

ÍNDICE BIOAMBIENTAL DE CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS APLICADO A UN MODELO DE DISEÑO PARAMÉTRICO

¹Camporeale, Patricia Edith, ¹Czajkowski, Jorge Daniel

¹Laboratory of Sustainable Architecture and Habitat. Faculty of Architecture and Urbanism. National University of La Plata.

47 St. n°162- 1900 La Plata – Buenos Aires Province- Argentina

e-mail: patricia@disenobioambiental.com.ar, jdczajko@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo es parte de una tesis de doctorado de arquitectura donde se desarrollan un índice bioclimático de calefacción— B_{cal} — y otro de refrigeración — B_{ref} —para un día típico de invierno y de verano respectivamente, optimizados mediante algoritmos genéticos (AG) [1].

El objeto de estudio es un edificio en altura de usos variados y localización urbana, adecuado al Código Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires [2] con una envolvente paramétrica eficiente, acorde a la Ley de Acondicionamiento Térmico de la Ciudad de Buenos Aires y las normas IRAM 11604 [3] y 11659/1-2 [4].

Una vez parametrizada la geometría edilicia, se introducen las cargas térmicas solares, de la envolvente y de la ocupación. Se utilizan registros climáticos propios de nuestro laboratorio: datos horarios de radiación solar y temperatura. Se diseña el algoritmo de cálculo de ambos índices empleando los datos de entrada. La configuración espacial queda sujeta al proceso de búsqueda del algoritmo genético (AG).

Luego, el programa corre sucesivas veces hasta obtener un conjunto de diferentes soluciones espaciales de desempeño energético equivalente. La optimización del consumo— o sea, la búsqueda de los valores más bajos de B_{cal} y B_{ref} — es realizada por un algoritmo genético (AG) [5].

A partir de los resultados obtenidos, podemos analizar las variables que inciden en el comportamiento de las distintas alternativas. La herramienta prueba ser efectiva, porque ofrece al diseñador más opciones que con un método de diseño tradicional. Se verifica la hipótesis de la incidencia de la geometría de la envolvente en el consumo energético mediante la obtención de nuevos índices para calefacción y refrigeración— B_{cal} y B_{ref} — evaluando simultáneamente ambos parámetros, y proveyendo una base de comparación: el total del consumo energético horario para un día típico de invierno y de verano. Podemos concluir que el diseño eficiente no puede prescindir de la condición de verano para la zona bioambiental IIIb templada húmeda (IRAM 11603) [6] de la República Argentina. No obstante, la ley de eficiencia energética vigente en la provincia de Buenos Aires, considera exclusivamente la condición de invierno. Otro tanto sucede con la norma IRAM 11900 de etiquetado energético de edificios

Keywords: índices bioambientales- consumo energético

1.- Presentación del problema

La complejidad de los problemas que debe afrontar el arquitecto y la especialización en la producción arquitectónica han convertido al diseño en una etapa separada del resto del proceso productivo. Esta herramienta es un aporte para las primeras instancias del proyecto, cuando se toman aquellas decisiones que influirán a lo largo de todo su desarrollo hasta la construcción y luego en la vida útil del edificio, sus costos de operación y mantenimiento. Para este caso, hemos desarrollado un edificio en altura de usos variados. Se ha elegido esta tipología, presente en la praxis profesional, pretendiendo generar una reflexión en el campo de la investigación proyectual a través del uso de herramientas digitales.

2.-El edificio y su entorno

El proyecto comprende un edificio de oficinas, viviendas y uso mixto de ambas actividades, dividido en tres volúmenes de diferentes tamaños. Las superficies, número de plantas y alturas son las siguientes (Tabla 1):

Usos	nº plantas	superficie por planta	H planta	H volumen
	u	m ²	m	m
vivienda	10	300	2,75	27,5
oficina	20	250	2,75	55
mixto	15	250	2,75	41,25
sup. total		11750		

Tabla 1: Usos y áreas

Está situado en un terreno urbano de 50m x 50m rodeado de 3 calles con orientación Norte y costa de río sobre el lado Este. La zona bioambiental correspondiente es la IIIb (templado húmedo) del área metropolitana de Buenos Aires (AMBA) (IRAM 11603) (Fig.1).

