

## **El uso de diseño paramétrico para la conformación de volúmenes de museos ambientalmente compatibles para el clima subtropical húmedo de Brasil**

Laline Elisangela Cenci

*Universidad Comunitaria Regional de Chapecó, Departamento de Ciencias Exactas y Ambientales, Chapecó (SC), Brasil.*

[laline.cenci@unochapeco.edu.br](mailto:laline.cenci@unochapeco.edu.br)

Rodrigo García Alvarado

*Universidad del Biobío, Departamento de Arquitectura, Construcción y Diseño, Concepción, Chile.*

[rgarcia@ubibio.cl](mailto:rgarcia@ubibio.cl)

**RESUMEN:** El uso de herramientas paramétricas en la concepción de un edificio es un importante cambio que las tecnologías han proporcionado en el proceso de diseño. Por otro lado, los museos presentan un creciente desarrollo en el mundo, promoviendo nuevas edificaciones con expresiones arquitectónicas significativas y diversas actividades culturales. El problema a investigar 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 satisfacción térmica requeridas por los usuarios. La metodología utilizada se basa en el *Simultaneousness Index*, propuesto el año 2007 en Italia, ampliando su aplicación en museos ubicados en diferentes áreas climáticas. A partir de este método se revisan las condiciones de tres museos de arte contemporáneo en Brasil, concentrados mayoritariamente en el clima subtropical húmedo, con el objetivo de revisar los parámetros ambientales requeridos para estos casos, verificar la simultaneidad de satisfacción higrotérmica obra-visitante y discutir sus configuraciones formales en relación a la demanda energética. Los resultados muestran los desempeños de compatibilidad ambiental para invierno y verano y sugieren la influencia de sus estrategias formales en la satisfacción térmica y demanda energética. Finalmente, se propone una herramienta de diseño paramétrico que se basa en las condiciones del mejor caso de estudio que generan nuevas posibilidades de diseño con las mismas características geométricas, promoviendo volúmenes de edificios ambientalmente adecuados para la compatibilidad ambiental de nuevos edificios de museo de arte en el clima subtropical húmedo.

**Palabras-claves** *Diseño Paramétrico. Museos de Arte. Compatibilidad Ambiental. Clima Subtropical Húmedo de Brasil.*

## 1. INTRODUCCIÓN

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

Para asegurar el buen funcionamiento de un museo es fundamental mantener sus colecciones dentro de valores ambientales adecuados para su preservación y garantizar, al mismo tiempo, que las condiciones de confort sean las apropiadas para los visitantes. Los conflictos existentes en las condiciones ambientales en museos fueron aclarados por Gennusa et al. (2008), a través de un “*Simultaneous Index*” (índice de simultaneidad) propuesto desde la Normativa Italiana de Museos, por medio de una matriz de interacción de distintos materiales que componen las obras de arte, combinada con las condiciones térmicas para el confort del usuario según el método de PMV de Fanger. El método permitió desarrollar un diagrama para curadores de museos donde se pueden visualizar rangos comunes de temperatura y humedad para las obras y usuarios. Este procedimiento fue probado en salas de exposiciones en Italia, regulando la velocidad del aire en invierno y verano. A partir de esta experiencia la, se evaluaron tres estudios de caso en el clima subtropical húmedo de Brasil.

El estudio objetiva la implementación de algoritmos en una plataforma de diseño paramétrica basada en los estudios de caso, para la concepción de edificios ambientalmente compatibles. Es posible 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 en los edificios.

## 2. CONDICIONES AMBIENTALES Y LA COMPLEJIDAD DEL DISEÑO

El clima es el agente exterior de primer orden al momento de iniciar el proceso de diseño arquitectónico, porque tiene una fuerte influencia en factores como: la forma del volumen, el color, la orientación y organización de los espacios, el confort del usuario, la conservación de los objetos, la iluminación interior, la integración con el medio natural y urbano, los materiales y sistemas constructivos y la localización. La construcción dependerá, en gran medida, de la rigurosidad del clima y sus exigencias. Considerando la capacidad que tiene el edificio de captar radiación solar en el invierno y/o exponer menor superficie en el verano, son factores que pueden determinar el grado de confort de sus usuarios y, consecuentemente, el gasto de energía, un modo de evaluar la geometría del edificio, para ser eficiente desde el punto de vista energético y coherente con el clima donde esta insertado, es el Factor de Forma.

