

V2
N1

HS



Revista
Hábitat Sustentable

ISSN 0719 - 0700 / Vol. 1 N° 2 / ene-jun 2012

V2N1



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

REVISTA HÁBITAT SUSTENTABLE

ENERO-JUNIO 2012

EDITORIAL

Nos complace presentar un nuevo número de la revista que recoge resultados de investigaciones acerca del hábitat latinoamericano desde las diversas dimensiones y perspectivas de la sustentabilidad. La problemática latinoamericana está presente en este número a través de dos artículos que presentan aproximaciones transversales: *Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas* revisa y compara los problemas ambientales de cuatro ciudades latinoamericanas - Ciudad de México, Sao Paulo, Río de Janeiro y Buenos Aires - a través del análisis metabólico de flujos de materia y energía, mientras que *La Sostenibilidad en el Currículo de las Carreras de Arquitectura* realiza un análisis de la declaración explícita de estos conceptos en los planes curriculares de la carrera de arquitectura de toda Latinoamérica. Estos dos artículos plantean los desafíos ambientales que nuestro continente debe enfrentar, tanto en la planificación de las grandes urbes, como en la formación de los futuros arquitectos.

Abordando el problema a una menor escala, el artículo *Factibilidad de Aprovechamiento de la Energía Solar e Impactos Previsibles de las Nuevas Reformas del Código Urbano y de Edificación: Propuestas para la Ciudad de Mendoza, Argentina*, realiza un análisis estadístico en base a indicadores que relacionan la forma urbana con el acceso solar, con el fin de cuestionar el código urbano de la ciudad. El acceso a la radiación solar ha sido también tema

de estudio en *Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos* que explora el uso de tecnologías avanzadas basadas en algoritmos genéticos para seleccionar formas optimizadas para la captación solar. Las nuevas tecnologías basadas en software de última generación permiten avanzar en la generación de nuevos conocimientos y en la comprensión de problemáticas claves para el desarrollo de edificaciones más sustentables, donde el artículo *Feasibility of PassivHaus standards and alternative passive design on climatic zones of Chile - Determination of energy requirements with dynamic simulation* también contribuye en este sentido, evaluando el impacto técnico y económico de implementar el estándar Passivhaus en el país.

Finalmente, *Análisis y Diagnóstico Ambiental del Hábitat Rural en Zonas Áridas de San Juan, Argentina*, nos enfrenta con la realidad opuesta a las megaurbes latinoamericanas, a través del análisis de las relaciones entre el ambiente natural y el ambiente antropizado, característicos del hábitat rural. De esta manera, este número de la revista traza un discurso desafiante, por cuanto la complejidad y diversidad de la realidad latinoamericana nos obliga a movilizarnos articuladamente a través de la academia y la práctica; la formación y la investigación; en pos de un hábitat más sustentable.

Dra. Maureen Trebilcock
Editora
Revista Hábitat Sustentable



Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas

Climate Change and Urban Metabolism of Latin American Megacities

Gian Carlo Delgado Ramos ^(a); Cristina Campos Chávez ^(b); Patricia Rentería Juárez ^(c)

^(a) Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades – Universidad Nacional Autónoma de México – México – email: giandelgado@unam.mx

^(b) Facultad de Ciencias Políticas y Sociales - Universidad Nacional Autónoma de México – México – email: cristicampos@gmail.com

^(c) Facultad de Ciencias Políticas y Sociales - Universidad Nacional Autónoma de México – México – email: patyrenteria13@gmail.com

RESUMEN

Palabras clave:
Metabolismo urbano
América Latina
Cambio climático

La problemática climática y medioambiental se perfila cada vez más como un reto para las ciudades, especialmente para aquellas donde está dándose un rápido proceso de urbanización y crecimiento poblacional. El análisis de su estado de situación es mejor entendido a partir de estudios metabólicos de la entrada y salida de flujos de materiales y de energía. Este tipo de evaluaciones se han realizado para diversas ciudades y para distintos aspectos, pero en América Latina están prácticamente ausentes. Este trabajo abre con una presentación general sobre el estado de situación de las ciudades latinoamericanas y con una introducción a las evaluaciones metabólicas para ofrecer una primera aproximación integral comparativa de los flujos de entrada y salida de las megaurbes latinoamericanas, esto es, de la Ciudad de México, Sao Paulo, Río de Janeiro y Buenos Aires. Se presentan las principales características de los planes de acción frente al cambio climático para cerrar con un breve análisis comparativo entre las acciones de mitigación y las dinámicas metabólicas existentes. Se concluye con una reflexión y sugerencias en torno al futuro urbano, los retos venideros y las oportunidades posibles.

