				
PART. 9				

Al inicio del workshop también se les presentó con un encargo hipotético en un terreno real: el encargo de un edificio de museo de arte contemporáneo en un terreno de alto potencial, tangente al centro urbano de Porto Alegre (Figura 92). Un supuesto solicitante del encargo envía fotos del terreno y de sus plantas, junto a esto les pide una propuesta de un edificio expresivo y de bajo consumo.

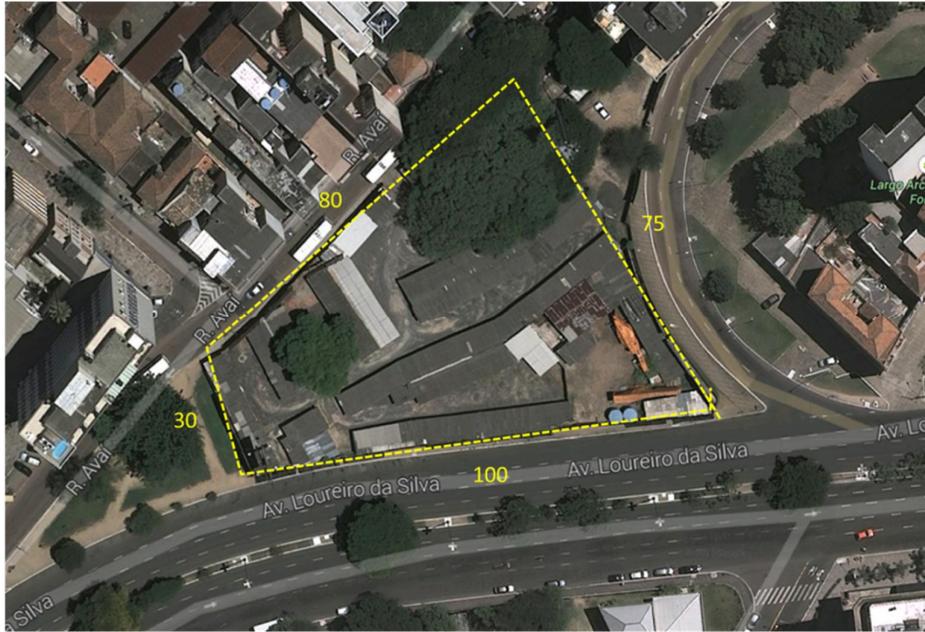


Figura 92. Terreno propuesto. Fuente: Google Earth, 2013.

Para ello, se propuso la introducción de la compatibilidad ambiental como un criterio para en el proyecto final llegar a un bosquejo, una propuesta de diseño o una geometría contenedora con la utilización de la herramienta de diseño paramétrico. Además, se les recomendó ubicar el edificio hacia el norte para obedecer a los criterios de perforación: 25% del área de fachada vidriada para el norte y 5 % en la fachada sur y demás condiciones ya punteadas en esta tesis. Durante este día los participantes conocieron los conceptos que se relacionan con la compatibilidad ambiental y como estos conceptos fueron insertados en la herramienta paramétrica.

Aproximadamente por 30 minutos se discutió el cómo debería ser el edificio, la forma en que se podría partir y qué condiciones podrían ser consideradas para el diseño del museo. De manera tal fueron levantados varios puntos de vista:

Algunos comentaron que para hacer un edificio de museo en este clima tratarían de encontrar información en internet sobre algunos edificios de museos de arte en dicho clima. Otros hablaron que quizás más importante que verificar el clima era analizar el

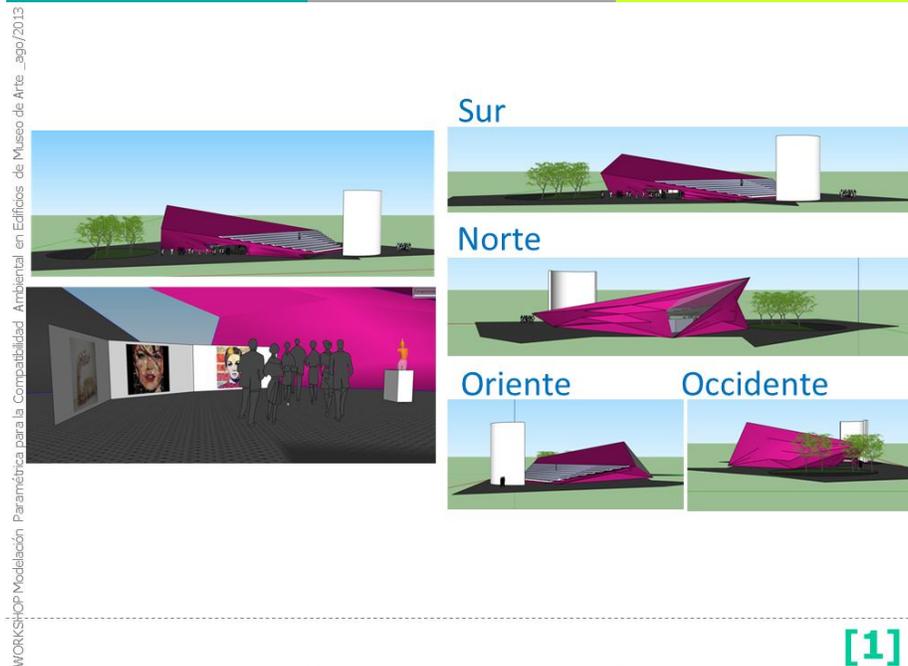
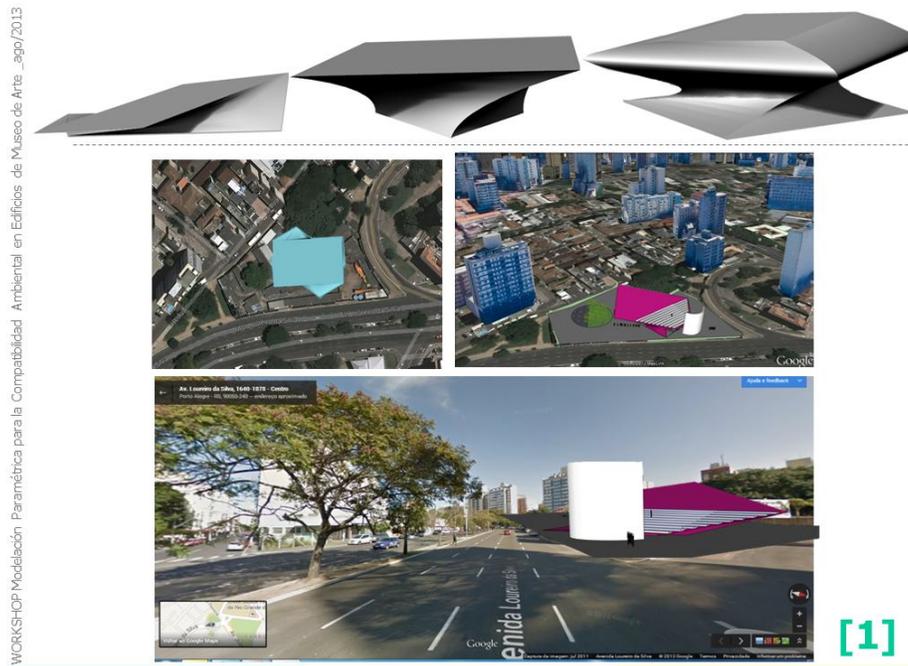
emplazamiento y tamaño de las obras y la escala del entorno. Por otro lado: reflexionaron: “es como un concurso y que no siempre conoce el clima del lugar y que hay que proponer algo novedoso...”

Asimismo, se mencionó que no hay muchos referentes en climas tropicales o subtropicales, que en estos climas el consumo está más asociado a la calefacción que a la refrigeración y que por lo tanto resulta difícil usarlos como referente. Igualmente se podría replicar que todos los museos saben lo importante que es el control del clima interior para las obras, que entonces parece raro que tal prioridad se tome en cuenta de manera tan declarada en la etapa de diseño. Del mismo modo, mencionaron que gran cantidad de museos dan soluciones técnicas mucho más allá de la solución formal o que la solución formal no toma en cuenta el consumo energético y materiales de la zona. También se refirieron al tema de la expresividad de los edificios diciendo que es muy importante para el turismo por lo que pensarían en plantear un edificio de impacto visual, además se mencionó a Oscar Niemeyer: conociendo algunas obras de Brasil sería posible proponer “edificios Gehry” que es como “una obra de arte que contiene las obras de arte...”

Nueve participantes desarrollaron el ejercicio práctico y lo presentaron al grupo de participantes. También se aplicó un cuestionario de evaluación de la herramienta. Cada participante presentó en promedio de dos láminas de su propuesta. A continuación se aprecia el desarrollo y la propuesta del participante número uno, las demás propuestas alcanzadas en este workshop y los resultados del cuestionario aplicados a los participantes, pueden ser vistas en el Apéndice D.



Figura 93. Participante experimentando con la herramienta paramétrica. Fuente: Autora.



Participante nº 1:  
 Generación de 3 geometrías.  
 Propuesta proyectual de la geometría con un piso.  
 Foto montaje; Fachadas y vista interior.  
 Área de 1000 m<sup>2</sup>

En la propuesta aquí mostrada se logra visualizar la aplicación de la herramienta para el nivel de anteproyecto: en terreno real, vista interior y exterior, confirmando el uso y aplicación de la herramienta.

#### 4.7 Discusión respecto a la experiencia con la herramienta paramétrica

En el debate varios participantes manifestaron la complejidad que implica diseñar un museo. A pesar de la amplia discusión, lograron presentar varias propuestas con la herramienta de modelación paramétrica en apenas algunas horas de trabajo como se pudo apreciar en la Tabla 19.

Según comentarios de los participantes la herramienta es bastante útil para verificar de modo simultáneo diferentes algoritmos que involucran el desempeño térmico ambiental de los edificios según su geometría. Los comentarios en el desarrollo del workshop estuvieron casi siempre asociados a la restricción de la herramienta, principalmente a lo que refiere el control de deformaciones en la geometría y la aleatoriedad de las transformaciones aplicada en cada piso. También hubo comentarios en cuanto a la restricción de la forma la cual tenía siempre una base cuadrada, y se observó que las geometrías generadas por los diferentes participantes tenían alguna similitud entre ellas, tendiendo a un formato de copa. Eso se debió a las dimensiones y la forma inicial, el “cubo teórico” propuesto en la implementación de la herramienta.

Respecto a eso, ajustes de variación formal y otras formas “geometría teórica”, se sugiere agregar mayores atributos formales y más definiciones en la programación de Grasshopperposibilitando explorar más variedades formales y mayor control hacia las transformaciones tridimensionales, para otorgar un mayor dominio y libertad para el arquitecto.

Es importante mencionar como se aprecian diferentes geometrías de mismas características con las herramientas de diseño propuesta. Algunas de estas geometrías son factibles con técnicas constructivas existentes y podrían ser implantadas en el clima subtropical húmedo de Brasil, ya que fueron concebidas con las características de compacidad, esbeltez, perforación y porosidad analizadas del caso con mejor resultado en la compatibilidad ambiental y no son una representación literal de los casos utilizados en este estudio, sino otras alternativas.

Las geometrías aquí representadas como resultado del ejercicio viene poner en prueba el diseño y la relación con el contexto donde se propone implantar un edificio, cabiendo un estudio futuro a una integración general de herramientas digitales que apoyen al diseño.

Así mismo, el objetivo inicialmente planteado de probar la herramienta fue alcanzado y la implementación del concepto de Compatibilidad Ambiental en una plataforma de modelación paramétrica pudo ser llevado a cabo, y a la vez, pone en discusión el tema. A continuación, se presentan las conclusiones finales, las implicancias de la herramienta propuesta, así como de los objetivos e alcances de esta investigación.

# Conclusiones Finales



## 5. CONCLUSIONES FINALES

Anteriormente, se han indicado breves conclusiones al final de cada capítulo. En esta sección se plantean las conclusiones y discusiones pertinentes a la totalidad de la tesis, según objetivos generales y específicos, sobre la implicancia de la compatibilidad ambiental y la herramienta paramétrica en el diseño de museos para clima subtropical húmedo y las propuestas para futuras líneas de investigación.

Desde el punto de vista del objetivo general y de la hipótesis de base, e principal aporte es la identificación de características geométricas: compacidad (0,5), porosidad(cero), esbeltez (0,04) mediante el estudio de tres casos de edificios de destacada expresividad arquitectónica, lo que permite apoyar la concepción de nuevos edificios de museos de arte contemporáneo en el clima subtropical húmedo de Brasil y que pueden ser implementadas en el proyecto arquitectónico. Por lo tanto, se establece la integración de la compatibilidad ambiental en el proyecto arquitectónico promoviendo su calidad ambiental y el bajo consumo energético, sin que el edificio pierda su expresividad. Dado de esta manera, se logra entender cuáles son los aspectos de la geometría a considerar para un mejor desempeño y/o reducir el impacto que causa en el consumo. También se detectó producto de la investigación, que no siempre una obra arquitectónica expresiva de un arquitecto destacado posee una adecuada compatibilidad ambiental.

A partir de la hipótesis de base, se concluye, que no es posible lograr cabalmente la compatibilidad ambiental en los edificios de museo de arte en el clima subtropical húmedo, ya que los propios requerimientos higrotermicos son inconciliables entre distintos materiales. Desde el punto de vista del usuario, es utópico alcanzar la máxima satisfacción térmica debido a diferencias metabólicas de cada individuo. Por otra parte, se considera válida la recomendación térmica de 20°C con ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) y 50% de humedad ( $\pm 5\%$ ) respecto a los requerimientos indicados para las obras de arte en los edificios de museo que albergan distintos tipos de obras de arte. Pero si, existe un posibilidad de haya un mínimo de Compatibilidad Ambiental igual a 81,5 % para los edificios de museo. Eso ocurre cuando, un ambiente es considerado aceptable para por lo menos 90% de los usuarios y 73% de RO, siguiendo la recomendación higrotérmica de 20°C y 50% humedad de ambientes térmicamente controlados, siempre cuando esté

relacionado a un bajo consumo energético, en geometrías exentas en hormigón armado en el clima subtropical húmedo de Brasil.

También, se considera relevante las contribuciones en los siguientes tópicos:

- Metodología replicable con elaboración de una ecuación para evaluar la Compatibilidad Ambiental en edificios de museos, que puede ser aplicada en otro contexto climático, tomando en consideración diferentes geometrías de expresión arquitectónica, similitud de obras, materialidad y usuarios.
- Ampliación de la metodología del IS (Gennusa et al., 2008) para evaluación de edificios de museos de arte que configuren un único ambiente térmico.
- Desarrollo e implementación de una herramienta de diseño capaz de relacionar los datos de altura, ancho y largo con los valores de compacidad, esbeltez, perforación y porosidad, facilitando el proceso de diseño al arquitecto en la expresión de una geometría para museo que sea significativa y compatible ambientalmente.

Respecto al objetivo general de la tesis en definir las condiciones geométricas de un volumen de expresión arquitectónica y de bajo consumo energético para la compatibilidad ambiental de museos de arte contemporáneo de la región subtropical húmeda de Brasil, y proponer una herramienta digital de diseño paramétrico, se observa que este fue posible a partir de los objetivos específicos trazados en el inicio de la investigación como se describe a continuación:

## **5.1 Discusión final, respecto a los objetivos específicos**

### **5.1.1 Los museos de arte contemporáneo de la región subtropical húmeda de Brasil, y la selección de tres casos expresivos**

En el primero capítulo se observó una fuerte expresión formal para los edificios de museo por eso se optó por trabajar la variabilidad formal de los volúmenes generados. Como parte del trabajo, se observó la importancia de expresividad arquitectónica para un edificio de museo de arte en todo su desarrollo histórico el cual es, en gran parte, responsable de la atracción de usuarios y expresión social.

Además se conoció una evolución de su funcionalidad, desde albergar muestras, a desarrollar recorridos y servicios anexos. En esta etapa contemporánea se percibe una complejidad de la geometría hacia un fuerte impacto visual. También en Brasil, aparecen edificios de museos con firma de grandes nombres de la arquitectura internacional.

La tesis permitió identificar y cuantificar los museos de arte contemporáneo en Brasil, en función del tipo de muestras, características geométricas y ubicación climática. También se realizó un levantamiento considerando: la localización, características arquitectónicas, tamaño, tipo de muestra, expresividad urbana, número de visitantes. Con base en esto se observó un número relevantes de museos en el clima subtropical húmedo de Brasil (67%). Eso es debido al número de inversiones y demanda cultural en estos locales, lo que incita la conformación de edificios también en otros lugares del país. Se consideró relevante en esta etapa la selección de edificios de arquitectos reconocidos y las geometrías de destacada expresividad y atractivo urbano.

Por otra parte, se percibió un interés muy grande por parte de las instituciones en lo que refiere a la reducción del consumo energético de los edificios. Esto debido principalmente a la preocupación por tener cada museo en las condiciones térmicas adecuadas tanto para las obras de arte como para los usuarios, un tema latente pero dificultado por los bajos recursos técnicos y financieros.

### **5.1.2 Los requerimientos para la compatibilidad ambiental**

En esta etapa del estudio, se comprendió porque se recomienda los valores aceptables de temperatura ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) y humedad (50%,  $\Delta \pm 5\%$ ) para las condiciones interiores de los tres edificios de museo del clima subtropical húmedo de Brasil.