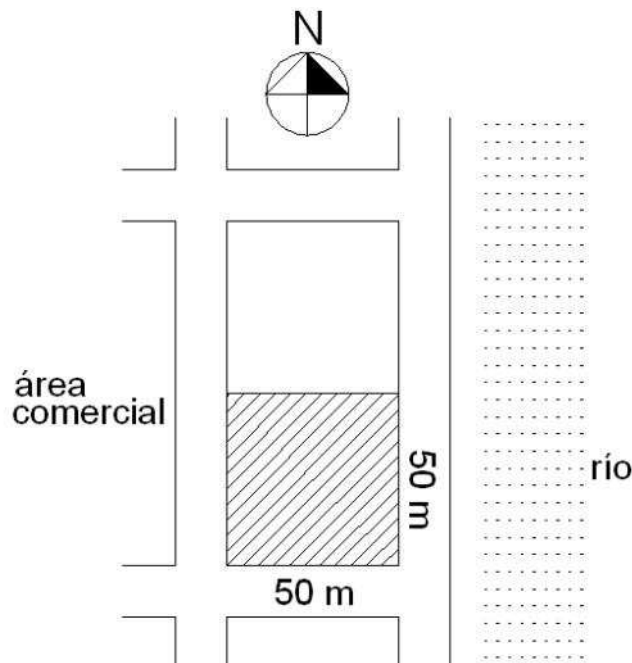


Fig. 1 "Situación relativa del lote". Fuente: los autores

3.-Entrada de datos

Los datos externos que determinan el volumen edilicio y su materialidad pueden ser divididos en dos categorías que detallamos a continuación.

Los datos “no paramétricos” son fijos, de la realidad objetiva y no admiten variaciones:

- Terreno: dimensiones, orientación y zona bioambiental (clima),
- Requisitos programáticos del edificio: superficie y volumen requeridos de acuerdo al programa arquitectónico
- Restricciones derivadas de las normas de edificación vigentes: retiros, ocupación del terreno, máximo volumen edificable, altura máxima, indicadores urbanísticos (factor de ocupación del suelo, factor de ocupación total)

Los datos “paramétricos” son los que se definen por un rango variable y pueden o no estar afectados por el AG:

- Geometría del edificio: emplazamiento en el terreno, forma de la envolvente, porcentaje de aventanamiento en función de los muros opacos, agrupamiento de los diferentes módulos. Varía según un rango definido por el diseñador. Se optimiza mediante el AG.
- Nivel de eficiencia de la envolvente (muros, ventanas y cubiertas): en el caso de la norma IRAM 11605 [7] existen 3 niveles: A, B y C, el diseñador determinará cuál alcanzará el proyecto. No está afectado por el AG porque siempre tendería al nivel de eficiencia más alto, que es el que ofrece el menor consumo energético, pero podría resultar inviable en la práctica por motivos constructivos o económicos. Se fija en un valor entre el nivel A y B, considerando que el nivel mínimo exigido por la ley 13059/03 de Eficiencia Energética en Edificios de la Provincia de Buenos Aires [8], es el B.
- Transmitancia térmica de la envolvente elegida para el cálculo del coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor (G_{cal}) (IRAM 11604) y coeficiente volumétrico de refrigeración (G_{ref}) (IRAM 11659-2) para todos los niveles de eficiencia que fija la norma 11604.

4. Parametrización del edificio

Los datos ingresados se vinculan entre sí mediante operadores lógico-matemáticos. Se utiliza el entorno de Rhinoceros, un programa de modelado 3d con NURBS [9] y un plug-in de diseño paramétrico, Grasshopper [10]. Para el proceso de optimización, se emplea un algoritmo genético, Galápagos [11]. Observamos la volumetría de una alternativa del conjunto en la fig. 2.

Las fachadas se agrupan por orientación y se asigna un rango porcentual de cerramientos transparentes, de acuerdo a la norma IRAM 11603.

Adoptamos los siguientes porcentajes:

- Fachada Norte: 50%
- Fachada Sur: 10%
- Fachada Este: 40%
- Fachada Oeste: 30%

5. Variables bioambientales

Para el cálculo de las pérdidas y las ganancias de calor de la envolvente necesitamos definir la transmitancia de la misma. Consideramos muros, ventanas y cubiertas.

5.1. Transmitancia de la envolvente en invierno

El rango posible de K_{muro} entre 0.38 y 1.85 W/m²K corresponde a los 3 niveles A, B y C de la norma IRAM 11605 [12] para nuestra zona bioambiental en invierno. Esta variable no está afectada por el AG, porque al igual que el aventamiento, tendería a adoptar el mínimo. En nuestro experimento, adoptamos $K= 0.45$ W/m²K, siendo éste un nivel intermedio entre A y B. La composición material del muro se observa en la Tabla 2. La transmitancia térmica del muro en verano es idéntica a la de invierno y la temperatura máxima de diseño es de 31.2°C.