ABSTRACT

Keywords:
Urban metabolism
Latin America
Climate change

Today's climate and environmental problems represent an increasing challenge for cities, especially for those that are experiencing a rapid urban expansion and population growth. It is proposed that current climate and environmental conditions are better understood from a metabolic assessment of inflows and outflows of energy and material. This type of evaluation has been carried out for different cities and for

diverse metabolic aspects, but it has been mostly absent in Latin America. This article starts with a general presentation of the current state and challenges for Latin American cities. It then introduces the main aspects of urban metabolism analysis and offers an initial comprehensive comparative estimate of inflows and outflows of Latin American megacities: Mexico City, Sao Paulo, Rio de Janeiro and Buenos Aires. Some of the main characteristics of climate change plans are then discussed and a brief comparative analysis between mitigation actions and existing metabolic dynamics is presented. The paper concludes with some considerations and suggestions for the urban future and the plausible forthcoming challenges and opportunities.

1. Introducción

Las ciudades latinoamericanas son íconos representativos de inmensos y típicos (des)ordenamientos territoriales cuyos patrones de expansión son acelerados además de ser socialmente muy excluyentes, al mismo tiempo son ambiental e inclusive económicamente inviables en el largo plazo. Por ejemplo, la Ciudad de México duplicó su tamaño, en términos de superficie, de 1950 a 1970 y, más que lo triplicó para el 2000. Y es que sólo de 1980 al 2000, el ritmo de tal crecimiento fue del orden del 37%, momento en que, la ciudad de Santiago Chile, ya lo hacía a un ritmo del 67% (UN-HABITAT, 2009).

Para el periodo del 2000 al 2005, el crecimiento de la mancha urbana en América Latina se ubicó en el rango de 1.8% anual promedio lo que corrobora una continuidad en el fuerte desbalance territorial de la región y que hoy se observa en el hecho de que el 78% de la población ya es urbana (era sólo el 41% en 1950; UN-HABITAT, 2009). Así, en el caso de México, el sistema urbano cubre 800 mil hectáreas ó 0.4% del territorio nacional, y sin embargo concentra 71% de la población y genera 4/5 partes del PIB (SMA-GDF, 2008).¹

El panorama mundial inmediato promete complejizar toda esta situación, pues el aumento poblacional a 2050 se concentrará en un 95% en los países pobres, llegando incluso a duplicar el número de habitantes de principios de siglo. Las ciudades que más aportarán a ese aumento serán

las de rango medio, incluyendo muchas de América Latina.

Vale precisar entonces que, a grandes rasgos, se identifican tres grupos de ciudades en América Latina: las megaurbes que concentran el 14% de la población de la región (la Ciudad de México con unos 22 millones de habitantes, Sao Paulo con 20 millones, Buenos Aires con 12 millones y Río de Janeiro con 11 millones); las grandes ciudades de entre 5 y 8 millones de habitantes como Lima, Bogotá, Santiago de Chile y Caracas; y las ciudades de no más de 4 millones de habitantes como Montevideo, Asunción, La Paz y Guatemala. Desde luego se suman otras de menor tamaño, inclusive de menos del millón de habitantes donde se cree que vive el 59% de la población Latinoamericana (UN-HABITAT, 2009).

Tomando nota de tal panorama urbano y sus tendencias en la región, el crecimiento de las ciudades latinoamericanas será claramente más complejo, no sólo debido a las proyecciones poblacionales y a las de sus patrones de consumo, sino sobre todo por las aún limitadas capacidades económicas y político-institucionales que las caracterizan, independientemente de su tamaño. Es de notarse, por ejemplo que mientras la Ciudad de México y Sao Paulo figuran entre las más pobladas del mundo a la par de Tokio o Nueva York, éstas no aparecen entre las que más riqueza producen (en términos del PIB), por el contrario en este caso son reemplazadas por ciudades de países desarrollados de menor envergadura poblacional y espacial. Esto indica que en efecto hay una brecha no sólo entre individuos ricos y pobres, sino entre los espacios urbanos de países ricos y de países pobres. Tal divergencia queda evidenciada cuando se da cuenta del tipo de urbanización en cada caso. Los datos son contundentes. En el mundo hay