Estos valores de temperatura y humedad respecto a los criterios de satisfacción de los usuarios, es sensible y compleja. El usuario queda expuesto a la temperatura y humedad que no siempre es la misma la requerida para la conservación de las obras de arte, sin embargo, se utiliza la encuesta de satisfacción térmica de Fanger (1970) que se confirma válida para ambientes artificialmente controlados. Otros métodos más actuales y adaptados podrían dar mayores respuestas al comportamiento del usuario pero no en el caso del museo, donde el visitante permanece por menos de dos horas en la visita, no

habiendo modo de interactuar con el edificio, sea abriendo una ventana o disminuyendo su *clo*. De cualquier modo se entiende que, la encuesta al usuario es crucial, ya que algunos estudios mostraron que el tamaño del edificio es un factor importante en la respuesta de satisfacción térmica del usuario y por eso es considerado el análisis de la geometría en la compatibilidad ambiental.

Fueron analizados los valores de temperatura y humedad en el clima subtropical húmedo de Brasil, registros ambientales de temperatura y humedad para los periodos de invierno y verano del 2012. Se realizaron consultas de satisfacción térmica a los usuarios y cumplimiento con la normativa para conservación de las obras de arte para evaluar la compatibilidad ambiental, por primera vez se realizaron estudios de este tipo en los tres casos, lo que resulta en una importante contribución para el conocimiento y el mejor manejo de los aspectos ambientales en este tipo de edificio.

Por otra parte, las condiciones interiores para conservación de las obras en los museos requiere aire acondicionado durante 24 horas del día, debido a la variación de temperatura y humedad en todo el año para el clima subtropical húmedo de Brasil, resaltando la importancia que el volumen del edificio, además de atractivo debe tener un bajo consumo energético. Por las diferencias de requerimientos higrotermicos de distintos materiales de las obras también es recomendable reconsiderar la mantención de los objetos en el mismo ambiente térmico.

### **5.1.3 Detectar las características geométricas de los casos de estudio y analizar su incidencia en el consumo energético**

Las características definidoras de la forma y que tienen impacto en el consumo para geometrías de alta expresividad fueron identificadas, como: esbeltez, la porosidad, la perforación y la compacidad, ellas, tienen fuerte impacto en el consumo energético como se pudo verificar en los tres casos.

También se observó una amplia variabilidad de consumo energético entre los diseños de los tres casos de estudio, alertando el impacto de estos edificios en función de su geometría. Y además, que se debe tener en cuenta las características de la forma que tienen fuerte impacto en el consumo, tal como la compacidad, la esbeltez, la perforación

En virtud del análisis de los casos se considera valores de compacidad (0,5) y esbeltez (0,04) para el clima subtropical húmedo de Brasil a partir del mejor caso de estudio, la FIC, además de una porosidad igual a cero. Para el mismo caso, también fue posible asociar su configuración geométrica y proporción de aperturas para las fachadas, perforación este y oeste (0%), norte (25%) y sur (5%), siendo que el eje longitudinal del edificio con orientación norte, y la distribución de los espacios alejados de las fachadas más cálidas y el atrio, que tiene que ver con el “efecto Stack” de estratificación gravitacional por las diferencias de la presión aire. Estas fueron características particulares relacionadas a su consumo para inferir su mejor desempeño que también fueron considerados en la herramienta.

Respecto a los casos de estudios seleccionados se observó que, en el MON, el desplazamiento en el interior del espacio expositivo, desde el punto de vista del usuario deja a libre albedrío el recorrido, y posiblemente puede confundir al usuario y poder llegar a afectar su satisfacción con la visita más allá de los factores higrotérmicos restringidos a esta investigación. El MUBE posee una entrada única y su espacio de exposición está distribuido en forma de “L”, lo que pudo afectar la percepción del espacio y la visión de perspectiva respecto a la experiencia de recorrido, y por ende en su satisfacción térmica. En tanto en el FIC, el atrio conecta y centraliza todo el espacio del museo, posibilitando una percepción integrada, unificando la experiencia del visitante en sintonía con la expresividad de su espacio arquitectónico concebido para reflejarse en la satisfacción de su visita.

En cuanto a la materialidad de los casos de estudio, se percibe que los materiales son de alta resistencia, hormigón armado con espesor que varían entre 25 y 35 cm, y por ende posee durabilidad en el tiempo, tal como visto en el marco teórico que se refería a construcciones para la eternidad. Se debe entender que en general, los recintos de museo son concebidos con fines patrimoniales, es por ello que así también las aberturas, percibidas tanto del interior como del exterior, obedecen a criterios de penetración del factor de luminosidad al mismo tiempo que conjugan elementos de expresividad en el diseño arquitectónico y conectan el edificio con su entorno. En este sentido destaca el FIC por su distribución satisfactoria, en tanto que en el MON se considera que la composición de sus aberturas excede el límite de luz natural obtenida desde el exterior, lo que asociado a conceptos de conservación de obras de arte y

satisfacción de los visitantes evidencia que la penetración de luz a 90° de inclinación fachada es perjudicial. En el MUBE en tanto, la falta de aberturas por cuenta de permanecer semienterrado afecta a factores de ventilación y luminosidad eficiente, aunque el partido arquitectónico reduce el área de radiación y permite una menor ganancia térmica y por ende un menor consumo energético.

#### **5.1.4 Desarrollar una ecuación para evaluar la compatibilidad ambiental de los casos de estudio, y relacionar sus resultados con las características geométricas detectadas**

La ecuación de modo simplificado permitió valorar y dimensionar las condiciones para la compatibilidad ambiental de los edificios de museo en este clima. Es importante mencionar que la ecuación de la Compatibilidad Ambiental, definida por las variables de satisfacción térmica del usuario y los requerimientos para las obras de arte, tanto en invierno y en verano, tienen el mismo peso reflejando una problemática de solución bastante equilibrada para el clima sub-tropical húmedo de Brasil:

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

Los resultados de la ecuación aplicada arrojaron una notable diferencia entre los tres casos, siendo el FIC el que obtuvo el mejor desempeño entre los tres casos, después el MON y luego el MUBE. Asimismo, la satisfacción de usuario osciló entre un 93,5%; 86%; 79% respectivamente en promedio entre invierno y verano.

En tanto, con un positivo reporte tuvieron las condiciones higrotérmicas evaluadas respecto a la conservación de obras de arte, en FIC y MON se mantuvieron en valores de óptimo resguardo en las estaciones críticas de invierno y verano con valores promedio de 70%, 70,5%, mientras tanto el MUBE se mantuvo con un 49%, por ende con un funcionamiento inadecuado para la conservación de las obras de arte, además de desconfort térmico al usuario en el periodo estudiado.

Hay que considerar que la sola evaluación de la compatibilidad por la ecuación es considerada incompleta, ya que debe ser relacionada a las características de la geometría y su consumo energético.

### **5.1.5 Proponer una herramienta de diseño paramétrico para asistir el proceso de diseño arquitectónico**

Las relaciones geométricas que sugieren una adecuada compatibilidad ambiental de los edificios fueron insertadas en una herramienta de diseño paramétrico, a través de la plataforma Rhinoceros y Grasshopper, mediante módulos y conectores de programación con operaciones algorítmicas y esto permitió generar formas para lidiar con diferentes parámetros al mismo tiempo en que se configuró el edificio. Durante este proceso de diseño, al generar la geometría se acompañan los valores de compacidad y esbeltez, además de asegurar proporciones, áreas, transformaciones tridimensionales, la configuración interna, atrio, cuando constituido por más de un piso estuvieron en el dominio de los arquitectos participantes del workshop realizado, quienes evaluaron su expresividad arquitectónica, facilitando la concepción de edificios en este clima.

La herramienta propuesta en esta investigación sigue una tendencia contemporánea donde la computación empieza a participar del proceso de diseño ya en las etapas tempranas del proyecto. Una herramienta computacional es importante para optimizar el trabajo y facilitar la incorporación de criterios comprobables, más que una respuesta formal gratuita.

Con respecto a la herramienta paramétrica desarrollada, se concluye que en los aspectos relacionados a las geometrías forman parte del proceso de diseño, otorgando a los arquitectos criterios que promuevan un bajo consumo energético a estos edificios. Los softwares de simulación energética disponibles no facilitan el modelado de geometrías exentas, para la verificación de la aceptabilidad térmica de los usuarios o verificación de la estabilidad ambiental para las obras de arte para alcanzar un mínimo de Compatibilidad Ambiental, al menos no a nivel de anteproyecto.

Respecto a la inserción de parámetros ambientales en herramientas paramétricas, el desarrollo de esta investigación contribuye en la incrementación de la posibilidad de trabajar características ambientales en el desarrollo de proyectos de edificios de museo aun en etapas tempranas del diseño, como verificado en el workshop realizado. Las características de geometrías (compacidad, porosidad, esbeltez y perforación) a las características arquitectónicas de los casos (ancho, largo, alto, número de pisos, presencia o no de atrio) juntamente con la evaluación de la compatibilidad a través de la ecuación presentada, las características de la geometría y su consumo trae una nueva

perspectiva hacia la Compatibilidad Ambiental de edificios de museos de arte en el clima subtropical húmedo de Brasil, afirmando su utilidad como estrategia general de asistencia al diseño arquitectónico y en asuntos de gestión ambiental.

Como toda propuesta inicial, la herramienta posee algunas restricciones respecto a la variabilidad del volumen del edificio, debido a la utilización de las transformaciones tridimensionales preestablecidas, torsión, giro, estrechamiento o curva y, por estar estrictamente basados en los casos analizados en el contexto estudiado. Debido a eso, la herramienta desarrollada ha generado volumetrías similares como se pudo ver en la Tabla 19. Pero, según los participantes del workshop, un gran punto a favor en la herramienta es la verificación de los valores al mismo tiempo en que se genera una volumetría exenta.

## **5.2 Implicancias y aplicaciones de la Compatibilidad Ambiental**

La implementación del concepto de la Compatibilidad Ambiental en una herramienta de diseño implica un cambio en el acto de diseñar. Este nuevo método puede ayudar a los arquitectos a explorar geometrías más complejas y eficientes otorgando seguridad al desempeño ambiental de su propuesta en etapas iniciales del diseño. Pues sea cual sea la forma, lo que se busca actualmente es optimizar los recursos técnicos y ambientales para la gestión y utilización de espacios públicos de calidad, a su vez esto abre nuevas puertas a otras maneras de diseñar y pensar el espacio.

En cuanto a las consideraciones respecto a la geometría en este estudio realizado, las encuestas evidencian valoración, y el ejercicio de workshop con arquitectos una integración significativa respecto a la expresividad de la arquitectura, lo que evidencia que este parámetro debe ser tomado en cuenta de todas las formas.

La identificación de características formales vinculadas a un mejor desempeño ambiental, expresa también propiedades arquitectónicas pasivas que se deben considerar especialmente en edificios públicos, pero también la diversidad asegura una identidad local y promueve la creatividad profesional. Integrar el confort de los usuarios con la mantención de bienes culturales implica asimismo una relación de la población con su memoria en lugares significativos del espacio urbano, mediante acciones de diseño efectivas y específicas.

Las experiencias de MON, MUBE y FIC, de arquitectos experimentados, evidencia una capacidad profesional y disponibilidad de las comunidades urbanas en grandes instituciones, que pueden ser distribuidos con apoyos técnicos, institucionales y económicos para fomentar el sentido de preservación, conservación y legado histórico cultural en la memoria de lugares. Eso, promueve las nuevas iniciativas y políticas públicas que honren la historia y las tradiciones que los proyectos de diseño en el área y merecen considerar en la práctica destacada del planeamiento y ejecución de un proyecto arquitectónico con sentido y rol social.

Los resultados de los casos de estudio de los capítulos anteriores demuestran la importancia de la geometría del edificio en particular en el consumo de energía eléctrica para las condiciones higrotérmicas interiores, para asegurar en la compatibilidad ambiental del diseño de edificios de museo en el clima subtropical húmedo de Brasil.

Los casos estudiados se diferencian en aspectos geométricos y a partir de los análisis del consumo y la compatibilidad ambiental, se puede concluir que la FIC posee las características más adecuadas para el clima subtropical húmedo pero que aún si no representa ser un ejemplo único a seguir. Se comprueba la posibilidad de generar geométricas con las mismas características, alentando el aprendizaje con obras arquitectónicas tan destacadas.

En relación a las ventajas de diseminación de la Compatibilidad Ambiental a nivel del país incita la estrecha relación del diseño y su efecto directo en el ambiente, así como el mejoramiento de la calidad ambiental interior con menores daños al medio ambiente.

### **5.3 Consideraciones finales, limitaciones y sugerencia para trabajos futuros**

Respecto a las limitaciones de la investigación y sugerencia para trabajos futuros se considera que a pesar del esfuerzo por generalizar la aplicación de la metodología aplicada, se adelanta que la investigación tiene algunas restricciones de orden técnica, financiera y temporal, haciendo necesario algunas consideraciones:

- Los valores exactos de compacidad y esbeltez utilizados son valores basados únicamente en los casos de estudios por lo tanto, no deben ser aplicados en cualquier edificación y/o en cualquier clima.

- La investigación estuvo dirigida al diseño de nuevos edificios de museo de arte, a pesar de que existe un gran número de edificaciones no construidas para el fin siendo utilizadas por dicha función.

- Arquitecturas de destacada expresión no son suficientes para la compatibilidad ambiental. Complementar una arquitectura de calidad espacial con estrategias climáticas parece ser una solución factible. Así también es menester mencionar que observar las relaciones del edificio en el terreno, la presencia de atrio y de un recorrido claro favorece la adaptación climática.

Por esto, se propone como trabajo futuro revisar el desempeño de cada geometría generada para verificar el consumo y establecimiento de los rangos higrotérmicos adecuados para las obras, además de verificar la satisfacción térmica para el usuario. Otra línea posible de desarrollar es indagar ¿Cómo se relaciona la percepción de la geometría en el confort térmico de las personas? También, un estudio detallado con gráfica de isolíneas de cada caso de estudio con la medición de temperatura y humedad por puntos y simulación por dinámica de fluidos, podría indicar cuáles son los lugares más adecuados para exponer los distintos materiales de las obras de arte en el edificio. Otros aspectos relacionados a los parámetros arquitectónicos y su repercusión térmico ambiental como materialidad y variabilidad de la piel, también podrían ser estudiados en una investigación futura. Asimismo se propone incrementar a la herramienta una gama de variaciones y transformaciones tridimensionales para propiciar un mayor número de variedades formales y avanzar con la integración de las condiciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico.

Estudios de compatibilidad ambiental en edificios de esta categoría ciertamente puede traer muchos beneficios y por eso deben ser realizados. La integración de criterios de diseño que apoyan la concepción de nuevos proyectos para la calidad ambiental ha sido llevada a cabo a la vez que puso en discusión el tema.

# Referencias



**BIBLIOGRAFÍA**

ANSI/ASHRAE Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupance*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, GA, 2004.

ARIS, et al. (2006, septiembre). *Energy conscious automated design of building facades using genetic algorithms In Communicating Space(s)*, eCAADe06 Proceedings. eCAADe. Pag. 898-903.

ASCIONE, F.; BELIA, L.; CAPOZZOLIA.; MINICHELLO, F. *Energy saving strategies in air conditioning for museums. Applied Thermal Engineering*. Vol.9. (276-686). 2009.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY S., 2007. *Thermal Comfort. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture The University of Queensland Brisbane*.

BAKER, G. 1998. *Análisis de la forma*. Barcelona: Gustavo Gili S. A.

BENNETT, Tony. 1999. *The Birth of the museum. History, Theory, politics*. Editora: Routledge. New York.

BETANCOURT, M. C. *Diseño Generativo de Vanos para el confort en viviendas del trópico*. Tesis Doctoral. Universidad del Biobío, Concepción, Chile. 2013.

CALDAS, L. et. al. *An evolutionary model for sustainable design. Management of Environmental Quality*. Vol. 14(3)383-397/ 2003. DOI: 10.1108/14777830310479450.

CALDAS, L. G., Norford, L. K. (1999). *Genetic Algorithms tool for optimization*.

\_\_\_\_\_ *A design optimization tool based on a genetic algorithm. Automation in Construction*. Vol. 11/2002 (2). Pág. 173-184.

CANAL, José Luiz de Melo. *Esclarecimentos sobre a realização do projeto para o edifício da Fundação Iberê Camargo. Porto Alegre, marzo de 2008*.

CARLO, J. C, LAMBERTS, R. *Urban climate and its influence on energy consumption ; a case study in two brazilian cities*. Seventh International IBPSA Conference, Proceedings. Rio de Janeiro: IBPSA Brasil. 2001. Pág. 167-180

CDO. *Cadernos d'obra revista científica internacional de construção*. #02, mar 2010. Fundação Iberê Camargo: o projecto, a obra, as tecnologias. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. GEQUALTEC.

CHING, F. 1982. *Arquitectura: forma, espacio y orden*. México: Gustavo Gili S. A., 1982. 968-6085-46-7.

ALVARADO, R. G.; González, A. *Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro-sur de Chile*. Revista INVI N°80/Mayo 2014/Volumen 29: 111-141.

CORGNATI, Stefano Paolo; FABI, Valentina y FILIPINI, Marco. *A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit. Building and Environment* 44 (2009) 1253–1260.

COSTA, Lucio. *Arquitetura*. Rio de Janeiro: Bloch, 1980. (Biblioteca educação é cultura).

DEAR, R. J. *Global Database of Thermal Comfort-Field Experiments*.ASHRAE. Atlanta. Vol. 104 p. 1141-115/1998.

DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. *Developing an adaptive model of thermal Value of Fanger's PMV Index Study Population of School Children*. Rev. Medicina del Lavoro. Milán: V8.P.51-32. 1996.

DINIZ, W.; KRÜGER, E.L. *Relationship between indoor thermal comfort conditions and the Time Weighted Preservation Index (TWPI) in three Brazilian archives. Applied Energy* 88 (2011) 712–723.

EDELWEISS, Roberta K. *La Dialogía en la Arquitectura de los Museos Brasileños después del Movimiento Moderno*. Barcelona. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2008.