Según Serra y Coch (1995), cuatro aspectos pueden ser relacionados con la geometría de la forma son la compacidad, la esbeltez, la porosidad y la perforación. Estos autores establecen ecuaciones que evalúan los aspectos de geometría del edificio relacionándolos con el comportamiento térmico ambiental. Afirman, además, que para el Factor de Forma no es regular porque su fórmula de superficie dividida por volumen es dimensional. Debido a ello, un edificio más compacto que otro, si tiene un volumen más grande, puede resultar con un Factor de Forma más pequeño, lo cual es conceptualmente ilógico. Igualmente, dos edificios de forma idéntica, pero de tamaños distintos, tendrán factores de forma diferentes. Por lo que sugieren un valor absoluto de compacidad. En cuanto a la esbeltez, dan una idea de que las proporciones generales de un edificio, desde el punto de vista de lo alargado que sea en sentido vertical y su repercusión térmico ambiental, está determinada por el hecho que, a mayor esbeltez, hay menos superficie de contacto con el terreno y, por lo tanto, mayor exposición climática (radiación, vientos, etc.). También se debe contar con que, a menor altura, aumentan los problemas interiores de estratificación del aire. En general, no hay climas donde sea recomendable una esbeltez mayor.

Así mismo, un alto grado de porosidad significa que tiene mucha superficie de intercambio con el ambiente exterior, por lo que es más difícil aislarlo pero, al mismo tiempo, más fácil conseguir una buena ventilación de las zonas interiores. Otro aspecto a considerar es que ofrece la posibilidad de crear espacios intermedios con un microclima propio, que puede ser útil para aumentar la humedad del ambiente. De lo anterior se concluye que, en general, los edificios con patios sean recomendables para climas cálidos secos pero no recomendables para climas templados. Por último, la perforación de un edificio plantea que la permeabilidad de su envolvente arquitectónica al paso del aire, depende tanto de la superficie de perforación como de las dimensiones y la orientación relativa de las aberturas.

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

### **3. DISEÑO PARAMÉTRICO COMO HERRAMIENTA**

El diseño paramétrico tiene su origen en las matemáticas, y el término se refiere a un valor o a una medida sobre la cual algo depende generalmente, representado por una variable, que puede ser alterada. En el diseño, el término 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 & Mitchell, 1996).

Por eso, 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, 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).

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). 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.

#### **4. DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO**

Los tres casos de estudio son edificios recientes y significativos, construidos para ser museos y pertenecen al clima subtropical húmedo de Brasil, zona en el cual se encuentra la mayor parte de los museos en Brasil (65%). De este porcentaje, se eligieron las tres ciudades que cuentan con la mayor cantidad de museos: São Paulo, Curitiba y Porto Alegre, seleccionando un caso de cada ciudad. En la Tabla 1 se presentan sus características.

##### **4.1 Caso 1 - Museu Brasileiro de la Escultura (MUBE-Figura1)**

Localizado en São Paulo (-23°32'51"S / -46°38' 10" W) y diseñado por el arquitecto Paulo Mendes da Rocha, el edificio, inaugurado en 1994, ocupa un área de 7 mil metros

cuadrados. La condición enterrada del proyecto permite una menor ganancia térmica y, por lo tanto, un menor consumo energético para conservar sus obras. Sin embargo, como el sistema de aire acondicionado atiende a las tres salas, aunque funcionen independientemente, se mantiene sin aire acondicionado en gran parte del tiempo.



Figura 1. Museo Brasileño de la Escultura. Fuente: MUBE.

#### 4.2 Caso 2 - Museu Oscar Niemeyer (MON-Figura 2)

Localizado en Curitiba ( $-25^{\circ}31' 52''S$  /  $-49^{\circ}10'32''W$ ), está instalado frente al edificio histórico adaptado para museo e internamente conectado por un túnel. Este edificio de 30 metros de altura, conocido como el “ojo”, fue construido en el año 2002 y es uno de los ejemplos de arquitectura brasileña contemporánea. Su salón principal, ubicado en la parte convexa de la estructura, destina cerca de 1,6 mil metros cuadrados para exposiciones, cuyo punto más alto alcanza 12 metros. En su opuesto, el lado cóncavo, está ubicado el área de apoyo: auditorio y sala de reuniones. Según la institución, para mantener su clima interior, dentro de las normas de conservación de las obras y confort de sus visitantes, el consumo energético del edificio es muy alto (sin aire acondicionado, en su interior, se ha llegado a medir  $55^{\circ}C$ ).



Figura 2. Museo Oscar Niemeyer. Fuente: Foto de la autora.