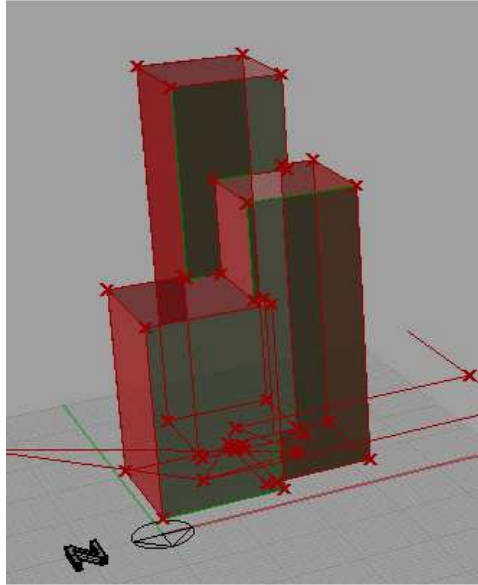


Fig. 2 “Volumen edilicio”. Fuente: los autores

Norma IRAM 11601	CÁLCULO K		
PROYECTO	edificio en altura		
ELEMENTO	muro		
ÉPOCA DEL AÑO	invierno	flujo calor horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	IIIb		
Nivel de confort según IRAM 11605	TmínD: 1,7 °C		
	espesor	λ	R
Capa del elemento constructivo	m	W/mK	m ² K/W
Resistencia superficial exterior			0,04
revoque exterior	0,03	1,16	0,03
poliestireno expandido d: 30 kg/m ³	0,05	0,032	1,56
barrera de vapor			
ladrillo hueco tipo Klimablock	0,18		0,41
placa de yeso	0,0125	0,45	0,03
Resistencia superficial interior			0,13
TOTAL			2,2
Transmitancia térmica del componente W/m ² K			0,45
Transmitancia térmica de acuerdo IRAM 11605 W/m ² K			1

Tabla 2: Transmitancia térmica del muro en invierno

Para los elementos transparentes, la norma IRAM 11507-4 [13] indica un rango de transmitancia térmica entre 2 y 4 W/m²K. Siguiendo el mismo criterio que para los muros, adoptamos K= 2.61 W/m²K, que corresponde a ventanas de PVC con DVH y cámara de aire simple de 12 mm con vidrios incoloros de 6mm (IRAM 11507-4).

Para la cubiertas, el rango de invierno es de 0.32 a 1 W/m²K, adoptamos K= 0.33 W/m²K por las razones enunciadas más arriba. El nivel B exigido por la ley es de 0.83 W/m²K. La composición material de la cubierta se detalla en la Tabla 3.

En el caso del perímetro, adoptamos una transmitancia térmica K=1.03 W/m²K, correspondiente a la aislación perimetral del piso (nivel B).

La temperatura de confort adoptada es de de 20°C (IRAM 11603).

5.2. Transmitancia de la envolvente en verano

La composición del muro y de la cubierta satisfacen las condiciones de verano de la norma IRAM 11605. El nivel B exigido para el muro es de 1.25 W/m²K y el de la cubierta, 0.48 W/m²K. Las aberturas también cumplen las exigencias de la norma 11507-4.

Norma IRAM 11601		CÁLCULO K	
PROYECTO	edificio en altura		
ELEMENTO	cubierta		
ÉPOCA DEL AÑO	invierno	flujo calor ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	IIIb		
Nivel de confort según IRAM 11605		T _{mínD} : 1,7°C	
	espesor	λ	R
Capa del elemento constructivo	m	W/mK	m ² K/W
Resistencia superficial exterior	0,005		0,04
membrana asfáltica	0,05	58	0,00
espuma de poliuretano celda ab.	0,05	0,022	2,27
carpeta de asiento	0,1	1,13	0,04
Contrapiso H°P°	0,05	0,76	0,13
capa de compresión H°A°	0,12	0,97	0,05
losa de H°alivianado con EPS	0,05	0,44	0,27
cielorraso suspendido		0,49	0,10
Resistencia superficial interior			0,10
TOTAL			3,01
Transmitancia térmica del componente W/m ² K			0,33
Transmitancia térmica de acuerdo IRAM 11605 W/m ² K			0,83

Tabla 3: Transmitancia térmica de la cubierta en invierno

5.3. Renovaciones de aire (n)

El número de renovaciones indicado por la Ley 13059/03 DR 1030/10 es igual a 2, lo cual significa que el volumen de aire de todo el edificio se renueva 2 veces por hora. Como este valor es excesivo para un edificio eficiente, adoptaremos el método analítico indicado por la norma IRAM 11604 [14] para estos casos.

A medida que la altura del edificio crece, se torna imprescindible reducir el grado de apertura y/o permeabilidad de las ventanas, ya que la velocidad del viento aumenta, exponencialmente. Considerando una rugosidad del suelo de tipo suburbano igual a 0.4 y una velocidad media del viento de 3.9 m/s a 10 m de altura (IRAM 11603) obtenemos la velocidad cada 10 m de altura [15]. Con esos valores se calcula el decremento del largo de las juntas en relación inversa al incremento de la velocidad del viento.

Para el cálculo de las renovaciones, se utiliza un promedio ponderado de las mismas, según el volumen de aire en cada planta. El edificio debe considerarse como un único volumen ya que el AG iterará sobre éste y no sobre las plantas de cada piso. La partición cada 10 metros se realiza solamente a los efectos de determinar las renovaciones de aire, afectadas por las variaciones de la velocidad del viento y el largo de junta en contacto de carpintería (Fig. 3)

Para obtener el número de renovaciones del volumen total del edificio, calculamos el promedio ponderado según la sectorización considerada (ec. 1).

$$n = \frac{\sum n_n \times V_n}{V} \quad (1)$$

siendo:

n_n = número de renovaciones correspondiente a cada subvolumen en que se divide el edificio cada 10 m de incremento de la altura

V_n = sub-volúmenes del edificio según la subdivisión cada 10 m de altura

El valor obtenido es de 0.52 a 0.68 renovaciones/h para las seis diferentes alternativas.