ELETROBRÁS. *Empresa brasileira de energia elétrica*, 1999. Disponible en:[www.eletrbras.gov.br]. Acceso en 22 de dic de 2013.

FANGER, P. O. 1970. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company.

FEILDEN, Bernard M.; SCICHIOLONE, Giovanni, (1982) Una arquitectura adaptada a museo. *Museum*. Vol. XXXIV n.1. La conservación: un desafío a la profesión.Unesco Switzerland.

FIGUEROLA, Valentina. “*Concreto, poesia e Niemeyer*”. *Revista AU*. Ano 18, n. 106, Jan. 2003, p. 40.

GALLO, Paola; GARGARI, Caterina.*In: Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September 2004*.

GAOMING G.; FU, Xiao; SHENGWEI, Wang.*Indoor Thermal Comfort and Energy Efficiency of Various Air-Conditioning Schemes for Museum Buildings.Eleventh International IBPSA Conference*. Glasgow, Scotland. July 27-30, 2009.

GENNUSA, Maria La, LASCARI, G. Y RIZZO, *People comfort and artwork saving in museums: comparing indoor requisites.International Journal of Sustainable Design, Volume 1, Number 2 / 2009.pag. 199 – 222*.

\_\_\_\_\_*Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise.Journal of Cultural Heritage, Vol. 9 125-134, Palermo, 2008*.

GIL RIBEIRO, Maria Joana. *O museu como lugar urbano- ruptura ou continuidade*. Tesis Maestría. Universidad Técnica de Lisboa. 2009.

GIVONI, B. e MILNE, M. *Architectural design based on climate, Energy conservation trough buildingsdesign, edited by Donald Watson, MacGraw Hill Book Company. 1979*.

GIVONI, B. *Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Building, vol.18,Amsterdan, 1992.*

\_\_\_\_\_. *Passive and low energy cooling of buildings. Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.*

\_\_\_\_\_. *Climatic aspects of urban design in Tropical regions. Atmosphere environment. Vol. 26b. N°3.pág.397- 406/1991.*

\_\_\_\_\_. *Man, climate and architecture.Applied Science Publishers. London, 2nd. Ed. 1976.*

GÓMEZ, A. *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. Vol. 10, 2006. Pág. 123-129. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.*

\_\_\_\_\_. *Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos. Actas do I Seminário de Investigaçao em Museologia dos Países de Língua Portuguesa e Espanhola, Volume 2, pp. 19-33. 2010.*

GONÇALVES, Simone Neiva Loues. *Museus projetados por Oscar Niemeyer de 1951 a 2006, o programa como coadjuvante. Tese de Doutorado FAUUSP. São Paulo, 2010.*

GONÇALVES, Willi de Barros; SOUZA,CRUZ, Luiz Antônio E YACI, Ara Froner.2011. *Patrimonio Cultural. Acceso en 04.06.2013. Disponible en:[[http://www.patrimoniocultural.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=80&Itemid=57](http://www.patrimoniocultural.org/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=57)].*

GOULART, S. *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações de Florianópolis. Dissertação de Mestrado. UFSC. Septiembre de 1993.*

GOULART, Solange V. G. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras – 2. Ed. / Solange V. G. Goulart, Roberto Lamberts, Samanta Firmino. – Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.*

HELMUT F.O. MUELLERL. *Energy Efficient Museum Buildings. World Renewable Energy Congress XI . 25-30 September 2010, Abu Dhabi, UAE.*

\_\_\_\_\_. *Energy Efficient Museum. Renewable Energy, Volume 49, January 2013, Pages 232-236/2013.*

HUMPHREYS, M. A. *Fields Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. Building Services Engineer. Watfort: v. 44, p.5-27, 1976.*

\_\_\_\_\_. *Energy Efficient Building.Oxford, Editado por Roaf, S. e Hancock, M.-Blackwell Scientific Publications, 1992. Cap. 1: Thermal Comfort in the Context of Energy Conservation.*

HUMPHREYS, MA; RIJAL, HB y NICOL, JF. *Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. Building and Environment Volumen 63, mayo de 2013.Pag. 40-55*

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, F. *Conflicting Criteria for Thermal sensation within the Fanger Predicted Mean Vote Equation*. In: CIBSE/ASHRAE Joint National Conference, *Proceedings*. 1996, pág.153-158.

\_\_\_\_\_. *Standards for Thermal Comfort*. Londres, Editado por Nicol, F., Humphreys, M., Skypes, O., e Roaf, S.-Chapman & Hall, 1995. Cap 1: Comfort Temperatures and Climate.

\_\_\_\_\_. *Energy Efficient Building. Oxford, Editado por Roaf, S. e Hancock, M.-Blackwell Scientific Publications, 1992. Cap. 1: Thermal Comfort in the Context of Energy Conservation*.

IBGE, *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponible em [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\_visualiza.php?id\_noticia=980] . Acceso em 06.02.2013

IBRAM. *Instituto Brasileiro de Museus*. Disponible en: [http://www.ibram.gov.br/] Acceso en septiembre de 2013.

ICOM. *International Council of Museum*. Disponible en: [http://icom.museum/]. Acceso en septiembre de 2013.

ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment and Analytical determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD*. International Organization for Standardization. Geneva, 2005.

ISO10551, *Ergonomics of the Thermal Environment –Assessment of the influence of the thermal environmental using subjective judgment scales*. International Organization for Standardization. Geneva, 1995.

JENCKS, Charles. 2005. *Iconic Buildings*. Editorial International Rizzoli. New York. USA.

JEONG, Jae-Hoon ; LEE, Kyung-Hoon. *The physical environmental in museums and its effects on visitor's satisfaction*.s.l. : Building and Environmental, Vol. 41. Pag 963-969. 2006.

KHABAZI, Zubin. 2010. *Generative Algorithms using Grasshopper*. Editora: Zubin Mohamed Kahbazi.

KIEFER, Flávio (org). 2008. *Fundação Ibere Camargo- Álvaro Siza, Cosac Naify, São Paulo*.

\_\_\_\_\_, Flavio. *MAM e MASP Paradigmas Brasileiros na Arquitetura de Museus*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

\_\_\_\_\_. *Arquitetura e museu na contemporaneidade. Quando a arquitetura brasileira fazia museus*. Vitruvius, 005.02 año 03, jul. 2002. Disponible en: [http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/03.005/1594]

KITLER, Friedrich. Palestra no simpósio *Los Limites Del Museo*, na Fundação Tapies, Barcelona, maio de 1995.

- LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano y PEREIRA, O.I. 2004. *Eficiência energética na Arquitetura*. Ed. ProLivros. São Paulo.
- LIPING et al. *Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore*. Energy and Buildings. Volume 39. Issue 8. 954-961. 2006
- LORENTE; Jesus Pedro. *Los nuevos museos de arte contemporáneo en el cambio de milenio: una revisión conceptual y urbanística*. Museo y Territorio. Vol. 1(1) 60- 86/ 2008.
- MARIN, Phillipe; BIGNON, Jean-Claude; LEQUAY, Hervé. 2008. *Paramètres environnementaux et mécanismes de conception évolutionnaire*. Disponible en [<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00440272>]
- MERAZ, José M. F. *La expresión de una línea museística singular*. Barcelona. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2007.
- MITCHELL, William J; MCCULLOUGH, M. 1995. *Design Digital Media*. Ed. John Wiley & Sons. Canada.
- MITCHELL, William J. *The theoretical foundation of computer-aided architectural design. Environment and planning b*. 1975.
- \_\_\_\_\_. 2008. *A lógica da Arquitetura*. Traducción de Gabriela Celani. Editora USP. São Paulo.
- MONTANER, Joseph Maria. 2008. *Museos para el siglo XXI*. Editora Gustavo Gilli. Barcelona. España.
- \_\_\_\_\_. 2007. *La modernidad superada: ensayos sobre arquitectura contemporánea*. Editora Gustavo Gilli. Barcelona. España.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Las formas del Siglo XX*. Editora Gustavo Gilli. Barcelona. España.
- \_\_\_\_\_. 1995. *Museos para un nuevo siglo*. Editora Gustavo Gilli. Barcelona. España.
- \_\_\_\_\_. 1986. *Los Museos de la última generación*. Editora Gustavo Gilli. Barcelona. España.
- MULLER, Helmut F.O. *Energy Efficient Museum Buildings. Building and Environmental*, Vol. 49. Pag. 232-236/ 2013.
- NAISBITT, John y ABURDENE, Patricia. 2000. *Connaissance des Arts, in: Museo Guggenheim, Bilbao*. MegaTrends.
- NIEMEYER, Oscar. 2004. *Minha Arquitetura 1937-2004*. Ed. Revan. Rio de Janeiro. Brasil.
- NICOL, J. F; HUMPHREYS, M. A. 2002. *Adaptative thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Energy and Buildings. V. 34/6 p. 563-572. Nostrand Reinholds.
- OLGYAY, V., *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editora Gustavo Gilli. Barcelona 1998.

OXMAN, Rivka. *Theory and design in the first digital age*. DESIGN STUDIES 27. London: Elsevier, 2005.

PADFIELD T.; BORCHENSEN K. *Museum Microclimates. National of Denmark*. 2007.

PADFIELD, Tim; LARSEN, Poul Klenz. *Designing museums with a naturally stable climate*. Studies in Conservation 2004. 49 p. 131-13.

\_\_\_\_\_. *How to Design Museums with a Naturally Stable Climate*. Annual Meeting of the International Institute for Conservation, January, 2004.

\_\_\_\_\_. Tim; LARSEN, Poul Klenz. *How to Design Museums with a Naturally Stable Climate*. Annual Meeting of the International Institute for Conservation, January, 2004.

\_\_\_\_\_. Tim.; LARSEN, Poul Klenz. *Does a standard temperature need to be constant? Energy Strategies Committee*, January 6, 2010. Disponible en: [[http://www.conservationphysics.org/standards\\_debate/standards\\_debate.php](http://www.conservationphysics.org/standards_debate/standards_debate.php).] Acceso: 18 de enero de 2014

PAIVA, Cida. *Novo olhar sobre a cidade*. Finestra. n°32/2003. Brasil. São Paulo,

PAVLOGEORGATOS, G.; ANASTASELOS. *Environmental Parameters in Museums*. Lesvos Greece: Vol. 38. doi:10.1016/S0360-1323(03)00113-6. Building and Environmental, 2003.

PERALTA, Rodriguez, L.M.; Teixeira Gouveia, B.A.; Gomes de Sousa, D. J; da Silva Alves, C.; *Enabling museum's environmental motorization based on low-cost WSNs*. On page(s): 227-234, Tozeur, Tunisia May 31 2010-June 2 2010.

PLENDERLEITH, H.J., and WERNER, A.E.A. 1971. *The conservation of antiquities and works of art*. 2d ed., London: Oxford University Press.

PROCEL EDIFICA. *Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações*. Disponible en [<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp>] Acceso: 18 de diciembre de 2014.

RENNER, G., EKÁRT, A *Genetic Algorithms in computer aided design*. Computer-Aided Design. Volume 35, Exsues8. Pag. 709-726/2009.

RIBEIRO, Marina Byrro. *Os Desafios da Arquitetura de Museus Adaptada ao Meio Ambiente*. Atas del Seminário Internacional de Arquitetura de Museus. Rio de Janeiro. 2010. Disponible en: [[http://arquimuseus.arq.br/anais-seminario\\_2010/eixo\\_iii/p3-36-artigo-marina-byrro.pdf](http://arquimuseus.arq.br/anais-seminario_2010/eixo_iii/p3-36-artigo-marina-byrro.pdf)]

\_\_\_\_\_. *A Influência Modernista na Formação dos Museus*. 8º Seminário DOCOMOMO Brasil. Rio de Janeiro 01 a 04 de setembro de 2009.

\_\_\_\_\_. *A arquitetura na conservação preventiva de museos brasileiros*. Actas del I Encontro Luso-Brasileiro, conservação e restauro. Universidade Católica do Porto. Portugal. Pág. 144-165/ 2011.

- RICO, Juan Carlos. 2009. *La Caja de Cristal*. Caceta de Museos. Número 44/2009. Pág. 4-11. Tercera época. Junio a septiembre. ISSN: 1870-5650
- \_\_\_\_\_. 1994. *Arquitectura. Arte I: Los espacios Expositivos*. Editorial Sílex; Madrid.
- RICO, Juan Carlos. 2007. *Montaje de Exposiciones. Museos, Arquitectura y Arte*. Editorial Sílex. Madrid.
- RIZZO, Gianfranco; Beccali, Marco y Nucara, Antonino. *Thermal Comfort*. Encyclopedia of Energy. Vol. 6/2004. 55-64. ISBN: 978-0-12-176480-7
- RODRIGUES, J. Delgado e A., GROSSI. *Indicators and ratings for the compatibility assessment. Journal of Cultural Heritage*, 2007, Vol. 8 . doi:10.1016. 32-43, Lisboa, Portugal.
- RUANO, Miguel. Un Vitruvio ecológico: principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. Barcelona, G. Gili. 2008. 159 p. ISBN 978-84-252-2155-2.
- SASSI, Paola. 2006. *Strategies for Sustainable Architecture*. Ed. Taylor & Francis. New York- USA. ISBN 10-0415-34142 (pbk).
- SEGRE, Roberto. 2010. *Museus Brasileiros*. Editora: Viana & Mosley. Rio de Janeiro, Brasil.
- SERRA, Rafael.; COCH, Helena 1995. *Arquitectura y energía natural*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- SILVA, Heitor da Costa; KINSEL, Luciane Stürmer. Região Climática De Porto Alegre – *Revisão Para Um Desenho Inteligente e uma Arquitetura Adequada*. Arqtextos n° 9, pág. 124-133. Porto Alegre, 2006.
- SILVA, Heitor da Costa; KINSEL, Luciane Stürmer; SILVA G. *Climate Analysis and Strategies for Bioclimatic Design Propouse. Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*. Ireland. 2008.
- SINGH, V. & Gu, N. 2012. *Towards an integrated generative design framework*. Design Studies. Volume 33, Issue 2. 185-207. Disponible en: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X11000391>] Acceso: 19 de enero de 2014.
- SPERLING, David. *Museu Brasileiro da Escultura, utopia de um território contínuo*. Arqtextos Vitruvius. V.18/02, Nov. 2001.
- SZOKOLAY, S.V. *Thermal Design of Buildings*. Pub. RAI Education Division. Australia, 1987.
- SZOKOLOLAY, S.V. *The CPZ (Control Potential Zone) method and its use to develop climate zones*. In: ISES'95, Congress at Harvey, USA. 1995.
- TEDESCHI, A. 2011. *Parametric Architecture with Grasshopper*. Brienza, Italia. Edizione Le Penser.

THOMSON, Gary. *El museo y su entorno*. 2º edición. Akal ediciones. Madrid, España. 1998.

TOLEDO, Franciza. *Museum Passive Buildings in Warm, Humid Climates*. España : Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, 2007.

TONTINI, S.; SANT'ANA, A. J.. *Interação de atributos atrativos e obrigatórios de um serviço na satisfação do cliente*. Produção, v. 18, n. 1, p. 112-125, Jan./Abr. 2008. Disponible en: [<http://www.scielo.br/pdf/prod/v18n1/a09v18n1.pdf>]. Acceso: 18 de enero de 2014.

TURRINET, al. *DesingExplorations of performance driven geometry n architectural design using parametric model and genetic algorithms*. Advanced Engineering Informatics. V.25, 656-675/2011.

\_\_\_\_\_2012. *Performative skins for passive climatic comfort*. A parametric design

TUHUS-DUBROW, D. & KRARTI, M. (2010). *Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings*. Building and Environment. 45.1574-1581. Disponible en: [<http://www.elsevier.com/locate/buildenv>.] Acceso: 14 de junio de 2013.

TZU, Ping Lin. *Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions*. Building and Environment doi:10.1016/j.buildenv. Taiwan, 2009.

UNI 10829:1999. *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

UNI 10969:2002, *Cultural Heritage e General Principles for the Choice and the Control of the Microclimate to Preserve Cultural Heritage in Indoor Environments*, UNI e Ente Italiano di Unificazione, Milán.

UNI 11120:2004. *Beni culturali - Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

UNI 11131:2005. *Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione. Milán.

VIEIRA. Álvaro Siza. *Fundação Iberê Camargo*. PROJETODESIGN. Edição 341 Julho de 2008.

VIEIRA. Álvaro Siza. *Museu Serralves*. PROJETODESIGN. Edição 262 dezembro de 2001.

WANG, et al. *Corrigendum to Façade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore*. Energy and Buildings. Volume 39-2007. Issue 8. 954-961

WANG, et al. *Corrigendum to Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings' in Singapore. Energy and Buildings*. Volume 39-2007. Issue 8.954-961.

WOODBURY, Robert.2010.*Elements of Parametric Design*. Routledge, New York, USA. ISBN-10: 0415779871 | ISBN-13: 978-0415779876 0

ZANISCOF, Paula. *A dimensão publica da arquitetura em museus*. Tese de Maestria. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.2007.