¹ Los espacios urbanos del país consumen el grueso de la energía a nivel nacional. Tan sólo el consumo residencial representa el 25% del consumo total nacional. En 2006 ése fue equivalente a poco más de 160 mil GWh (Banco Mundial, 2008). Las ciudades mexicanas también son fuertes generadoras de desechos. Ese mismo año expulsaron 36.1 millones de toneladas de residuos sólidos (Ibid).

alrededor de 250 mil asentamientos informales o zonas de alta miseria (colonias populares, favelas, etc.) en los cuales viven casi el 32% de la población urbana mundial (Davis, 2006; Bolay, 2006; UN-HABITAT, 2008)². En el caso de los países pobres, en promedio el 43% de su población urbana vive en dichos espacios, pero casos como el Chad, Etiopía o Afganistán, entre otros, rondan el 98% – 99.4%. En contraste, en los países ricos, los barrios populares cubren en promedio tan sólo el 6% de sus espacios urbanos (Davis, 2006; Bolay, 2006). En América Latina el porcentaje de población que vive en zonas de alta marginación es del 27% en promedio (UN-HABITAT, 2009), aunque es variable pues se estima en el orden del 19.6% para el caso de México; en 36.6% en Brasil; 33.1% en Argentina; y en 68% en Perú, por dar algunos ejemplos (Davis, 2006).

Los datos develan además que el proceso de ampliación de las zonas urbanas de alta marginación se acentuó a partir de la década de 1990 cuando se registró un aumento de 36% de la población ahí emplazada, misma que, de seguir la tendencia actual, se duplicará para el 2040 (Ibid). Lo indicado es de importancia desde el punto de vista del cambio climático, y en particular de la justicia climática pues los principales responsables –en términos individuales- de la emisión directa e indirecta (mediante el consumo de productos con una determinada mochila ecológica) de gases de efecto invernadero (GEI) en este tipo de ciudades no son, la inmensa mayoría pobre o extremadamente pobre, sino el reducido grupo social de clase media y alta que

sostiene patrones de consumo despilfarradores, siendo el transporte basado en el automóvil privado el de mayor impacto y crecimiento en términos de emisiones de GEI.³ Y si bien las tendencias generales en las urbes latinoamericanas son similares, los contextos biofísicos y socioeconómicos, los estados de su crecimiento, las estructuras urbanas y las dimensiones de la complejidad de cada ciudad son distintos y por lo tanto también lo son los retos y las posibles soluciones.

2. Una mirada al metabolismo urbano en las principales urbes latinoamericanas

Los espacios urbanos pueden analizarse como sistemas abiertos a los flujos de materiales y de energía; esto es que toman energía y materiales fuera del sistema (urbano) y que desechan energía disipada y materiales degradados. Se trata de un proceso entrópico –de degradación de la energía y la materia- visible, por ejemplo, en el deterioro de la infraestructura y que se acelera conforme se extiende la capa urbana pero también a causa de la existencia de infraestructura no apta frente a los efectos del cambio climático; todo en un contexto en el que además los flujos se retroalimentan en el tiempo y en el espacio, complejizando y a veces hasta imposibilitando, por diversos factores, los mecanismos de obtención de materiales y energía y de expulsión de desechos. A ello, debe sumarse el hecho de que tales sistemas urbanos se emplazan en un sistema mayor, el planeta Tierra, que en cambio es cerrado a flujos de materiales y abierto a flujos de energía -la luz solar- que aprovechamos mínimamente.