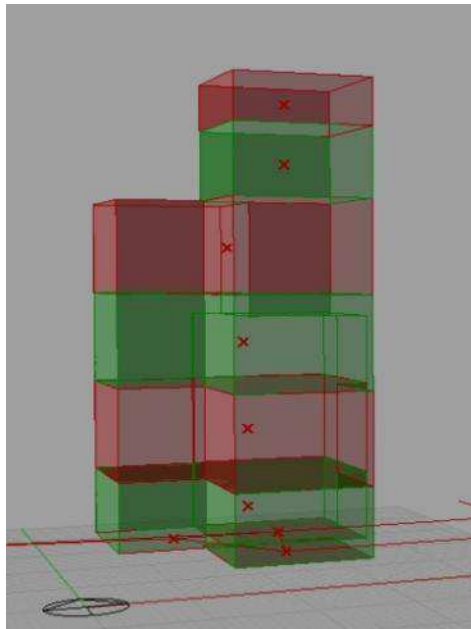


Fig. 3: “Sectorización del edificio para los distintos n” Fuente: los autores

6. Cálculo del índice bioclimático de calefacción

Cuando calculamos el índice volumétrico de calor (G_{cal}) (IRAM 11604), consideramos una envolvente sin ganancia solar, solamente con pérdidas. Existen métodos de cálculo como el llamado Cociente Carga Colector (Solar Load Ratio) [16] y el programa Optimix [17] que incorporan las ganancias solares al balance térmico del edificio. Para obtener un cálculo de las ganancias de un día típico de invierno aplicamos un método similar al de las ganancias térmicas Q_{ref} para refrigeración (IRAM 11659-2) (ec. 2) aplicado para cada hora del día.

$$B_{cal} = \sum Q_c + Q_a - Q_s - Q_o \quad (2)$$

Q_c son las pérdidas térmicas por conducción de la envolvente en W. Para ello, calculamos la sumatoria del producto de la transmitancia térmica de los cerramientos opacos y no opacos exteriores por sus respectivas superficies, junto con las

pérdidas por piso. Si lo multiplicamos por la diferencia entre la temperatura exterior y la temperatura de confort interior para cada hora del día, obtenemos el balance térmico de un día típico de invierno, que en nuestro caso es el 1 de julio (ec. 3):

$$(\sum K_m \times S_m + \sum K_v \times S_v + P_{er} \times P_p) \times \Delta t \quad (3)$$

Para el cálculo de Δt , consideramos las temperaturas media máxima y mínima de un día típico de invierno (julio) y obtenemos las temperaturas para cada hora del día. Q_a son las pérdidas térmicas por infiltración, las cuales se multiplican por el volumen edilicio y la diferencia de temperatura exterior- interior (ec. 4):

$$Q_a = (0.35 \times \frac{\sum n_n \times V_n}{V}) V \times \Delta t \quad (4)$$

Q_s son las ganancias solares a través de los elementos vidriados exteriores. La denominamos carga térmica solar (W) y se obtiene mediante el siguiente cálculo (ec. 5):

$$Q_s = \sum A_{vi} \times K_{vi} \times I_s \times F_s \quad (5)$$

donde:

A_{vi} : área de ventanas en m^2

K_{vi} : transmitancia térmica en W/m^2K

I_s : radiación sobre el plano La radiación solar sobre los planos verticales según su orientación es obtenida de la norma IRAM 11659-1 [12]:

F_s : es el factor de exposición solar que, en nuestro caso es de 0.40 y corresponde a DVH 6+12+6 exterior absorbente.

Q_o son las ganancias por fuentes internas: personas, equipamiento, iluminación. La ocupación se divide según los usos de cada volumen. Las viviendas tienen una ocupación del 100% de 19 a 8 h y del 50%, de 8 a 19 h. Las oficinas, tienen máxima ocupación de 9 a 18 hs y se consideran vacías el resto del día. El área de uso mixto se considera ocupado en un 50% todo el día. La fórmula es la siguiente (ec. 6):

$$Q_o = Q_{pers} + Q_{ilum} + Q_{equip} \quad (6)$$

donde:

Q_o = son las ganancias solares a través de los elementos vidriados exteriores. La denominamos carga térmica solar (W)