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Plan de Museo. Edificio de rotunda y la Monumentalidad. Étienne Louis Boullée. (1783).....	19
Figura 2. “El museo ideal” museo dibujado de Jean-Nicholas-Louis Durand (1802-1805).La compartimentación en galerías. Fuente: DURAND, J.-N.-L., Compendio de lecciones de arquitectura: parte gráfica de los cursos de arquitectura / J.N.L. Durand; prólogo de Rafael Moneo. 1981, Madrid: Pronaos.....	20
Figura 3. Crystal Palace– Joseph Paxton, Londres (1850).....	22
Figura 4. El Altes un museo construido hacia la ciudad: representación pictórica de la nueva configuración del paisaje en Alemania con su correspondiente impacto social.	23
Figura 5. Vista fotográfica del aspecto actual del Altes Museum, Berlín. Foto:Tobias Kneschke. Fuente: <a href="http://www.berlin.de/museum/3109228-2926344-altes-museum.html">http://www.berlin.de/museum/3109228-2926344-altes-museum.html</a> .....	23
Figura 6. Vista actual MOMA .11 West 53 Street, New York. ....	25
Figura 7. Museo del Crecimiento Ilimitado. Le Corbusier, 1931.....	27
Figura 8.Planta del proyecto idealista del “Museo para una pequeña ciudad”, Ludwig Mies Van der Rohe (1943). Fuente: <a href="http://estoa.blogspot.com.br/2011/07/museo-para-una-pequena-ciudad-herzog-de.html">http://estoa.blogspot.com.br/2011/07/museo-para-una-pequena-ciudad-herzog-de.html</a> .....	28
Figura 9.Museo para una pequeña ciudad. Perspectiva interior, 1943. ....	29
Figura 10. Guggenheim de Nueva York de Frank Lloyd Wright.1969. ....	29
Figura 11.Vista interior de Guggenheim de Nueva York de Frank Lloyd Wright (1969). .....	30
Figura 12. Museo Guggenheim Bilbao. (1992) Frank Gehry. ....	31
Figura 13. <i>Museu do Ipiranga, São Paulo</i> .Imagen de 1902 de Guilherme Gaensly y Vista Actual. ....	35
Figura 14. Proyecto de Lúcio Costa en Museo de las Misiones- RS.1937. ....	36
Figura 15. Vista del Museo Nacional de Bellas Artes de Rio de Janeiro, 1937. Fotografía de Marc Ferrez.....	36

Figura 16. MAM (1962). Rio de Janeiro. Foto: Roberto M. Filho.....	37
Figura 17. MASP (1968). São Paulo. ....	37
Figura 18. MUBE, en São Paulo, de Paulo Mendes da Rocha.(1994). Foto: Nelson K.	38
Figura 19. MAC, en Niterói (1996), de Oscar Niemeyer.....	39
Figura 20. MON en Curitiba (2002), de Oscar Niemeyer.....	39
Figura 21. FIC en Porto Alegre (2008), de Álvaro Siza. ....	39
Figura 22. Museu da Imagem e do Som (MIS), de Diller-Scofidio+Renfro. ....	40
Figura 23. Museu do Amanhã, de Santiago Calatrava.....	41
Figura 24. Museu de Arte do Rio de Janeiro (MAR), de Bernard Jacobsen.....	41
Figura 25. Gráfico Psicrométrico .....	59
Figura 26. Gráfica PMV-PPD. Fanger (1970).....	62
Figura 27. Aspectos topográficos: altura relativa. ....	72
Figura 28. Orientación y pendiente.....	72
Figura 29. Orientaciones según orden de preferencia.....	73
Figura 30. Orientación Preferida. ....	73
Figura 31. Aspectos en relación con el agua. ....	74
Figura 32. Aspectos en relación a la vegetación.....	74
Figura 33. Grado de compacidad de un edificio.....	76
Figura 34. Grados de porosidad del edificio. ....	77
Figura 35. Grados de esbeltez de un edificio. ....	78
Figura 36. Grado de asentamiento de un edificio. ....	79
Figura 37. Grado de adosamiento de un edificio.....	80
Figura 38. Clima Subtropical Húmedo, según Koppen. ....	85
Figura 39. Clima Subtropical Húmedo de Brasil.....	86
Figura 40. Ocurrencia del Clima subtropical Húmedo en Brasil. ....	87
Figura 41. Carta Bioclimática con TRY de São Paulo. ....	89

Figura 42. Carta Bioclimática con TRY de Curitiba. ....	90
Figura 43. Carta Bioclimática con TRY de Porto Alegre. ....	91
Figura 44. Mapa Clima IBGE, 2010, sobre posición Museos IBRAM, 2010.....	94
Figura 45. Ubicación de los casos de estudio.....	95
Figura 46. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Vista Avenida Europa. Foto: autora. ....	99
Figura 47. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Vista Esquina . Foto: Nelson Kon/ .....	99
Figura 48. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Vista Calle Alemaña. ....	99
Figura 49. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Vista interna Instalación.....	100
Figura 50. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Vista interna. Exposición Fotografías....	100
Figura 51. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Vista interna. Exposición Collage. ....	100
Figura 52. Croquis de Paulo Mendes da Rocha.....	101
Figura 53. Croquis de Paulo Mendes da Rocha 1986 presentado al Memorial del Concurso.....	101
Figura 54. MUBE. Implantación. ....	102
Figura 55. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Planta Baja Exposiciones .....	103
Figura 56. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Corte Longitudinal.....	103
Figura 57. <i>Museu Brasileiro da Escultura</i> . Corte Transversal.....	103
Figura 58. Implantación general del complejo MON. ....	107
Figura 59. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Vista externa. ....	107
Figura 60. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Vista interna original con vidrio gris. ....	108
Figura 61. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . ....	108
Figura 62. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Vista interna actual con vidrio negro. ....	108
Figura 63. Croquis de Oscar Niemeyer para el Instituto de Educación- Edificio Castelo Branco. ....	108
Figura 64. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Implantação. ....	109
Figura 65. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Planta Arco Cóncavo. ....	110

Figura 66. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Planta Arco Convexo. ....	110
Figura 67. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Cortes Longitudinal y Transversal. ....	110
Figura 68. <i>Museu Oscar Niemeyer</i> . Elevación Este. ....	110
Figura 69. Croquis FIC. Álvaro Siza. ....	113
Figura 70. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . ....	114
Figura 71. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Implantación. ....	114
Figura 72. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Subsuelo. ....	115
Figura 73. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Primer Piso. ....	115
Figura 74. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Segundo Piso. ....	115
Figura 75. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Cuarto Piso. ....	115
Figura 76. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Sección A. ....	116
Figura 77. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Sección B. ....	116
Figura 78. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Sección C. ....	116
Figura 79. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Sección D. ....	117
Figura 80. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Sección E. ....	117
Figura 81. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Elevación Norte. ....	117
Figura 82. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Sección transversal exposiciones. ....	118
Figura 83. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Foto exterior volumen de exposiciones. ....	118
Figura 84. <i>Fundação Iberê Camargo</i> . Vista Interna. ....	118
Figura 85. Interfase de una definición paramétrica en Grasshopper. ....	152
Figura 86. Transformaciones tridimensionales utilizadas. Adaptación Marin, 2008. ...	154
Figura 87. Diagrama de la Implementación Paramétrica. ....	155
Figura 88. Interfase del modelo paramétrico para la Compatibilidad Ambiental. ....	156
Figura 89. Pantalla de Bienvenida al ambiente de modelación. ....	157
Figura 90. Sliders de la Programación Paramétrica. ....	158
Figura 91. Arquitectos en la realización del Workshop. 09 de agosto de 2013. ....	159

---

Figura 92. Terreno propuesto. ....	162
Figura 93. Participante experimentando con la herramienta paramétrica. ....	163
Figura 94. Orientación Recomendada. ....	232
Figura 95. Compacidad recomendada. ....	232
Figura 96. Porosidad recomendada. ....	232
Figura 97. Esbeltez Recomendada. ....	232
Figura 98. Asentamiento Recomendado .....	232
Figura 99. Perforación recomendada por Fachadas. ....	233



**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Características museos hasta la Ilustración. Fuente: Rico, 1999. ....	17
Tabla 2. Valores de requerimientos para las obras de arte, UNI 10829, de 2001. ....	55
Tabla 3. Principales Agentes de Degradación, según Agostino (2005). ....	56
Tabla 4. Tabla Síntesis Condiciones Higrotérmica en Museos. Autora. ....	65
Tabla 5. Estrategias Bioclimáticas para São Paulo. Adaptado por la autora. ....	89
Tabla 6. Estrategias Bioclimáticas para Curitiba. Adaptado por la autora. ....	90
Tabla 7. Estrategias Bioclimáticas para Porto Alegre. Adaptado por la autora. ....	91
Tabla 8. Parámetros de la geometría y consumo MUBE, MON y FIC. Autora. ....	123
Tabla 9. Registro de Temperaturas MUBE, MON y FIC. Elaboración autora. ....	127
Tabla 10. Verificación de requisitos para las obras. Verano. Autora. ....	129
Tabla 11. Verificación de requisitos para las obras. Invierno. Autora. ....	130
Tabla 12. Requerimientos de las obras de arte (RO). MUBE, MON y FIC. Autora. ....	131
Tabla 15. Satisfacción Usuarios (SU). MUBE, MON y FIC. Elaboración propia. ....	136
Tabla 16. Resultados de C. A. y consumo de los casos de estudio. Autora. ....	128
Tabla 17. Dominio de criterios geométricos. Elaboración de la autora. ....	139
Tabla 18. Programa de contenido del Workshop. Elaboración de la autora. ....	146
Tabla 19. Geometrías generadas en el workshop. ....	147



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Climograma. Elaboración de la autora. ....	92
Gráfico 2. Satisfacción Térmica de los visitantes en verano.....	134
Gráfico3. Características de los visitantes consultados. ....	135
Gráfico 4. Satisfacción Térmica visitantes (%).....	136



## **LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Compacidad.....	209
Ecuación 2. Porosidad.....	210
Ecuación 3. Esbeltez .....	211
Ecuación 4. Perforación .....	211



**LISTA DE SIGLAS**

MON	<i>Museu Oscar Niemeyer</i>
FIC	<i>Fundação Iberê Camargo</i>
MUBE	<i>Museu Brasileiro Da Escultura</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IBRAM	<i>Instituto Brasileiro De Museus</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística</i>
CA	<i>Compatibilidad Ambiental</i>
SU	<i>Satisfacción del Usuario</i>
RO	<i>Requerimiento para las Obras</i>



# Anexos y Apéndices

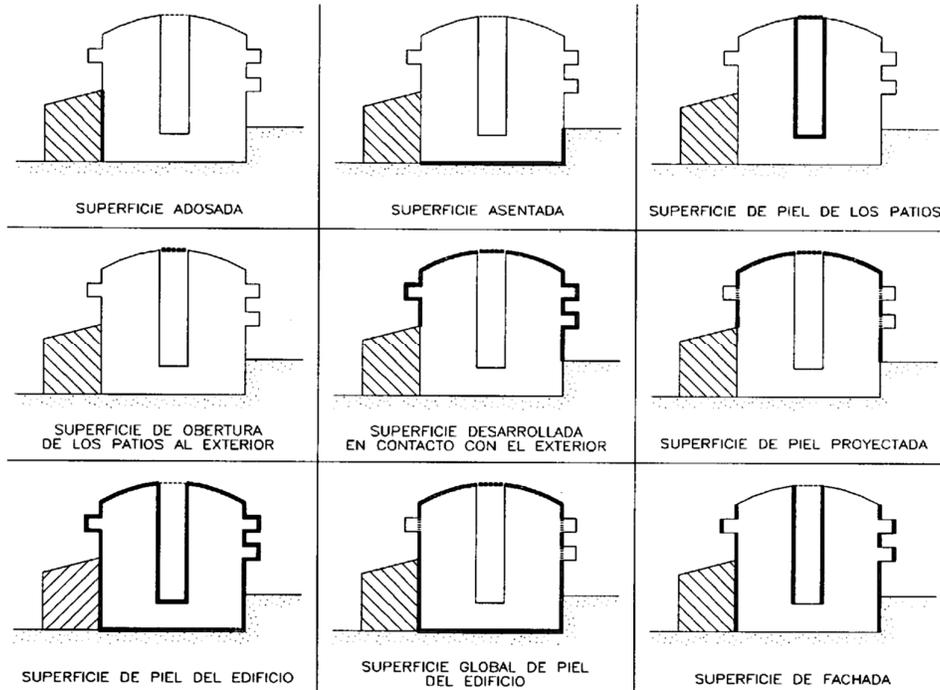


**ANEXOS**

**ANEXO A . Síntesis Evolución Formal. Fuente: Rico, 1999.**

		GALERIA			SOLUCIONES MIXTAS	ROTONDA		
	Cronología	Fases	Esquema lineal	Giro				
TIPOLOGÍA	Renacimiento	Coleccionar	Obras en los salones					
		Circular	El almacenamiento					
		Pasear	La decoración					
	Barroco	Admirar	Galería en los programas					
		Reflexionar	La vuelta a los salones Sturm		Dresden			
	Disfrutar	1861-Villa Albani 1769-Kassel  La separación el giro						
	Ilustración					1770- Newby Hall		
PROTOTIPOS	1770-1816	La búsqueda			1ª fase: La Rotonda como una tipología más 2ª fase: La rotonda generatriz del giro			
	1816-1836	El prototipo	Alte Pinakothek	La combinación	La gliptoteca	Altes Museum		
	1836-1870	El desarrollo	New Pinakothek	Museo de Agust Stuler	Museo de Atenas Hermitage	Los museos Ingleses		
	1870-1930	LAS INVESTIGACIONES DEL MOVIMIENTO MODERNO						Mov. Internacional
	1/3 siglo XX	Definición	Le Corbusier				Mies Van der Rohe	MOMA
	1945-1970	Desarrollo	Museos de Ahmedabad Tokio Chandigarh		Rietveld	Philip Johnson Alvar Alto Kahn	Cullinan Hall Neue Gallerie	
	1960-1975	El final	Museo Guggenheim				Centro Pompidou	Los museos en el paisaje
		Situación Actual	La sustitución de una metodología Arquitectónica general, por la relación directa entre la obra de arte y el espacio.					

**ANEXO B.** Nomenclatura de pieles del edificio. Fuente: Serra y Coch, 1995.



**ANEXO C. Ecuación 1. Compacidad**

$$c = \frac{Seq}{Sg} \quad \therefore \quad 4,836 \frac{Vt^{2/3}}{Sg} \quad (adimensional)$$

Dónde:

c = coeficiente de compacidad, (valores entre 0 y 1)

Seq = superficie equivalente.

Vt = volumen total del edificio, incluidos los patios.

Sg = superficie global de la piel que rodea el edificio.

La ecuación se desarrolla de la siguiente forma:

$$Vt \text{ . } \textit{Vesfera} \text{ . } \frac{4}{3} \cdot r^3 \text{ yr. } \sqrt[3]{\frac{3 Vt}{4}}$$

$$Seq \text{ . } \textit{Sesfera} \text{ . } 4 \cdot r^2 \text{ . } 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{9 Vt^2}{16 \cdot 2}} \text{ . } 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{9}{16 \cdot 2}} Vt^{2/3} \text{ . } 4,836 Vt^{2/3}$$

**ANEXO D. Ecuación 2. Porosidad**

$$p = \frac{V_{ep}}{V_t} \quad \therefore \quad 0,094 \frac{Spp^{3/2}}{V_t} \quad (\text{adimensional})$$

Dónde:

p = coeficiente de porosidad del edificio, (valores entre 0 y 1),

V<sub>ep</sub> = volumen equivalente de patios,

V<sub>t</sub> = volumen total del edificio, incluidos los patios,

Spp = (superficies paredes patios + superficies caras abiertas).

La fórmula se desarrolla de la siguiente forma:

$$V_{ep} = \frac{4}{3} \cdot r^3 \quad \text{y} \quad Spp = 4 \cdot r^2$$

$$r = \frac{1}{2} \left( \frac{Spp}{4} \right)^{2/3}$$

$$V_{ep} = \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{1}{2} \left( \frac{Spp}{4} \right)^{2/3} \right)^3 = \frac{1}{6} Spp^{2/3} = 0,094 Spp^{3/2}$$

**ANEXO E. Ecuación 3. Esbeltez**

$$e = \frac{h}{d} \therefore \frac{h}{\sqrt{\frac{Vt}{h} \cdot h^2}} \quad (\text{adimensional})$$

Dónde:

e = coeficiente de esbeltez

h = altura del edificio,

So = superficie ocupada en planta o superficie media,

r = radio del círculo de superficie S.