Lo anterior implica que la economía humana vista desde una perspectiva de la vida y por tanto de largo plazo, es en el fondo una economía de la entropía (o bioeconomía), es decir de la disipación de la energía y la degradación de materiales. En este tenor, es clave notar que la ciudad, o lo que Mumford (1961) calificó como

² En el 2000, la población viviendo en asentamientos irregulares de alta miseria era de 39%. En números absolutos sin embargo, se pasó de 767 millones a 828 millones de personas en el mismo periodo. Las estimaciones de UN-HABITAT para el 2020 precisan que habrá entonces 889 millones de personas viviendo en este tipo de asentamientos a pesar de los esfuerzos de mejorarlos (*slum upgrade*) como parte de las Metas del Milenio y que se estima lograron desplazar de esa clasificación a 227 millones de personas de 2000 a 2010; pero en AL sólo lograron sacar adelante, en términos reales, 1.9% de esa población (UN-HABITAT, 2008). El esfuerzo es cuestionable en sí mismo pues aunque en efecto sí se mejoran las condiciones de algunos (lo menos pobres de los pobres), lo que se ha hecho es construir grandes zonas de mono-construcción de bajo costo a las orillas de las ciudades o en tierras de bajo valor. Muchas de esas iniciativas son producto de financiamiento a constructoras por parte de instituciones financieras internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo. No sorprende que esto se observe con mayor énfasis en Latinoamérica pues se trata de la región con el más alto porcentaje de habitantes urbanos de todos los países pobres del orbe (de alrededor de ¼ partes de su población total) (Ibid:).

³ En México, se estima que el sector transporte emitió 170 millones de toneladas de CO₂ en 2008, tendencia que podría llegar en el 2030 a 410 millones de toneladas. La tasa de motorización de la Ciudad de México es representativa de la tendencia pues por cada recién nacido se introducen dos automóviles. A pesar de ello, el transporte privado es altamente elitista pues tan sólo representa el 11% de los viajes diarios en la Ciudad de México (si se excluyen los taxis). La tendencia es muy similar para el caso de San Pablo, Brasil. Según HABITAT, el sector transporte representa en tanto emisiones de GEI urbanas, hasta el 60% en Sao Paulo y el 30% en Río de Janeiro (UN-HABITAT, 2011).

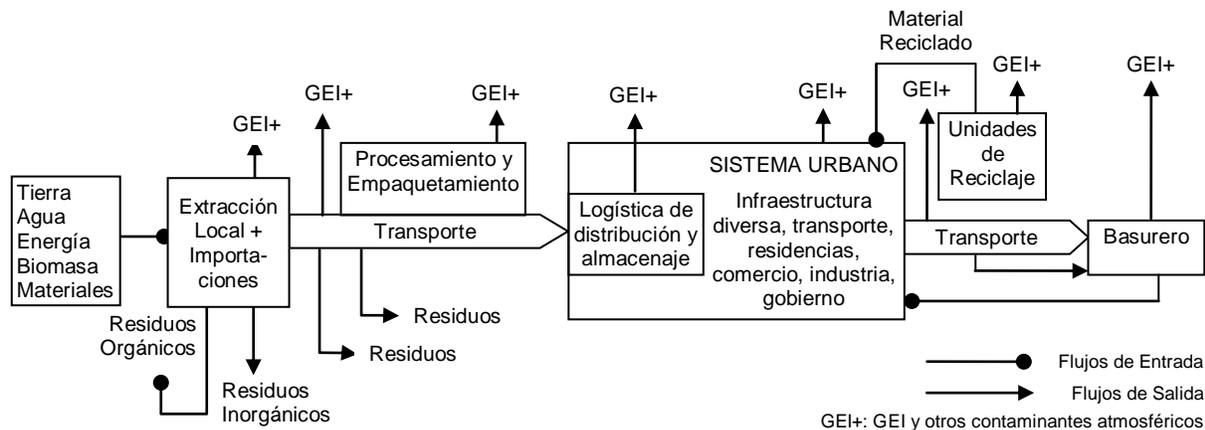


Figura 1: Diagrama de flujos de materiales y de energía de los sistemas urbanos. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 1: Urban material and energy flows diagram. Source: Own Elaboration

“segunda naturaleza”, se caracteriza por tener una tasa metabólica muy intensa por unidad de área pues demanda crecientes flujos de energía y genera fuertes flujos de desechos. No se trata de un ecosistema, advierte el autor, sino de una forma específica de asociación-interacción de buena parte de la humanidad (Ibid).