Q_{pers} = carga térmica de las personas determinada por la cantidad de las mismas por el coeficiente de calor metabólico (ec. 7):

$$Q_{pers} = N_{pers} \cdot M \quad (7)$$

Q_{ilum} = carga térmica de iluminación (ec. 8):

$$Q_{ilum} = \sum_{i=1}^n q_{ilum} \cdot A_i \cdot C_{T_i} \quad (8)$$

siendo:

q_{ilum} = fuentes internas

A = área de los locales iluminados

C_{T_i} = coeficiente térmico acorde al tipo de iluminación

Q_{equip} = es la carga térmica del equipamiento (ec. 9):

$$Q_{equip} = \sum_{i=1}^n q_{arti} \cdot N_{arti} \quad (9)$$

siendo:

q_{arti} = calor emitido por los artefactos

N_{arti} = número de artefactos

7. Cálculo del índice bioclimático de refrigeración (B_{ref})

Para este índice, calculamos las ganancias térmicas hora a hora para un día típico de verano, de manera similar al método empleado para el cálculo del G_{ref} (IRAM 11659 1-2 (13) y la radiación horaria sobre la envolvente. Las temperaturas horarias se obtienen del mismo modo que para el cálculo de B_{cal} .

La humedad se mantiene constante a largo del día para no complejizar innecesariamente una herramienta destinada a las fases iniciales del diseño edilicio. La ocupación del edificio es similar a la calculada para el índice B_{cal} según los diferentes usos: vivienda, oficinas y mixto y horarios.

A los efectos de considerar la incidencia de la radiación solar en la envolvente según su materialidad y orientación se reemplaza la temperatura máxima de diseño por la temperatura sol-aire,

En este análisis, las ganancias y pérdidas varían hora a hora según sea la temperatura exterior mayor o menor a la interior.

La suma algebraica de dichas ganancias da como resultado el aporte de calor debido a la ocupación edilicia.

Este coeficiente bioclimático de refrigeración representa la carga térmica de un día típico de verano (ec. 10):

$$B_{ref} = \sum Q_c + Q_a + Q_s + Q_o \quad (10)$$

siendo

Q_c = ganancias térmicas por conducción de la envolvente en W.

Q_a = ganancias térmicas por radiación de la envolvente en W.

Q_s = son las ganancias solares a través de los elementos vidriados exteriores. La denominamos carga térmica solar (W).

Q_o = carga térmica por fuentes internas (personas, equipamiento e iluminación)

8. Integración de las variables a optimizar. El uso de AG.

Las variables de entrada son la ubicación de las bases de los volúmenes en el terreno. La envolvente no es una variable que alimente el AG, si bien está parametrizada, sino que es fijada por el diseñador. Los algoritmos genéticos son usualmente utilizados en optimización de procesos. El AG itera hasta encontrar las alternativas que ofrezcan los mínimos valores para B_{ref} , calculando al mismo tiempo, B_{cal} .

El B_{cal} obtenido se discrimina en tres variantes: la primera sin considerar el aporte solar ni las cargas térmicas por fuentes internas (personas, iluminación y equipamiento), la segunda, restando las ganancias por aporte solar pero sin considerar las fuentes internas, y la tercera, restando aporte solar y ganancias por fuentes internas.

9. Análisis de los resultados obtenidos

Luego de haber ingresado todos los datos de entrada, se eligen las mejores seis soluciones encontradas mediante la iteración del AG. Los resultados se muestran en la Tabla 4. Las alternativas graficadas—de 1 a 6— se observan en las figs. 4 a 9.

Podemos observar la variedad de alternativas eficientes que responden a los requisitos establecidos.

alt	Bcal	Bcal pérdidas-ganancias solares	Bcal+fuentes internas-ganancias solares	Consumo calef/m2	Bref	Consumo ref/m2
	kW/día	kW/día	kW/día	Wm2/día	kW/día	Wm2/día
1	3919,85	894,95	-1111,40	-100,64	6222,50	563,46
2	3961,89	813,33	1036,00	92,63	4195,80	375,16
3	4765,88	1673,34	1303,10	120,83	7655,90	709,88
4	4319,63	1348,56	1333,50	117,94	13075,00	1156,40
5	4287,64	992,81	1462,20	130,29	9830,14	875,94
6	3994,50	927,88	-1187,00	-112,58	7096,70	673,07

Tabla 4 Alternativas volumétricas, B_{cal} , B_{ref} y consumos por unidad de superficie