Y se desarrolla de la siguiente forma:

$$e = \frac{h}{d} \cdot \cos \theta$$

$$d = \sqrt{r^2 \cdot h^2} \quad ; \quad So = \pi \cdot r^2 \quad \text{y por tanto} \quad r^2 = \frac{So}{\pi}$$

Y sustituyendo resulta:

$$e = \frac{h}{\sqrt{(r^2 \cdot h^2)}} \cdot \frac{h}{\sqrt{(\frac{So}{\pi} \cdot h^2)}}$$

Si la planta del edificio varía según la altura, entonces So es la superficie media de las plantas, la fórmula que se utiliza para cualquier caso es:

$$So = \frac{Vt}{h} \quad \text{y por tanto,} \quad e = \frac{h}{\sqrt{\frac{Vt}{h} \cdot h^2}}$$

**ANEXO F. Ecuación 4. Perforación**

$$pr = \frac{Spr}{Sg} \quad (\text{adimensional})$$

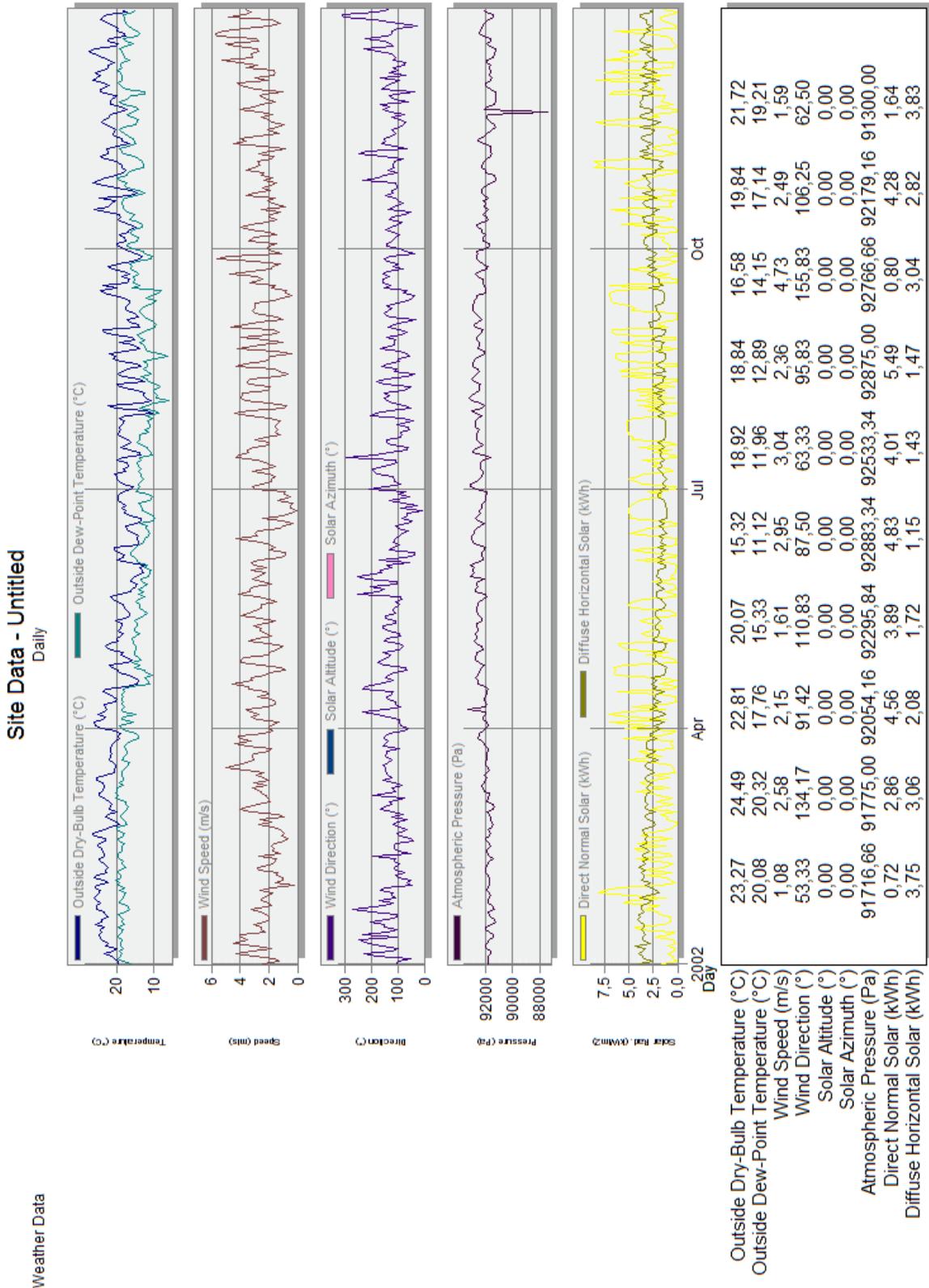
Dónde:

pr = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1),

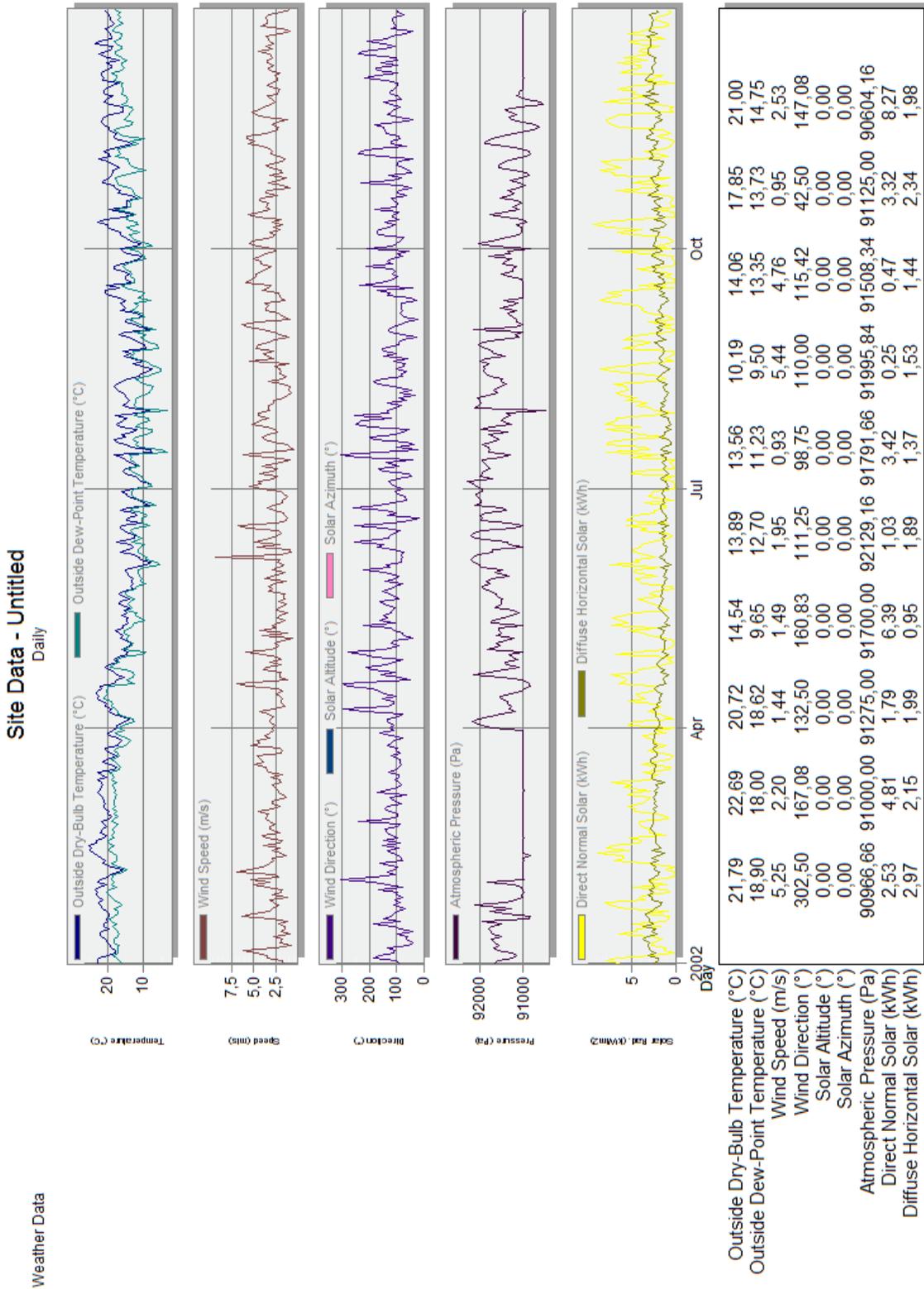
Spr = superficie perforada,

Sg = superficie global de la piel del edificio

**ANEXO G.** Datos climáticos de São Paulo. Fuente: Weather Data, Design Builder Software.

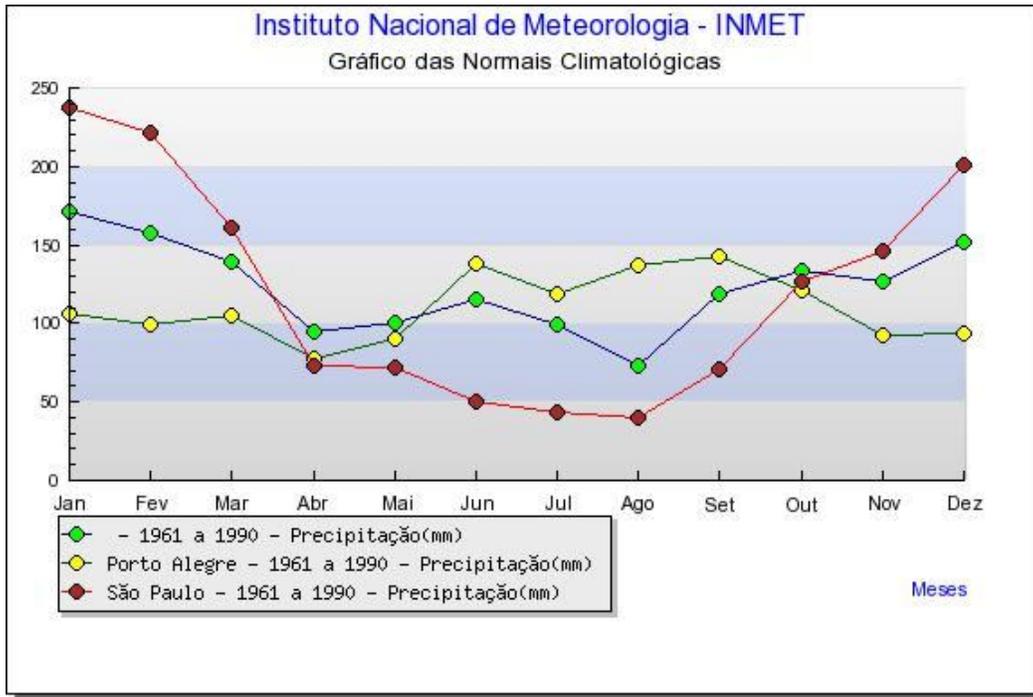


**ANEXO H.** Datos climáticos de Curitiba. Fuente: Weather Data, Design Builder Software.





**ANEXO J. Índice Pluviométrico para São Paulo, Curitiba y Porto Alegre.**



Fuente: INMET. <http://www.inmet.gov.br/portal/>

ANEXO K. Consumos de energía eléctrica MUBE



**Eletropaulo**  
Sociedade de Energia Elétrica de São Paulo S.A.  
Empresa AES Brasil

Av. Dr. Marcos Penteado de Ulhôa Rodrigues, 939, Loja 1 e 2, Térreo,  
1º ao 7º andar - Torre II - Bairro São Tamboré - Barueri/SP - Cep. 06460-040  
CNPJ: 01.693.227/0001-93 - Inscricao Estadual: 206165.226110  
Regime Especial Proc. Nº 100635-686924/2005

DOC. IMPRESSÃO 525202931469  
CONTRATO Nº 1015135  
APRESENTAÇÃO 13.12.2012

NOTA FISCAL A / FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 000004849 Página 1/2

**DADOS PARA ENTREGA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 00218  
JARDIM EUROPA  
04449-000 - SAO PAULO

**DADOS DO CLIENTE/UNIDADE CONSUMIDORA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 218  
JARDIM EUROPA  
04449-000 SAO PAULO  
CNPJ: 50.866.400/0001-71 INSCRIÇÃO ESTADUAL:

**LEITURA**  
Anterior 09.11.2012  
Atual 11.12.2012  
Próxima 10.01.2013

Nº DA INSTALAÇÃO	Nº DO CLIENTE	Nº DO MEDIDOR	CONTA REFERENTE A	DATA DE EMISSÃO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)
MTE0001867	10008300	8598939	DEZ 2012	11.12.2012	20.12.2012	11.741,15

DESCRIÇÃO	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	REGISTRADO	CONTRATADO	FATURADO	TARIFA	VALORES
INSTALAÇÃO Nº MTE0001867							
MEDIDOR Nº 8598939							
CONST. POTENCIA 0,16800							
CONST. ATIVO 0,04200							
CONST. REATIVO 0,04200							
CONSUMO PONTA	9.393.508	9.463.266	3.769,8				
CONSUMO FORA PONTA CAPACITIVO	5.860.655	5.900.008	1.652,8				
CONSUMO FORA PONTA INDUTIVO	51.871.617	52.295.497	17.800,4				
DEMANDA PONTA	893	811	136,2				
DEMANDA FORA PONTA CAPACITIVA	180	198	33,3				
DEMANDA FORA PONTA INDUTIVA	888	936	157,2				
ENERGIA REATIVA PONTA	2.740.252	2.764.411	1.014,7				
ENERGIA REATIVA F. PONTA IND.	26.201.232	26.383.733	7.665,0				
UFER PONTA	383.111	385.216	86,4				
UFER FORA PONTA CAPACITIVA	54.963	54.383	0,0				
UFER FORA PONTA INDUTIVA	6.535.280	6.572.972	1.583,9				
DMCR PONTA	2.827	3.004	126,2				
DMCR FORA PONTA CAPACITIVA	643	678	28,5				
DMCR FORA PONTA INDUTIVA	3.342	3.476	146,0				
ENERGIA REATIVA F. PONTA CAP.	399.109	399.220	4,7				
DEMANDA CONTRATADA				230,0			
DEMANDA					230,0	19,32000	4.443,60
CONSUMO ATIVO TUSU					23.223,1	0,03924	911,27
CONSUMO ATIVO TE					23.223,1	0,14821	3.441,89
UFER TE					1.072,3	0,14821	247,85
COSIP LEI 13.479/02							13,25
PIS/PASEP							102,01
COFINS							470,27
ICMS							2.111,01
FATOR DE CARGA							
OUT/12							
DIC ANUAL 13.43							

IMPORTE SUJEITO A ICMS:	VALOR DO ICMS:	VALOR DA NOTA FISCAL:	VALOR DA FATURA A PAGAR:
ALÍQUOTA:			

Reservado ao Fisco  
**B564.49AB.29C3.2C9D.EF0E.01D3.9919.BC84**

CATEGORIA DE TARIFA	CLASSE
A4 - CONVENCIONAL BINÔMIA	COMERCIAL

Autenticação Mecânica

XXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXX	XX
Local de Pagamento	Vencimento	.....
Pagável, até o vencimento, em qualquer agência bancária da rede autorizada	Agência / Código Cedente	.....
Cedente Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A. - CNPJ nº 61.693.227/0001-93 Av. Dr. Marcos Penteado de Ulhôa Rodrigues, 939, Loja 1 e 2, Térreo, 1º ao 7º andar - Torre II - Bairro São Tamboré - Barueri/SP - Cep. 06460-040	Nosso Número	.....
Data do Documento XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Número do Documento XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Espécie Doc. XXXX
Use do Banco	Carteira XXX	Espécie
	Quantidade	Valor X
Instruções (Todas informações deste bloquete são de exclusiva responsabilidade do cedente)	(-) Desconto / Abatimento	.....
	(-) Outras Deduções	.....
	(+) Mora / Multa	.....
	(+) Outros Acréscimos	.....
	(=) Valor Cobrado	.....

Sacado:XX  
XX  
XX  
XX

Sacador / Avalista: \_\_\_\_\_ Código de Baixa: \_\_\_\_\_  
Autenticação Mecânica / FICHA DE COMPENSAÇÃO

\*\*\* Dados de pagamento na última folha \*\*\*











**FS Eletropaulo**  
Empresa AES Brasil

**Eletropaulo**  
Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A.  
Rua Lourenço Marques, 159, 04547-100, São Paulo, SP  
CNPJ: 61.695.227/0001-93 - Inscricao Estadual: 106.317.076.116  
Regime Especial Proc. DRT-1 nº 20.186/71

**DOC. IMPRESSÃO** 517602642444  
**CONTRATO Nº** 1015135  
**APRESENTAÇÃO** 11.05.2012

---

**NOTA FISCAL A / FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA** Nº: 000004901

Página 1/2

**DADOS PARA ENTREGA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 218  
JARDIM EUROPA  
01449-000 - SAO PAULO  
CNPJ: 50.856.400/0001-71 | INSCRIÇÃO ESTADUAL:

**DADOS DO CLIENTE/UNIDADE CONSUMIDORA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 218  
JARDIM EUROPA  
01449-000 - SAO PAULO  
CNPJ: 50.856.400/0001-71 | INSCRIÇÃO ESTADUAL:

**LEITURA**  
Anterior 10.04.2012  
Atual 09.05.2012  
Próxima 11.06.2012

Nº DA INSTALAÇÃO	Nº DO CLIENTE	Nº DO MEDIDOR	CONTA REFERENTE A	DATA DE EMISSÃO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)
MTE0001867	10008300	8598939	MAI 2012	09.05.2012	18.05.2012	13.209,38

DESCRIÇÃO	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	REGISTRADO	CONTRATADO	FATURADO	TARIFA	VALORES
INSTALAÇÃO Nº MTE0001867							
MEDIDOR Nº 8598939							
CONST. POTENCIA 0,16800							
CONST. ATIVO 0,04200							
CONST. REATIVO 0,04200							
CONSUMO PONTA	8.932.204	8.997.087	2.725,1				
CONSUMO FORA PONTA CAPACITIVO	5.627.457	5.659.761	1.368,8				
CONSUMO FORA PONTA INDUTIVO	49.479.549	49.781.634	12.687,6				
DEMANDA PONTA	371	908	152,5				
DEMANDA FORA PONTA CAPACITIVA	80	227	38,1				
DEMANDA FORA PONTA INDUTIVA	371	879	147,7				
ENERGIA REATIVA PONTA	2.628.616	2.647.106	776,5				
ENERGIA REATIVA F. PONTA IND.	25.002.654	25.198.115	7.761,0				
UFER PONTA	374.943	376.107	48,9				
UFER FORA PONTA CAPACITIVA	54.963	54.963	0,0				
UFER FORA PONTA INDUTIVA	6.254.828	6.297.603	1.796,6				
DMCR PONTA	1.338	3.318	139,4				
DMCR FORA PONTA CAPACITIVA	288	824	34,6				
DMCR FORA PONTA INDUTIVA	1.216	3.228	135,6				
DEMANDA CONTRATADA	398.043	398.043	0,0				
DEMANDA				230,0			
CONSUMO ATIVO					230,0	31,31000	7.201,30
UFER					16.789,4	0,16132	2.705,24
COSIP LEI 13.479/02					1.845,4	0,12648	233,41
PIS/PASEP							13,25
COFINS							121,39
ICMS							569,50
FATOR DE CARGA			0,151				2.375,29