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

Inaugurado en 2008, en Porto Alegre ( $30^{\circ}01'59''S$  /  $-51^{\circ}13'48''W$ ), el proyecto fue realizado por el arquitecto portugués Álvaro Siza Vieira. Está emplazado en la tangente de la trama urbana, frente al lago Guaíba, y en la estrecha porción plana que queda al costado de un cerro de baja altura. En la parte más profunda, está posicionado el volumen principal con una planta baja y 3 pisos, destinados a las salas de exposiciones interconectadas que, configuradas en forma de “L”, generan un atrio de 21 metros de altura. Todas las áreas de apoyo (acervo, auditorio, biblioteca, talleres, salas para cursos y los servicios públicos) están dispuestas en el subsuelo. Para minimizar la excavación, el edificio fue levantado a 1,4 metros de la cota cero del terreno. La temperatura y humedad interna de cada recinto del edificio son monitoreadas las 24 horas del día. El sistema de aire acondicionado enfría por la noche, cuando el costo de la energía eléctrica es más barato, para refrigerar el ambiente durante el día, reduciendo los costos de la operación y

aumentando la utilización de la energía. Según la institución, el edificio consume del 30% al 40% menos de energía que una construcción convencional.



Figura 3. Fundación Iberé Camargo. Fuente: Foto de la autora.

Tabla 1. Características de los casos de estudio. Elaboración de la autora.

Parámetro:	MUBE	MON	FIC
Ape (m <sup>2</sup> )	3071,34	2100	849
Atot (m <sup>2</sup> )	3071,34	2934,5	2450
Aenv (m <sup>2</sup> )	7092,92	5876	4947,5
Vtot (m <sup>3</sup> )	19024	25223	14218,4
Apex (m <sup>2</sup> )	1095	1500	1600
Ados	38	0,5	14
Ase (m)	- 4	+12	-1,4
AfN (m <sup>2</sup> )	0	841,1	1115,26
AfS (m <sup>2</sup> )	386,35	841,1	871,38
AfO (m <sup>2</sup> )	0	976,35	81,6
AfP (m <sup>2</sup> )	353,10	976,35	547,95
PaN (%)	0	0	11,3
PaS (%)	5,25	0	9
PaO (%)	0	73,35	0
PaP (%)	20,82	73,35	0
Altura Total	5	30	25
Compacidad	0,48	0,7	0,57
Esbeltez	0,01	0,03	0,04
Porosidad	0	0	0
Consumo (KWh/m <sup>2</sup> año)	100	546	141
Compatibilidad Ambiental- C.A. (%)	62,5	79,2	82,7

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

## 5. METODOLOGIA

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. 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.
- 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.

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 teórico delimitado por dimensiones (x, y, z) determinado por un ancho, largo y alto. Estos valores son especificados en la tabla a continuación:

Tabla 2. Dominio de criterios geométricos. Elaboración de la autora.

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

De esta forma, el área mínima de una geometría posible es 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 (IBRAM- 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 este estudio, se eligieron cuatro modificaciones, las cuales son: Twist (torsión), Strech (estirar), Bend (curvar) y Taper (estrechar) que darán forma a la geometría.

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 & 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  $P = (X1-Y1)/2 \times 0,5 - (X2-Y2)/2$ . 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.

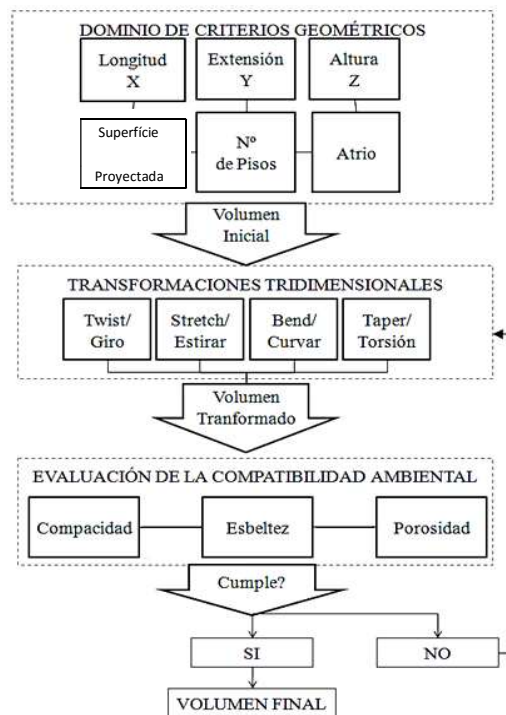


Figura 4. Diagrama de la Implementación Paramétrica. Fuente 6. Elaboración de la autora.