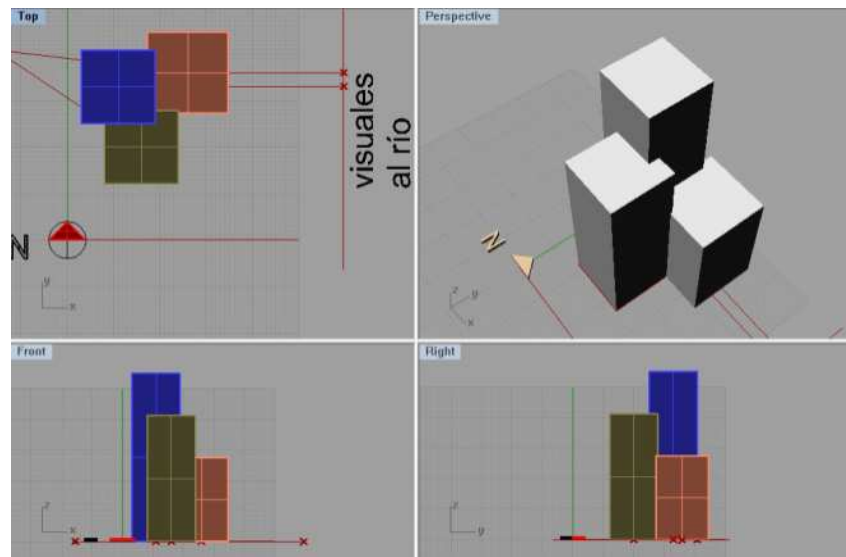


Fig. 4: "Alternativa volumétrica 1" Fuente: los autores

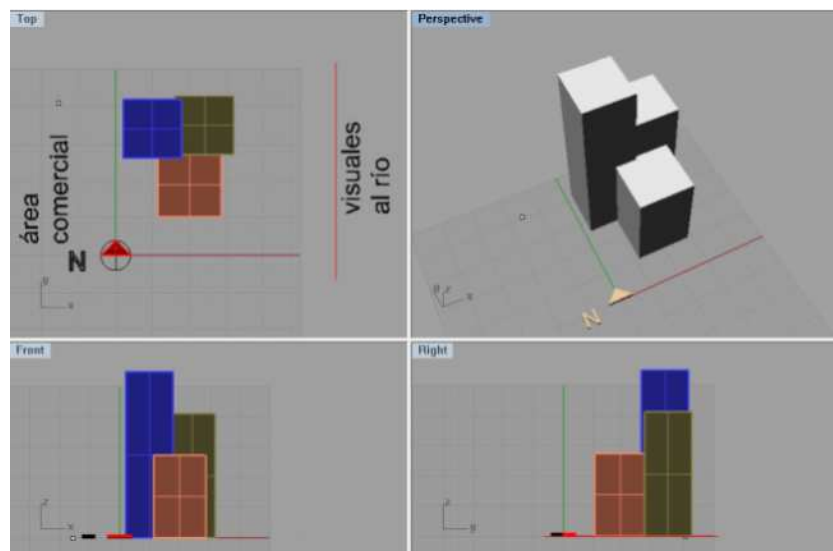


Fig. 5: "Alternativas volumétricas 2". Fuente: los autores

A partir de los resultados obtenidos, podemos analizar cuál o cuáles son las variables que inciden en el comportamiento de las distintas alternativas.

Respecto a la implementación de los índices B_{cal} y B_{ref} , es evidente la incidencia del verano en el diseño edilicio para la zona templada IIIb (IRAM 11603). El consumo de energía para refrigeración es determinante para que las medidas de eficiencia se orienten en ese sentido y no en la protección para el invierno, como puede observarse en la fig. 10.