12100076000540

Reservado ao Fisco  
**940E.9108.05B7.04F2.310E.BB63.AEE5.FF0D**

CATEGORIA DE TARIFA	CLASSE
A4 - CONVENCIONAL	COMERCIAL

Autenticação Mecânica

---

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXX

Local de Pagamento: XXX

Cedente: XXX

Data do Documento: XXXXXXXXXXXXXXX Número do Documento: XXXXXXXXXXXXXXX Espécie Doc: XXXX Aceite: X Data Processamento: XXXXXXXXXXXXXXX

Uso do Banco: Carteira XXX Espécie XXX Quantidade XXX Valor X

Instruções (Todas informações deste bloquete são de exclusiva responsabilidade do cedente)

Vencimento: \*\*\*\*\*

Agência / Código Cedente: \*\*\*\*\*

Nosso Número: \*\*\*\*\*

(=) Valor do Documento: \*\*\*\*\*

(-) Desconto / Abatimento: \*\*\*\*\*

(-) Outras Deduções: \*\*\*\*\*

(+) Mora / Multa: \*\*\*\*\*

(+) Outros Acréscimos: \*\*\*\*\*

(=) Valor Cobrado: \*\*\*\*\*

Sacado: XXX

Sacador / Avalista: XXX

\*\*\* Dados de pagamento na última folha \*\*\*

Código de Baixa: \*\*\*\*\*  
Autenticação Mecânica / FICHA DE COMPENSAÇÃO





**ES Eletropaulo**  
Empresa AES Brasil

Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A.  
Rua Ipiranga, Marques, 158 - 04547-100, São Paulo, SP  
CNPJ: 61.686.227/0001-93 - Inscrição Estadual: 108.317.078.118  
Regime Especial Proc. DRT-1 nº 20.186/71

DOC. IMPRESSÃO 511902626293  
CONTRATO Nº 1015135  
APRESENTAÇÃO 13.03.2012

NOTA FISCAL A / FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 000004431 Página 1/2

**DADOS PARA ENTREGA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 00218  
JARDIM EUROPA  
01449-000 - SAO PAULO

**DADOS DO CLIENTE/UNIDADE CONSUMIDORA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 218 - JARDIM EUROPA  
01449-000 - SAO PAULO  
CNPJ: 50.856.400/0001-71 INSCRIÇÃO ESTADUAL:

**LEITURA**  
Anterior 08.02.2012  
Atual 09.03.2012  
Próxima 10.04.2012

Nº DA INSTALAÇÃO	Nº DO CLIENTE	Nº DO MEDIDOR	CONTA REFERENTE A	DATA DE EMISSÃO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)
MTE0001867	10008300	8598939	MAR 2012	09.03.2012	20.03.2012	13.180,17

DESCRIÇÃO	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	REGISTRADO	CONTRATADO	FATURADO	TARIFA	VALORES
INSTALAÇÃO Nº MTE0001867							
MEDIDOR Nº 8598939							
CONST. POTENCIA 0,16800							
CONST. ATIVO 0,04200							
CONST. REATIVO 0,04200							
CONSUMO PONTO	8.830.888	8.884.331	2.244,6				
CONSUMO FORA PONTO CAPACITIVO	5.562.854	5.595.614	1.375,9				
CONSUMO FORA PONTO INDUTIVO	40.878.588	49.182.257	12.749,1				
DEMANDA PONTO	760	821	137,9				
DEMANDA FORA PONTO CAPACITIVA	243	213	35,8				
DEMANDA FORA PONTO INDUTIVA	733	801	134,6				
ENERGIA REATIVA PONTO	2.592.333	2.613.584	892,5				
ENERGIA REATIVA F. PONTO IND.	24.640.835	24.812.895	7.295,5				
UFER PONTO	369.620	373.346	156,5				
UFER FORA PONTO CAPACITIVA	54.963	54.963	0,0				
UFER FORA PONTO INDUTIVA	6.163.920	6.206.349	1.782,0				
DMCR PONTO	2.775	3.037	127,6				
DMCR FORA PONTO CAPACITIVA	589	772	32,4				
DMCR FORA PONTO INDUTIVA	2.704	2.987	125,5				
ENERGIA REATIVA F. PONTO CAP.	398.584	398.642	2,4				
DEMANDA CONTRATADA				230,0	230,0	31,31000	7,20130
DEMANDA					16.369,6	0,16132	2,64074
CONSUMO ATIVO					1.938,5	0,12648	245,18
UFER							13,25
COSIP LEI 13.479/02							126,39
PIS/PASEP							583,28
COFINS							2.370,03
ICMS							
FATOR DE CARGA							

JAN/12  
Encargo de uso do sistema de distribuição (OM) 7648,84  
- CFOP: 5253 (Venda de en. elétrica p/ estabelecimento comercial)  
- O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.

IMPORTE SUJEITO A ICMS: \_\_\_\_\_ VALOR DO ICMS: \_\_\_\_\_ VALOR DA NOTA FISCAL: \_\_\_\_\_  
ALÍQUOTA: \_\_\_\_\_ VALOR DA FATURA A PAGAR: \_\_\_\_\_

Reservado ao Fisco  
**699D.78D3.239D.7AD3.C78E.F5C5.5B57.8DF6**

000153 - (CA01)	CATEGORIA DE TARIFA	CLASSE
Folha: 1/2	A4 - CONVENCIONAL	COMERCIAL

Autenticação Mecânica

XXXXXXXXXXXXXXXXXX		XXXXX	XX		
Local de Pagamento	XX			Vencimento	.....
Cedente	XX			Agência / Código Cedente	.....
Data do Documento	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Espécie Doc.	XXXXX	Acerte	X
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	Data Processamento	.....
Uso do Banco	Carteira XXX	Espécie XX	Quantidade	Valor	X
Instruções (Todas informações deste bloqueto são de exclusiva responsabilidade do cedente)					
				(-) Desconto / Abatimento	.....
				(-) Outras Deduções	.....
				(+) Mora / Multa	.....
				(+) Outros Acréscimos	.....
				(=) Valor Cobrado	.....
Sacado: XXX					
XX					
XX					
XX					
Sacador / Avalista: _____					
				Código de Baixa:	.....
				Autenticação Mecânica / FICHA DE COMPENSAÇÃO	.....

\*\*\* Dados de pagamento na última folha \*\*\*



**AES Eletropaulo**  
Uma Empresa AES Brasil

Eletropaulo Metropolitana Electricidade de São Paulo S.A.  
Rua Lourenço Marques, 158, 04547-100, São Paulo, SP  
CNPJ: 61.695.227/0001-93 - Inscrição Estadual: 108.317.078.118  
Regime Especial Proc. DRT-1 nº 20.186/71

DOC. IMPRESSÃO 515702484509  
CONTRATO Nº 1015135  
APRESENTAÇÃO 12.01.2012

**NOTA FISCAL A / FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA** Nº 000009426 Página 1/2

**DADOS PARA ENTREGA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 00218  
JARDIM EUROPA  
01449-000 - SÃO PAULO

**DADOS DO CLIENTE/UNIDADE CONSUMIDORA**  
SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS  
AV EUROPA 218 - JARDIM EUROPA  
01449-000 - SÃO PAULO  
CNPJ: 50.856.400/0001-71 INSCRIÇÃO ESTADUAL:

LEITURA  
Anterior 12.12.2011  
Atual 10.01.2012  
Próxima 08.02.2012

Nº DA INSTALAÇÃO	Nº DO CLIENTE	Nº DO MEDIDOR	CONTA REFERENTE A	DATA DE EMISSÃO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)
MTE0001867	10008300	8598939	JAN 2012	10.01.2012	19.01.2012	12.573,93

DESCRIÇÃO	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	REGISTRADO	CONTRATADO	FATURADO	TARIFA	VALORES
INSTALAÇÃO Nº MTE0001867							
MEDIDOR Nº 8598939							
CONST. POTENCIA 0,16800							
CONST. ATIVO 0,04200							
CONST. REATIVO 0,04200							
CONSUMO PONTO	8.752.631	8.785.327	1.373,2				
CONSUMO FORA PONTO CAPACITIVO	5.498.757	5.530.735	1.343,1				
CONSUMO FORA PONTO INDUTIVO	48.366.107	48.607.281	10.129,3				
DEMANDA PONTO	1.235	283	47,5				
DEMANDA FORA PONTO CAPACITIVA	124	316	53,1				
DEMANDA FORA PONTO INDUTIVA	1.104	681	114,4				
ENERGIA REATIVA PONTO	2.546.198	2.569.085	961,3				
ENERGIA REATIVA F. PONTO IND	24.282.899	24.461.133	7.405,8				
UFER PONTO	358.229	364.150	248,7				
UFER FORA PONTO CAPACITIVA	54.963	54.963	0,0				
UFER FORA PONTO INDUTIVA	6.055.612	6.115.436	2.512,6				
DMCR PONTO	4.214	1.034	43,4				
MCR FORA PONTO CAPACITIVA	448	905	38,0				
DMCR FORA PONTO INDUTIVA	4.094	2.297	96,5				
ENERGIA REATIVA F. PONTO CAP.	398.575	398.584	0,4				
DEMANDA CONTRATADA				230,0			
DEMANDA					230,0	31,31000	7.201,30
CONSUMO ATIVO					12.845,6	0,16132	2.072,25
UFER					2.761,3	0,12648	349,24
COSIP LEI 13.479/02							13,25
PIS/PASEP							120,56
COPFINS							556,42
ICMS							2.260,91
FATOR DE CARGA			0,154				

Reservado ao Fisco  
AB0A.6B11.FD36.1CB1.8918.A3FF.3D09.2BA0

000155 - (GAD1)  
Folha: 1/2

CATEGORIA DE TARIFA: A4 - CONVENCIONAL  
CLASSE: COMERCIAL

Autenticação Mecânica

**PAGO**  
16/01/12  
01/00 48090.5

VALOR DA NOTA FISCAL: 1912  
VALOR DA FATURA A PAGAR: 1912

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXX

Local de Pagamento: XXX

Cedente: XXX

Data do Documento: XXXXXXXXXXXXXXXX Número do Documento: XXXXXXXXXXXXXXXX Espécie Doc.: XXXX Aceite: X Data Processamento: XXXXXXXXXXXXXXX

Uso do Banco: Carteira: XXX Espécie: XX Quantidade: XXX Valor: X

Instruções (Todas informações deste bloquete são de exclusiva responsabilidade do cedente)

Sacado: XXX

Sacador / Avalista: XXX

Código de Baixa: XXXXXXXXXXXXXXX

Autenticação Mecânica / FICHA DE COMPENSAÇÃO

\*\*\* Dados de pagamento na última folha \*\*\*



### ANEXO L. Consumos de energía eléctrica MON

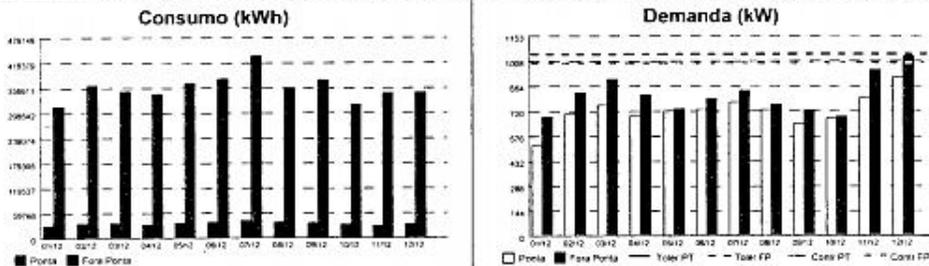
Dados Gerais		Mês/Ano Consumo/Use do Sistema: 01/2013		EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO			
Poder/Ppe-Adm Publica Em Geral		Data Provavel Apresent	15/02/2013	2113	kW	kWh	kvarh
Térmo Período Umido 04/2013		Data Real Lei Atual	21/01/2013	Medidor	0029601014	0029601014	0029601014
Térmo Período Seco 11/2013		Data Real Lei Anterior	19/12/2012	Constante	1.920	0.480	0.480
Perdas de Transformação 0%		Data Provavel Prox Leitura	21/02/2013	Constante Excedente Relativo kWh/kWh			0.480

Grandezas e Valores para Faturamento							
Produto	Letura Anterior	Letura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total
ENERGIA ELETRICA TE PONTA	1899748	1950398	24312		24312	0.227853	5.539.55
ENERGIA ELETRICA TE F PONTA	20784651	21458262	323333		323333	0.137318	44.399.51
DEMANDA USD	541	500	960	999	960	7.011677	6.731.21
ENERGIA REAT EXCED TE PONTA	119950	124438	2150		2150	0.144870	311.47
ENERGIA REAT EXCED TE F PONTA	786057	818179	15418		15418	0.144872	2.233.64
ENERGIA ELETRICA USD F PONTA	20784651	21458262	323333		323333	0.037586	12.185.26
ENERGIA ELETRICA USD PONTA	1899748	1950398	24312		24312	0.633881	15.410.91
DEMANDA USD ISENTA ICMS					39	7.011795	273.46
CONSUMO	22684399	23408660	347645				
ENER REAT INDUTIVA	12449104	12869103	201599				
DEMANDA REAT EXED			954.72				
ENER REAT INDU F PT			186393				
ENER REAT INDU PTA			15216				

Indicadores de Qualidade				
Conjunto ALTO DA GLORIA Mês 11/2012				
Realizado	DIC	FIC	DMC	ELSD
Letra Mensal	0.00	0.00	0.00	1951
Letra Trimestral	3.13	1.95	2.44	36433.47
Letra Anual	8.27	3.91		
	12.55	7.82		

Tensão Contratada 13200 volts  
 Letra Adequada de Tensão 12800 a 13800 volts  
 O não cumprimento dos indicadores DIC, FIC, DMC e DCM é devolvido para ANEEL resultar em compensação financeira ao consumidor pela concessionária no faturamento. É direito do consumidor solicitar a apuração desses indicadores a qualquer tempo.

#### Historico de Consumo e Pagamentos



Mês/Ano	Valor da Fatura	Data de Vencimento	Data de Pagamento	Consumo Ponta	Consumo Fora Ponta	Demanda Ponta	Demanda Fora Ponta	Dem. Cont. Ponta	Dem. Cont. Fora Ponta	Dem. Tot. Ponta	Dem. Tot. Fora Ponta
01/2012	90.714,61	28/02/2012	17/03/2012	30189	314879	524.16	691.2	0	999	0	1048.95
02/2012	102.684,16	28/03/2012	12/07/2012	34932	385011	706.56	829.44	0	999	0	1048.95
03/2012	100.705,57	30/04/2012	12/07/2012	39556	350867	796.48	904.32	0	999	0	1048.95
04/2012	96.505,22	30/05/2012	12/07/2012	32407	344700	695.04	817.92	0	999	0	1048.95
05/2012	134.710,36	30/06/2012	10/07/2012	36875	369159	723.84	737.28	0	999	0	1048.95
06/2012	124.222,00	30/07/2012	17/06/2012	37752	379903	732.44	792.96	0	999	0	1048.95
07/2012	129.781,43	30/08/2012	12/09/2012	41653	434680	772.76	829.04	0	999	0	1048.95
08/2012	111.091,31	30/09/2012	18/12/2012	37757	357958	729.0	762.24	0	999	0	1048.95
09/2012	111.736,93	30/10/2012	18/12/2012	36271	377125	848.96	727.68	0	999	0	1048.95
10/2012	93.216,57	30/11/2012	18/12/2012	32128	319441	681.6	691.2	0	999	0	1048.95
11/2012	95.978,40	30/12/2012	Pendente	23457	347283	796.8	658.08	0	999	0	1048.95
12/2012	98.994,17	30/01/2013	Pendente	32734	347682	916.54	1038.72	0	999	0	1048.95

**ANEXO M.** Consumo energía eléctrica FIC

Mês	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	kWh	kWh/m <sup>2</sup> /mês
ene-12	127	242	6.357	106.666	113.023	11,3
feb-12	126	256	5.882	114.086	119.968	12,0
mar-12	216	250	5.767	118.810	124.577	12,5
abr-12	145	257	6.598	107.530	114.128	11,4
may-12	150	257	6.959	108.163	115.122	11,5
jun-12	190	269	8.945	117.888	126.833	12,7
jul-12	173	266	9.133	114.269	123.402	12,3
ago-12	170	248	9.350	123.082	132.432	13,2
sep-12	154	237	7.930	112.301	120.231	12,0
oct-12	156	238	7.370	100.214	107.584	10,8
nov-12	195	247	6.771	106.992	113.763	11,4
dic-12	191	228	6.035	102.086	108.121	10,8
média/mês					118.265	11,8

**ANEXO N. Registro ambiental MUBE:**

Medición realizada en loco en el período de invierno y verano, medición in loco realizada con el equipo MINIPA modelo MTH 1360 CE:

20/ago - 15h - 23, 3°C 20,0 % RH  
21/ago - 15h - 23,8°C 31,1% RH  
22/ago - 19h - 23,9°C 50,1% RH  
23/ago - 17h - 23, 9°C 58,7% RH  
24/ago - 15h - 23, 6°C 50,9% RH  
27/ago - 16h - 23, 3°C 65,1% RH  
28/ago - 16h - 22, 5°C 68,4% RH  
22/dic - 15h - 23, 9°C 75,0 % RH  
22/dic - 16h - 24, 0°C 77,0% RH  
22/dic - 17h - 23, 9°C 73,8 % RH