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 (Figura 6), muestra cómo se define y se relaciona el volumen inicial-cubo



teórico, con las transformaciones tridimensionales y las ecuaciones de las características geométricas para cumplir dicho desempeño de compatibilidad ambiental.

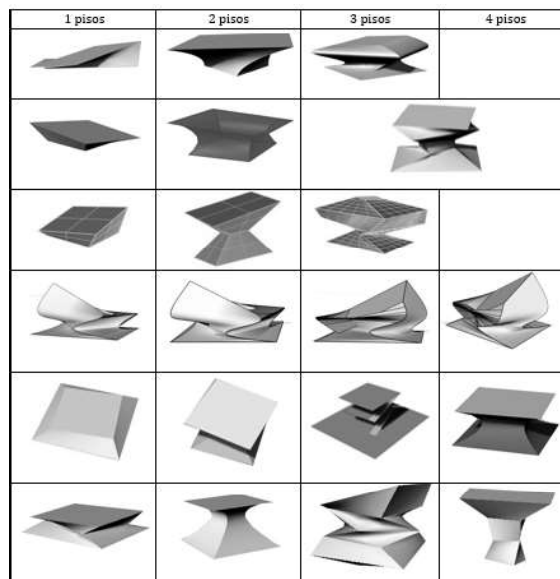
## 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE GENERACIÓN GEOMÉTRICA

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, aplicase 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 y los valores de compacidad y esbeltez fueron alcanzados, 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.

## 7. RESULTADOS DE APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA PARAMÉTRICA

Aquí se presentan las distintas geometrías que fueron elaboradas con el auxilio del diseño paramétrico. Esta actividad experimental pretende más que nada, generar ejemplos de generación de volúmenes de museos de arte para el clima subtropical húmedo de Brasil, y se basan únicamente en los estudios de caso. A seguir es posible verificar las distintas posibilidades de diseño del museo que obedecen los criterios de Compatibilidad Ambiental insertados en la herramienta de diseño. En el cuadro a continuación se observan las distintas geometrías generadas por la herramienta.

Cuadro 1. Volúmenes generados en la herramienta de diseño paramétrico. Fuente: La autora.



## 8. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN FINAL

La herramienta presentada 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 con la aplicabilidad de variables ambientales o para alcanzar un mínimo de Compatibilidad Ambiental, al menos no a nivel de anteproyecto. Esta herramienta, a pesar de bastante primitiva debido a su restricción es considerada apropiada para el trabajo regular de un arquitecto, con una formación y uso de herramientas computacionales habituales, durante el proceso de proyecto. Por fin, se concluye que, 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

- Aris, et al. 2006. Energy conscious automated design of building facades using genetic algorithms In *Communicating Space(s), eCAADe06 Proceedings*. eCAADe. septiembre. Pag. 898-903.
- Betancourt, M. C. 2013. *Diseño Generativo de Vanos para el confort en viviendas del trópico*. Tesis Doctoral. Universidad del Biobío, Concepción, Chile.
- Caldas, L. et al. 2002. *A design optimization tool based on a genetic algorithm. Automation in Construction*. Vol. 11 (2). Pág.173-184.
- Gennusa, M. L. & Lascari, G. R. 2008. Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 9 125-134, Palermo.
- Ibram. 2016. Instituto Brasileiro de Museus. Disponible en: [<http://www.ibram.gov.br/>] Acceso en junio de 2016.
- Marin, P., Bignon, J. C. & Lequay, H. 2008. Paramètres environnementaux et mécanismes de conception évolutive. Disponible en [<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00440272>]
- Mitchell, W. J. & McCullough, M. 1995. *Design Digital Media*. Ed. John Wiley & Sons. Canada.
- Mitchell, W. J. *The theoretical foundation of computer-aided architectural design. Environment and planning b*. 1975.
- Serra, Rafael.; COCH, Helena 1995. *Arquitectura y energía natural*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Singh, V. & Gu, N. 2012. *Towards an integrated generative design framework*. DesignStudies. Volume 33, Issue 2.185-207.
- Tedeschi, A. 2011. *Parametric Architecture with Grasshopper*. Brienza, Italia. Edizione Le Penser.
- Turrin et al. 2011. *Design Explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric model and genetic algorithms*. Advanced Engineering Informatics. V.25, 656-675.
- \_\_\_\_\_. 2012. Performative skins for passive climatic comfort. A parametric design
- Woodbury, Robert. 2010. *Elements of Parametric Design*. Routledge, New York, USA. ISBN-10: 0415779871 | ISBN-13: 978-04157798760.