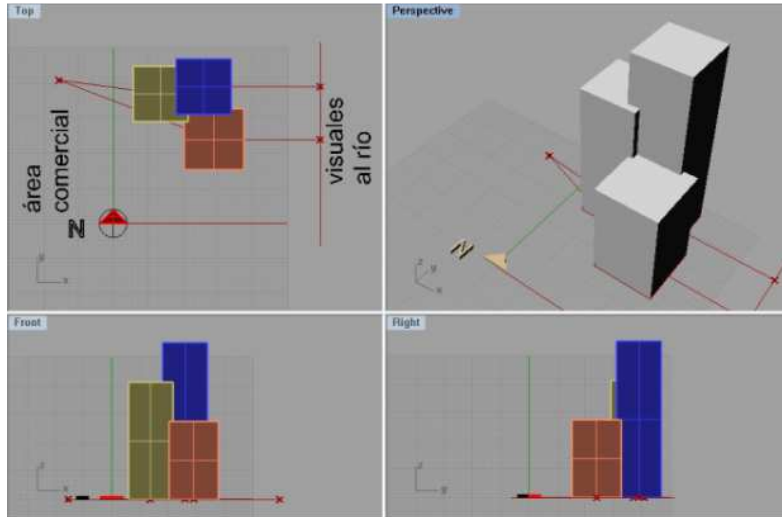


Fig. 6 “Alternativa volumétrica 3”. Fuente: los autores

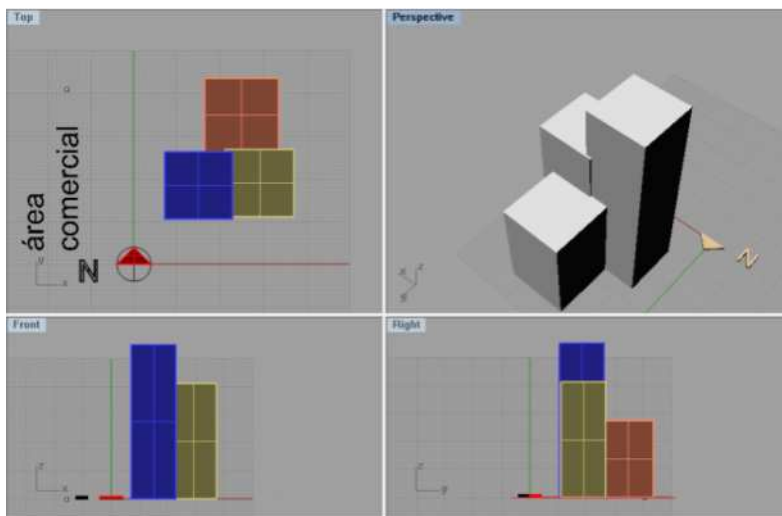


Fig. 7 “Alternativa volumétrica 4”. Fuente: los autores

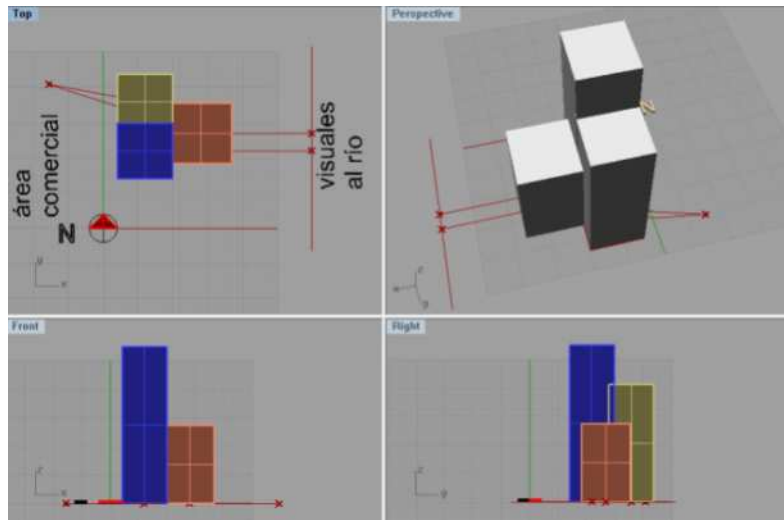


Fig 8 “Alternativa volumétrica 5”. Fuente: los autores

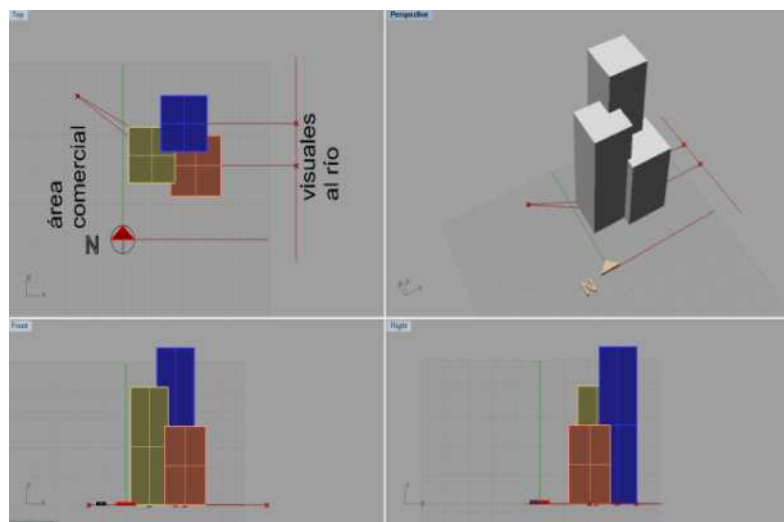


Fig 9 “Alternativa volumétrica 6”. Fuente: los autores

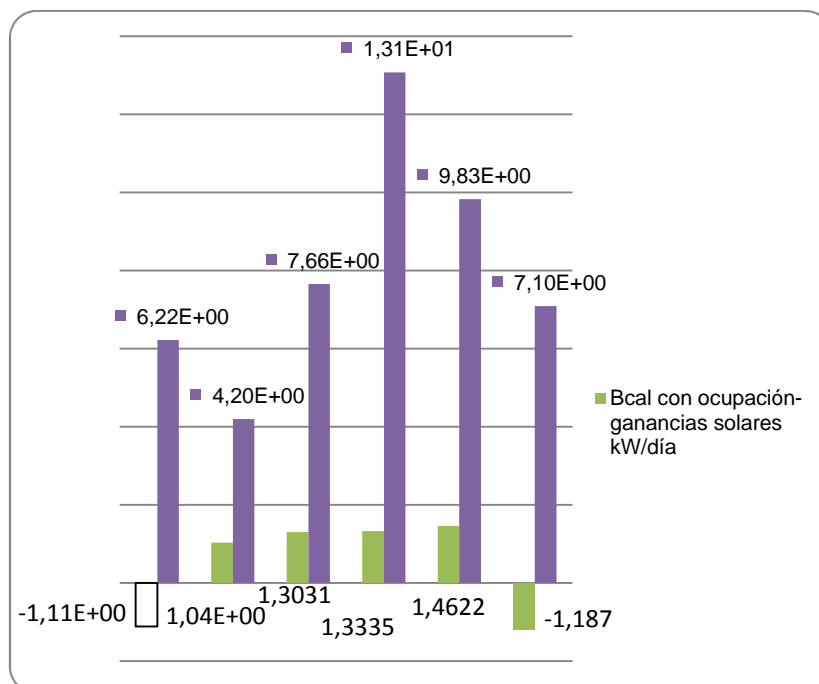


Fig. 10 “Comparación de B_{cal} considerando el aporte solar y las fuentes internas y B_{ref} para las distintas alternativas”. Fuente: los autores

10. Conclusiones

La herramienta — para el diseño y la optimización de alternativas de proyecto de un edificio en altura— prueba ser efectiva, al tiempo que ofrece al diseñador más opciones que las que podría haber desarrollado con un método tradicional. En una misma operación, se resuelven la geometría edilicia y su evaluación energética, en tiempo real y en un proceso retroalimentado por las iteraciones del algoritmo genético. Se verifica la hipótesis de la incidencia de la geometría de la envolvente en el consumo energético ya que— habiendo fijado la superficie, la materialidad de la envolvente y los usos que determinan la ocupación del edificio— se pudieron encontrar seis soluciones eficientes.

El cálculo de nuevos índices de consumo energético para calefacción y refrigeración— B_{cal} y B_{ref} — permite evaluar simultáneamente ambos parámetros, proveyendo una base de comparación: el consumo energético horario para un día típico de invierno y de verano. Si solo se evaluara G_{cal} (IRAM 1604) y por otra parte G_{ref} (IRAM 11659), no sería posible compararlos. A partir de los resultados de estos nuevos índices, podemos afirmar que el diseño eficiente no puede prescindir de la condición de verano para esta zona bioambiental templada húmeda (IRAM 11603). Sin embargo, la ley de eficiencia energética vigente en la provincia de Buenos Aires, solamente exige el mínimo G_{cal} , considerando exclusivamente la condición de invierno. Otro tanto sucede con la norma IRAM 11900 de etiquetado energético de edificios. Probablemente, debiera tenderse a un modelo normativo, que sin la necesidad de caer en el costoso y complejo método de simulación dinámica del protocolo Greenbuilding LEED, pueda llegar a resultados razonables, económicos y rápidos mediante un método de simulación en estado estacionario. En parte, es la propuesta de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Stuart Russell- Peter Norvig (2010) Artificial Intelligence, A Modern Approach- 3rd edition Prentice Hall- Pearson Education Inc. New Jersey