**ANEXO O. Registro Ambiental MON**

Salão do Olho Data	00h		6h		12h		18h	
	UR%	Temp oC						
21.07.2009	51	21,5	52	21,4	48	20,5	50	22,2
21.12.2009	x	x	x	x	x	x	x	x
21.07.2010	x	x	x	x	x	x	x	x
21.12.2010	x	x	x	x	x	x	x	x
21.07.2011	51	20,4	51	20,0	52	20,0	56	20,1
21.12.2011	45	20,8	46	20,9	47	21,5	44	22,3

ANEXO P. Registro Ambiental FIC

Temperatura de Retorno 21/06/2010		Umidade de Retorno 21/06/2010		Temperatura de Retorno 21/06/2011		Umidade de Retorno 21/06/2011	
000.00	20,52	000.00	51,88	000.00	21,52	000.00	60,07
030.00	20,23	030.00	51,49	030.00	21,49	030.00	60,13
100.00	20,28	100.00	52,31	100.00	21,44	030.00	60,13
130.00	20,46	130.00	52,10	200.00	21,42	040.00	60,15
200.00	20,44	200.00	51,83	230.00	21,42	050.00	60,21
230.00	20,45	230.00	51,97	300.00	21,46	100.00	60,32
300.00	20,45	300.00	51,89	330.00	21,44	110.00	60,47
330.00	20,36	330.00	51,96	400.00	21,44	120.00	60,58
400.00	20,35	400.00	52,19			130.00	60,39
430.00	20,29	430.00	52,35			140.00	60,04
500.00	20,28	500.00	52,19			150.00	60,03
530.00	20,26	530.00	52,26			200.00	59,96
600.00	20,25	600.00	52,48			210.00	60,03
630.00	20,13	630.00	52,42			220.00	59,87
700.00	20,02	700.00	52,51			230.00	59,90
730.00	19,96	730.00	52,85			240.00	59,76
800.00	19,86	800.00	52,58			250.00	59,79
830.00	19,83	830.00	52,71			300.00	60,34
900.00	19,78	900.00	52,71			310.00	60,56
930.00	19,74	930.00	52,62			320.00	60,47
1000.00	19,83	1000.00	52,30			330.00	60,86
1030.00	19,81	1030.00	52,31			340.00	61,03
1100.00	20,16	1100.00	50,42			350.00	61,87
1130.00	20,16	1130.00	50,59			400.00	62,22
1200.00	20,25	1200.00	50,76			410.00	62,20
1230.00	20,28	1230.00	52,01			420.00	62,31
1300.00	20,29	1300.00	50,69			430.00	62,29
1330.00	20,33	1330.00	50,23			440.00	62,63
1400.00	20,38	1400.00	50,26			450.00	61,51
1430.00	20,36	1430.00	49,58			500.00	61,35
1500.00	20,33	1500.00	49,51			510.00	61,13
1530.00	20,28	1530.00	49,49			520.00	60,76
1600.00	20,28	1600.00	49,61			530.00	61,05
1630.00	20,31	1630.00	50,17			540.00	60,81
1700.00	20,33	1700.00	49,72			550.00	61,09
1730.00	20,28	1730.00	50,04			600.00	61,04
1800.00	20,44	1800.00	49,88			610.00	60,81
1830.00	20,44	1830.00	49,96			620.00	60,89
1900.00	20,42	1900.00	50,06			630.00	61,06
1930.00	20,36	1930.00	50,03			640.00	60,74
2000.00	20,38	2000.00	49,85			650.00	60,76
2030.00	20,35	2030.00	49,78			700.00	60,92
2100.00	20,31	2100.00	49,56			710.00	60,89
2130.00	20,31	2130.00	49,38			720.00	60,99
2200.00	20,26	2200.00	48,99			730.00	60,83
2230.00	20,26	2230.00	48,74			740.00	60,69
2300.00	20,16	2300.00	48,54			750.00	60,78
2330.00	20,38	2330.00	48,26			800.00	60,72
						810.00	60,34
						820.00	60,33
						830.00	60,07
						840.00	59,89
						850.00	59,85
						900.00	59,36
						910.00	59,37
						920.00	59,08
						930.00	58,99
						940.00	58,85
						950.00	58,87
						1000.00	58,70
						1010.00	58,63
						1020.00	58,63
						1030.00	58,74
						1040.00	58,51
						1050.00	58,37
						1100.00	58,49
						1110.00	58,51
						1120.00	58,58
						1130.00	58,60
						1140.00	58,47
						1150.00	58,44
						1200.00	58,51
						1210.00	58,22
						1220.00	58,15
						1230.00	58,54
						1240.00	59,55
						1250.00	58,15
						1300.00	58,48
						1310.00	58,00
						1320.00	58,01
						1330.00	59,40
						1340.00	60,11
						1350.00	61,65
						1400.00	59,22
						1410.00	58,47
						1420.00	58,58
						1430.00	58,47
						1440.00	58,43
						1450.00	58,01
						1500.00	57,83
						1510.00	59,02
						1520.00	58,12
						1530.00	58,47
						1540.00	58,48
						1550.00	59,12
						1600.00	59,56
						1610.00	58,49
						1620.00	58,45
						1630.00	58,12
						1640.00	57,85
						1650.00	58,22
						1700.00	58,41
						1710.00	58,01
						1720.00	58,26
						1730.00	58,15
						1740.00	58,13
						1750.00	57,80
						1800.00	58,22
						1810.00	57,99

## APÉNDICES

### A. Gráficas de las características definidoras de la forma para diseño de museos en el clima subtropical húmedo de Brasil, con base en la C.A.

#### 1. En relación al edificio y su geometría:

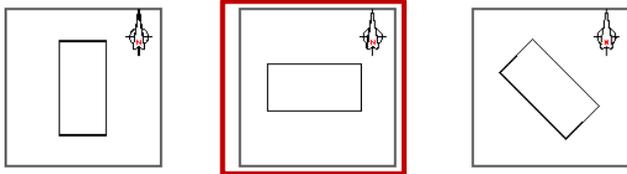


Figura 94. Orientación Recomendada

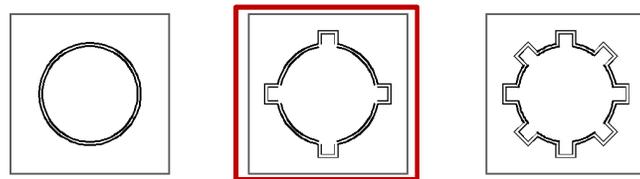


Figura 95. Compacidad recomendada.

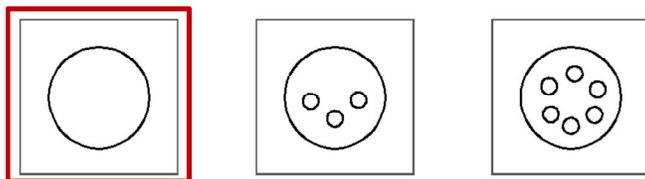


Figura 96. Porosidad recomendada

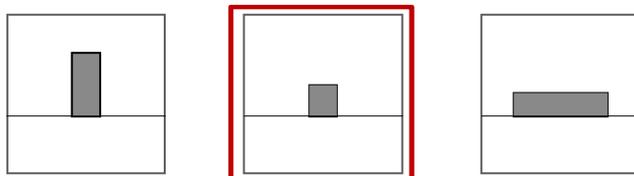


Figura 97. Esbeltez Recomendada

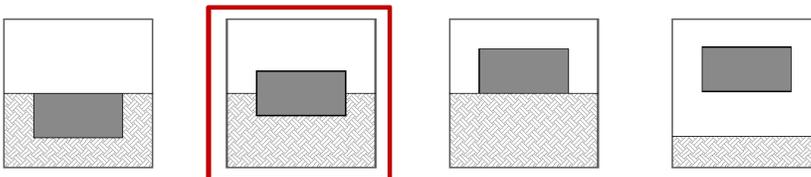


Figura 98. Asentamiento Recomendado

2. En relación a sus fachadas:

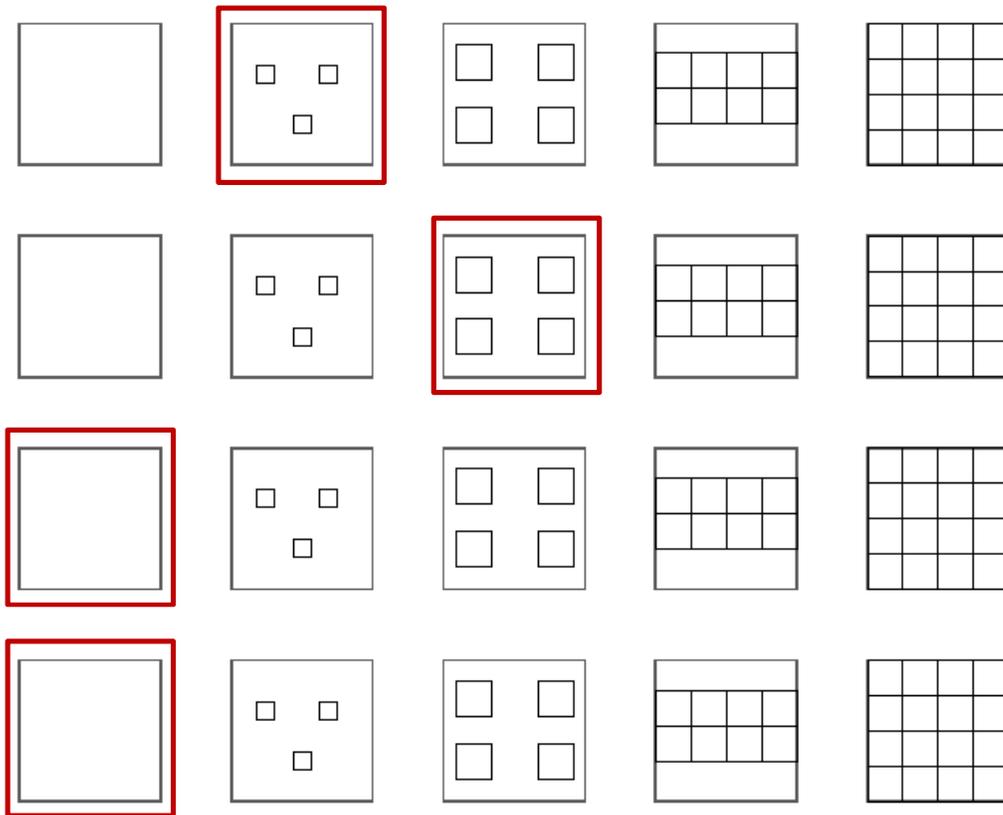


Figura 99. Perforación recomendada por Fachadas. De la primera línea a la última, de arriba hasta abajo: sur, norte, este, oeste.

## B. Cartas de Compromiso con las Instituciones involucradas en el estudio.



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

## DECLARAÇÃO

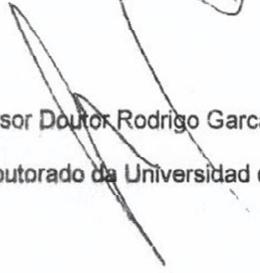
Eu Laline Cenci, doutoranda em Arquitetura e Urbanismo pela *Universidade del Bío-bío*-Chile, que desenvolvo pesquisa de Tese sobre "Compatibilidade Ambiental em Edifícios de Museu no Clima Subtropical Úmido- Parâmetros da Forma" sob orientação do Professor PhD. Rodrigo Garcia Alvarado declaro que os dados levantados no Museu Brasileiro da Escultura estão vetados de divulgação a terceiros, sem prévia autorização expressa desta Instituição e serão somente utilizados apenas, e tão somente para fins acadêmicos ou científicos.

SOCIEDADE DE AMIGOS DOS MUSEUS

São Paulo, 15 de agosto de 2012.

Recebido 15/ agosto/ 2012  
Karen Alfentanillo

  
Doutoranda Laline Cenci

  
Professor Doutor Rodrigo Garcia Alvarado  
Director do Doutorado da Universidade del Bío-bío

Sede Concepción  
Avda. Collao Nº1202 Casilla 5-C Fonos (56-41)3111440 Fono/Fax (56-41)3111016- VIII Región- Chile  
Sede Chillán  
Avda. Andrés Bello s/n Casilla 447 Fono/Fax (56-42)203000 - VIII Región - Chile  
E-mail: ubb@ubiobio.cl  
www.ubiobio.cl



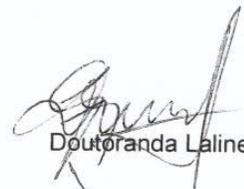
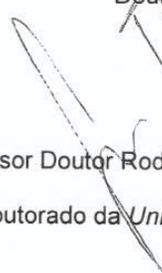
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

## DECLARAÇÃO

Eu Laline Cenci, doutoranda em Arquitetura e Urbanismo pela *Universidad del Bío-Bío*-Chile, que desenvolvo pesquisa de Tese sobre "Compatibilidade Ambiental em Edifícios de Museu no Clima Subtropical Úmido- Parâmetros da Forma" sob orientação do Professor PhD. Rodrigo Garcia Alvarado declaro que os dados levantados na Fundação Iberê Camargo estão vetados de divulgação a terceiros, sem prévia autorização expressa desta Instituição e serão somente utilizados apenas, e tão somente para fins acadêmicos ou científicos.

Porto Alegre, 06 de agosto de 2012.

  
 Fundação Iberê Camargo  
 CNPJ 01.204.099/0001-06  
 06/08  
 12.

  
 Doutoranda Laline Cenci  
  
 Professor Doutor Rodrigo Garca Alvarado  
 Diretor do Doutorado da *Universidad del Bío-bío*

Sede Concepción  
 Avda. Collao N°1202 Casilla 5-C Fonos (56-41)3111440 Fono/Fax (56-41)3111016- VIII Región- Chile  
 Sede Chillán  
 Avda. Andrés Bello s/n Casilla 447 Fono/Fax (56-42)203000 – VIII Región – Chile  
 E-mail:ubb@ubiobio.cl  
 www.ubiobio.cl



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

## DECLARAÇÃO

Eu Laline Cenci, doutoranda em Arquitetura e Urbanismo pela *Universidade del Bío-bío*-Chile, que desenvolvo pesquisa de Tese sobre "Compatibilidade Ambiental em Edifícios de Museu no Clima Subtropical Úmido- Parâmetros da Forma" sob orientação do Professor PhD. Rodrigo Garcia Alvarado declaro que os dados levantados no Museu Oscar Niemeyer estão vetados de divulgação a terceiros, sem prévia autorização expressa desta Instituição e serão somente utilizados apenas, e tão somente para fins acadêmicos ou científicos.

Curitiba, 23 de agosto de 2012.



Doutoranda Laline Cenci




Professor Doutor Rodrigo Garcia Alvarado  
Director do Doutorado da Universidade del Bío-bío

Recibido  
#1  
Jason Luis Wierwille  
Produção  
Museu Oscar Niemeyer



Sede Concepción  
Avda. Collao Nº1202 Casilla 5-C Fonos (56-41)3111440 Fono/Fax (56-41)3111016- VIII Región- Chile  
Sede Chillán  
Avda. Andrés Bello s/n Casilla 447 Fono/Fax (56-42)203000 – VIII Región – Chile

C. Encuesta Satisfacción Térmica Usuarios

Origem: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_  F  M

**1. Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?**

COM MUITO FRIO 	COM FRIO	LEVEMENTE COM FRIO	NEUTRO 	LEVEMENTE COM CALOR	COM CALOR	COM MUITO CALOR 
---	----------	--------------------	---	---------------------	-----------	--

**2. Qual sua satisfação com a exposição?**

-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
----	----	----	----	---	----	----	----	----

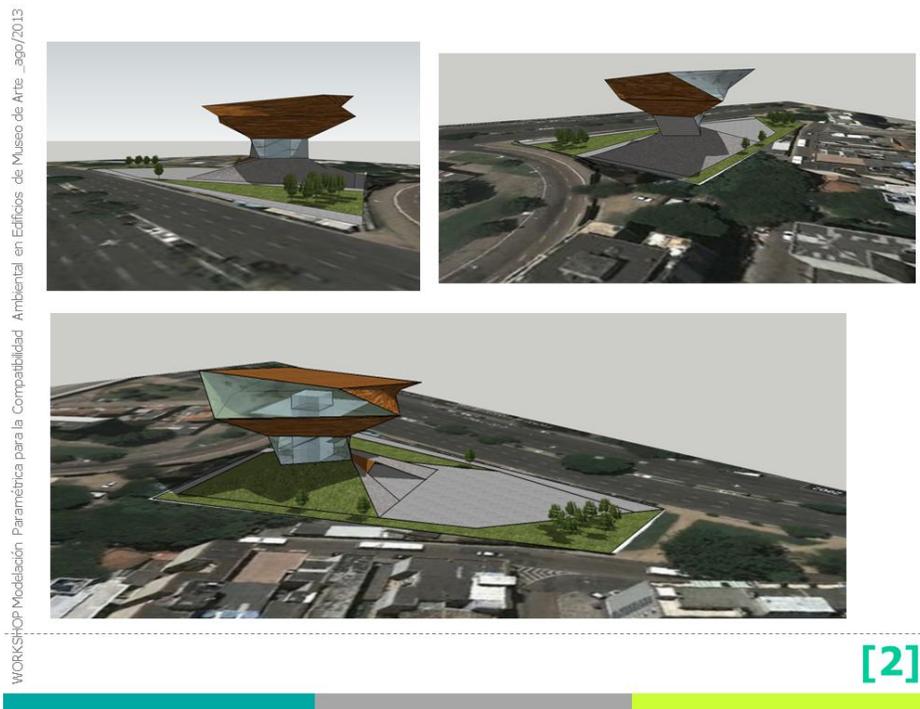
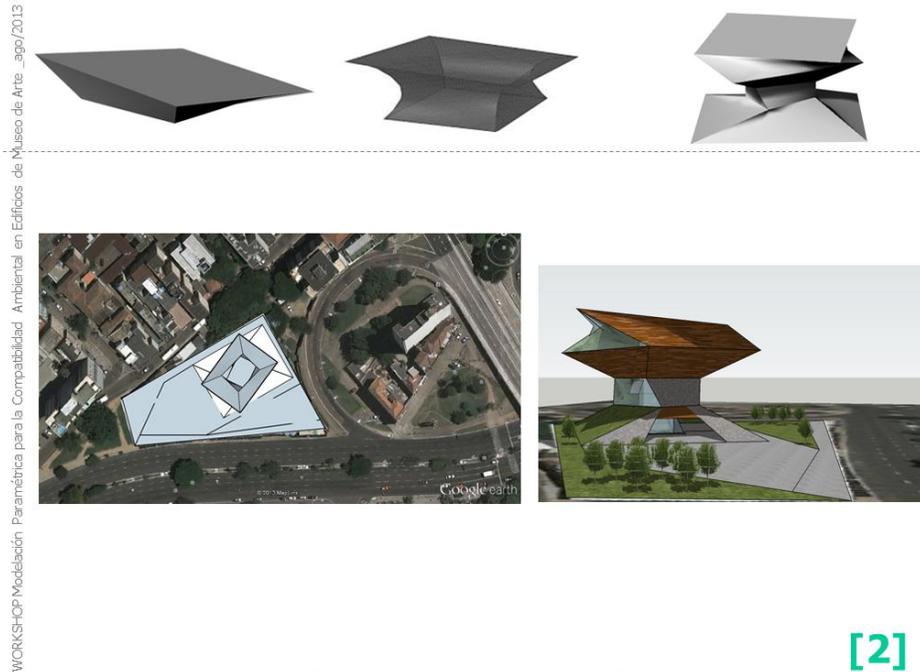
**3. Qual sua satisfação com o edifício?**

-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
----	----	----	----	---	----	----	----	----

Como você se sente em relação a temperatura do ambiente?