- [2] Código Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires: <http://www.cedom.gov.ar/es/legislacion/>
- [3] Norma IRAM 11604: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites- Instituto Argentino de Normalización y Certificación- 2° ed. 2001-Buenos Aires
- [4] Norma IRAM 11659 1 y 2- Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración- Parte 2: Edificios para viviendas- Instituto Argentino de Normalización y Certificación- 2004-Buenos Aires
- [5] Norma IRAM 11603- Acondicionamiento Térmico de Edificios- Clasificación bioambiental de la República Argentina- Buenos Aires- 2011
- [6] Goldberg, David (1989) Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning- Addison, Wesley, Longman, Inc- Massachusetts
- [7] Norma IRAM 11605: Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Valores máximos de transmitancia Térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires. 1996
- [8] En la ciudad de Buenos Aires rige la ley 4458/12 y en la ciudad de Rosario, la ordenanza 8757/11
- [9] B-Splines racionales no uniformes (NURBS, Non-uniform rational basis-spline) es un método matemático para definir curvas, superficies y sólidos.
http://docs.mcneel.com/rhino/5/help/es-es/information/nurbs_about.htm
- [10] Tedeschi, Arturo (2011), Parametric Architecture with Grasshopper Primer- Edizioni Le penseur- Potenza, Italia

- [11] <http://www.liftarchitects.com/blog/2009/3/25/grasshopper-primer-english-edition>
- [12] Norma IRAM 11605- Acondicionamiento Térmico de Edificios- Condiciones de habitabilidad en edificios- 1996- Buenos Aires
- [13] IRAM 11507-4: Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4- Requisitos complementarios. Aislación térmica. Buenos Aires. 2010.
- [14] Norma IRAM 11604 – Anexo B- p. 19
- [15] <http://wind-data.ch/tools/profile.php?lng=en>
- [16] Balcomb, D.- Passive Solar Buildings- The MIT Press- Londres- Reino Unido- 2008
- [17] Yarke, E. et al.- Un programa de cálculo para optimizar la relación entre Sustentabilidad Energética y Rentabilidad de Sistemas Solares Pasivos: El programa Optimix- versión 3.1- XI Incontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construido- ENTAC 2006- Florianópolis- Brasil