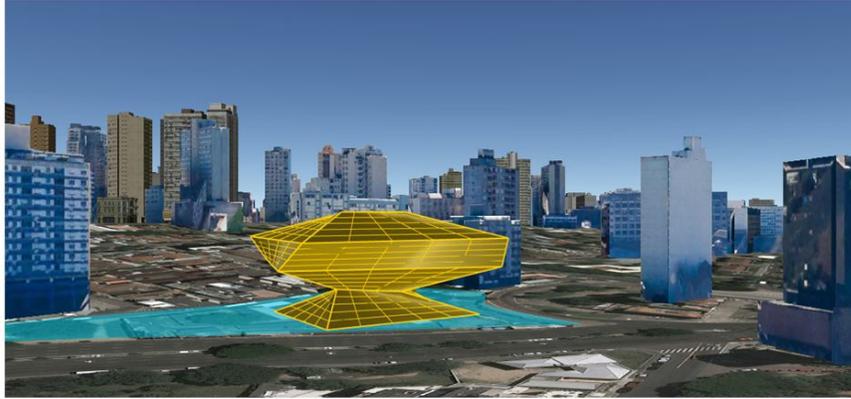
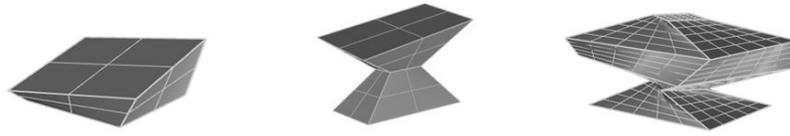
								
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Nada satisfeito					Muito satisfeito			

D. Trabajos realizados por los participantes del *workshop*



Participante n° 2:  
 Generación de 3 geometrías.  
 Propuesta proyectual de la geometría con 3 pisos.  
 Foto montaje;  
 Perspectivas  
 Área de 3000 m<sup>2</sup>

WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013



[3]

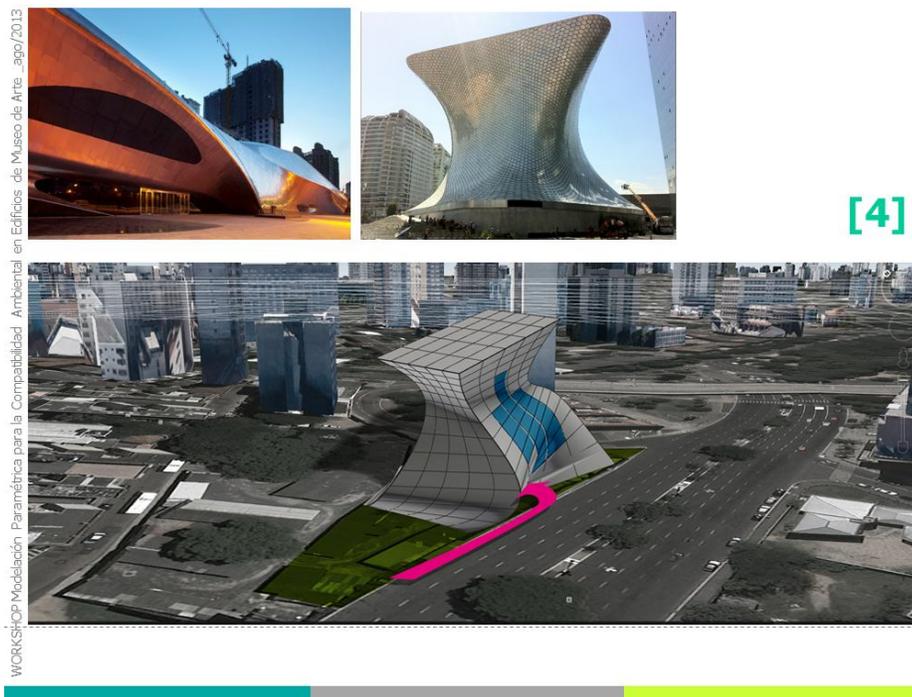
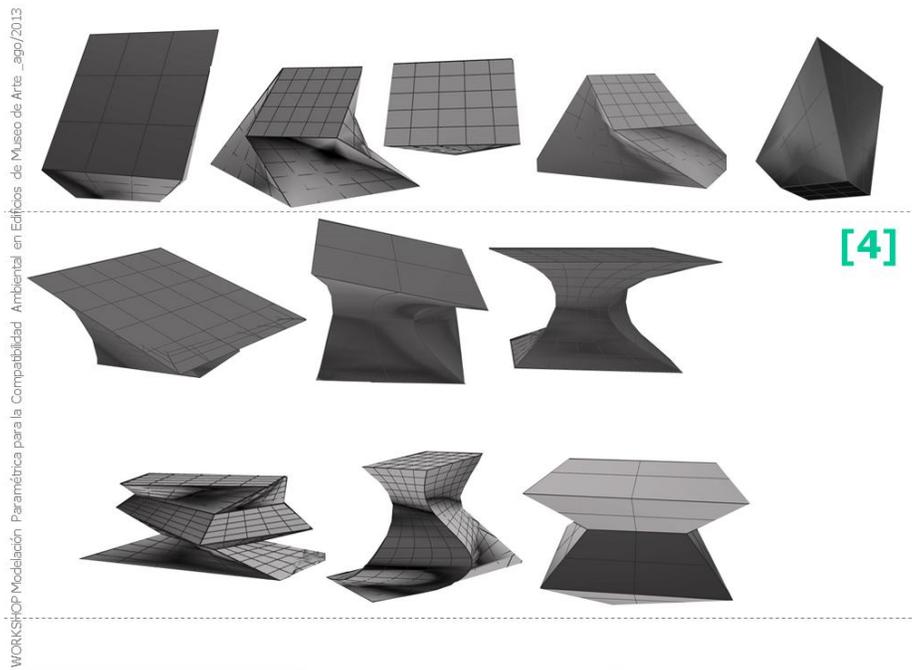
WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013



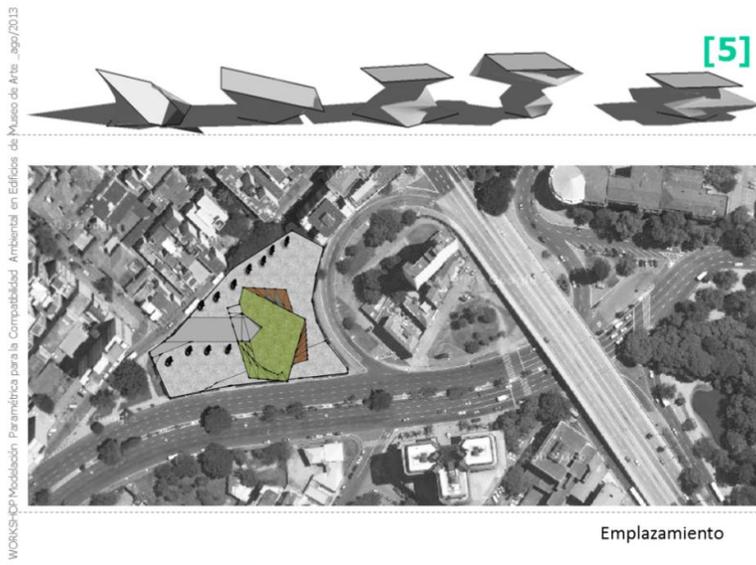
[3]



Participante nº 3:  
Generación de 3 geometrías.  
Propuesta proyectual de la geometría con 3 pisos.  
Fotos montaje;  
Perspectivas  
Área de  $\pm 3000 \text{ m}^2$

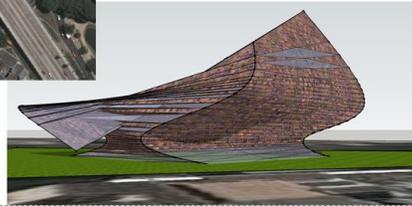


Participante n° 4:  
 Generación de 11 geometrías.  
 Propuesta proyectual de la geometría con 4 pisos.  
 Foto montaje;  
 Fachadas y vista interior.  
 Área de ± 3000 m<sup>2</sup>



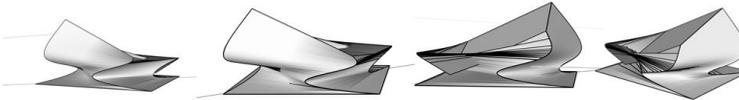
Participante n° 5:  
 Generación de 5  
 geometrías.  
 Propuesta proyectual  
 de la geometría  
 con 1 piso.  
 Foto montaje;  
 Fachadas y planta.  
 Área ± 1000 m²

WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013



[6]

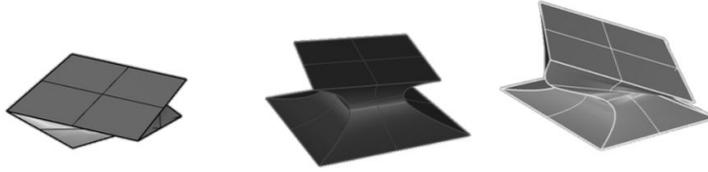
WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013



Participante nº 6:  
 Generación de 3  
 geometrías.  
 Propuesta proyectual  
 de la geometría  
 con 3 piso.  
 Foto montaje;  
 Fachadas y perspectivas.  
 Área ± 3000 m<sup>2</sup>

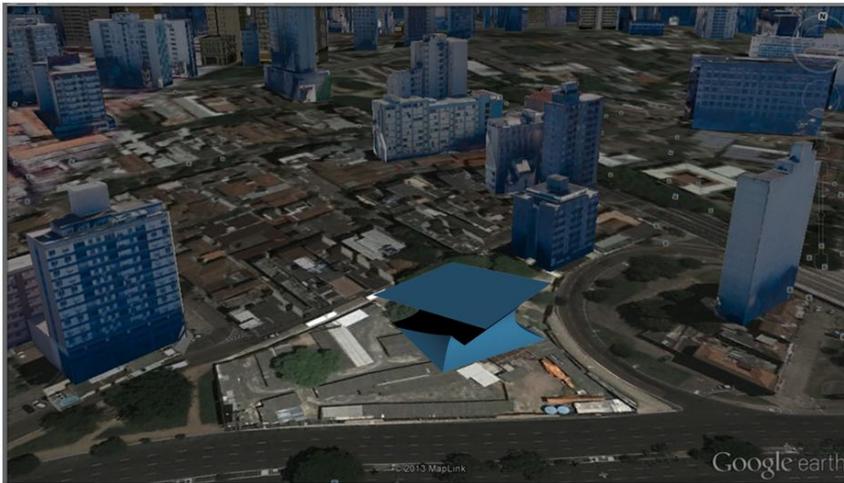
WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013

[7]



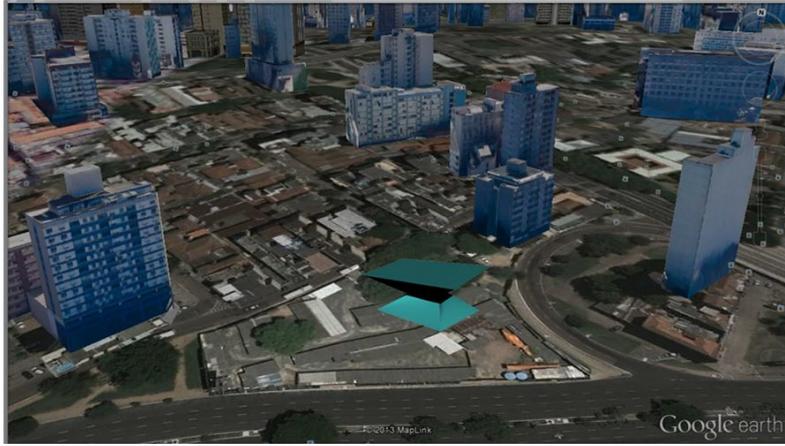
Participante n° 7:  
Generación de 3  
geometrías.

WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013



[8]

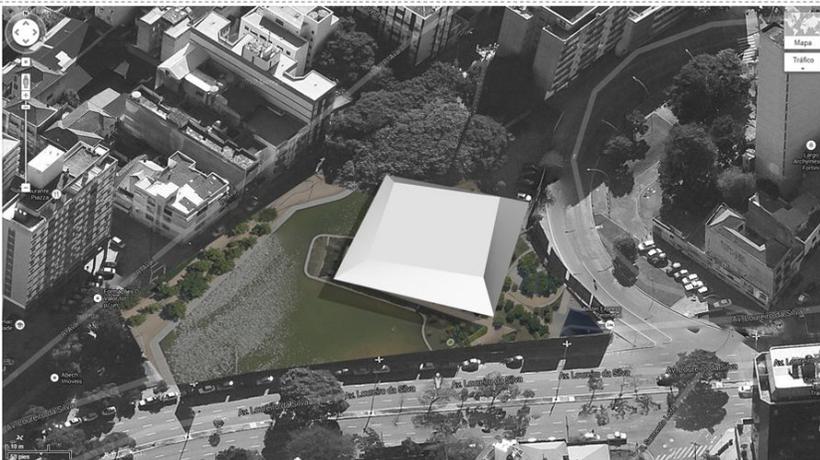
WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013



[8]

Participante nº 8:  
Generación de 2 geometrías.  
Propuesta proyectual de la geometría con 3 pisos.  
Fotos montaje;  
Perspectivas  
Área de  $\pm 3000 \text{ m}^2$

WORKSHOP Modelación Paramétrica para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte \_ago/2013





Participante nº 9:  
 Generación de 3 geometrías.  
 Dos propuesta proyectuales de geometría con 1 y 3 pisos.  
 Fotos montaje;  
 Perspectivas  
 Área de ± 1000 m<sup>2</sup> y  
 3000 m<sup>2</sup> respectivamente.

E. Cuestionario *workshop*

Nombre: \_\_\_\_\_ Años de Experiencia Profesional: \_\_\_\_\_

Experiencia anterior con diseño paramétrico ( ) si ( ) no

1. Con relación al CONCEPTO sobre la C. A. en edificios de museos de arte, usted considera que entiende...
  - a) Muy bien
  - b) Algo
  - c) Poco
  - d) Nada
  - e) Sin respuesta

Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. ¿Con relación al concepto sobre la C. A. en edificios de museo de arte, usted considera importante APLICARLO al diseño?
  - a) Muy importante
  - b) Algo importante
  - c) Poco importante
  - d) Nada importante
  - e) Sin respuesta

Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. ¿Con relación a la OPERACIÓN de la herramienta paramétrica presentada para la C. A. en edificios de museo, usted considera una herramienta de fácil de usar?
  - a) Sí, es muy fácil
  - b) Sí, es algo Fácil
  - c) No, es algo difícil
  - d) No, es muy difícil
  - e) Sin respuesta

Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. ¿El uso de la herramienta paramétrica presentada RESTRINGE o APOYA el proceso creativo?
  - a) Apoya mucho
  - b) Apoya
  - c) Restringe
  - d) Restringe mucho
  - e) Sin respuesta

Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Sin el uso de la herramienta paramétrica, se puede generar una geometría que garantice la C. A., en un TIEMPO hábil de 6H.
- a) Muy de acuerdo
  - b) De acuerdo
  - c) En desacuerdo
  - d) Muy en desacuerdo
  - e) Sin respuesta

Comentarios:

---

---

6. Las geometrías generadas en la herramienta paramétrica, es CONSTRUIBLE?
- a) Muy de acuerdo
  - b) De acuerdo
  - c) En desacuerdo
  - d) Muy en desacuerdo
  - e) Sin respuesta

Comentarios:

---

---

7. De la experiencia en este Workshop el Modelo Paramétrico para la Compatibilidad Ambiental en Edificios de Museo de Arte en el clima subtropical Húmedo como se siente?
- a) Muy satisfecho
  - b) Satisfecho
  - c) Insatisfecho
  - d) Muy insatisfecho
  - e) Sin respuesta

Comentarios:

---

---

---

---

---

---

---

---

F. Resultados del cuestionario aplicado a los participantes del workshop