Lo dicho es relevante desde el punto de vista de la magnitud de los mencionados flujos -o del metabolismo urbano- necesarios para sostener las ciudades en creciente expansión (Fig. 1). El trabajo de Wolman (1965) es reconocido como pionero en términos empíricos pues analiza los flujos de entrada y salida de energía y materiales de una ciudad hipotética de EUA de un millón de habitantes, advirtiendo correctamente la complejidad y variabilidad de éstos. Pese a ello, Wolman identificó tres flujos clave de entrada (agua, alimentos y combustibles) y tres de salida (aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos). De subrayarse es que para realizar los flujos de entrada se generan GEI y usualmente sucede lo mismo para lograr expulsar de la ciudad buena parte de los residuos, además de que su reciclaje requiere de nuevas entradas energético-materiales y por tanto la generación de GEI (lo que desde luego es en muchos casos mejor que no hacerlo).

Ahora bien, complejizando a Wolman y yendo más allá de sumar otros rubros (e.g. materiales de construcción, de papel y cartón, etcétera)⁴, se puede indicar la necesidad de

⁴ Se estima que la cantidad de materiales que entran a las ciudades en el rubro de construcción y transporte ronda en promedio las 25 toneladas per cápita, siendo la madera un 12%, el cemento un 10% y el hierro un 3%. El coste energético detrás de esos flujos se estima en más de 2.5 veces el consumo exosomático de las mismas (Bettini, 1998).

analizar de modo desagregado cada flujo de entrada y salida, así como de valorarlos, no sólo en términos cuantitativos sino cualitativos, lo que nos lleva a pensar específicamente, tanto en la mochila socio-ecológica⁵ que traen consigo los flujos de entrada (cuánta devastación “carga” consigo la producción de energía eléctrica fuera de la ciudad, la extracción de materiales o los trasvases de agua, etcétera) como en la toxicidad de los flujos de salida (tipo de contaminantes y afectaciones y costos ambientales y a la salud humana).

Por lo indicado se sostiene que el crecimiento sin límite de los espacios urbanos es inviable en el largo plazo, no sólo en términos ecológicos, sino también sociales e inclusive biofísicos. Y es que es claro que con el aumento en la complejidad de la ciudad, se incrementa el flujo de energía y materiales, lo que obliga a la organización, normalmente no planificada, del propio espacio urbano al tiempo que se intervienen y subordinan múltiples territorios más allá de los propios límites urbanos.

Diversos análisis metabólicos han sido realizados desde Wolman, especialmente para ciudades de países desarrollados y para distintos flujos metabólicos. La contribución de Bettini (1998), y más reciente las de Kennedy y colegas (2007 y 2011) o la de Minx et al. (2010) son destacables pues permiten tener una visión

⁵ Friedrich Schmidt-Bleek propone el concepto de “mochila ecológica” a partir de desarrollar lo que denominó Input Material por Unidad de Servicio (MIPS – Materials Intensity Per Service Unit). Sintéticamente lo que el MIPS intenta medir son los flujos de materiales y energías que incorpora la extracción de un recurso o la fabricación y tiempo de vida de un producto. (Schmidt-Bleek, 1993). El concepto tiene como paralelo la propuesta de Rees (1992) sobre “capacidad de carga”.

amplia e integrada de la evolución de los estudios sobre metabolismo urbano. En especial el trabajo de Kennedy et al. de 2011 es referencia obligada en tanto que ofrece un meta-análisis de las publicaciones en el área, mientras que la de Minx et. al. hace una valoración del tema desde la perspectiva europea. Se pueden señalar otros estudios, por ejemplo, para flujos energéticos de ciudades como Miami (Zucchetto, 1975), Taipei (Huang, 1998) y París (Barles, 2007 y 2009). Otras entregas en cambio se han enfocado en el metabolismo urbano del agua (Hermanowicz y Asano, 1999; Gandy, 2004; Thériault et al., 2009); el ciclo de nutrientes del suelo (Forkes, 2007; Færge et al., 2001; Baker et al., 2001; Nilson, 1995); en el de residuos (Leach, Bauen y Lucas, 1997; Colon y Fawcett, 2006; Snyman y Vorster, 2010; Young y Fan, 2010; Phillips et al., 2011; Lehmann, 2011; Zaman y Lehmann, 2011); o del transporte y los alimentos (Delgado, 2012A y 2012B). Una primera aproximación genérica del caso de Bogotá también ha sido realizada (Díaz, 2011).

Probablemente los estudios más acabados son para la ciudad de Tokio (Hanya y Ambe, 1976) y Hong Kong (Newcombe et al., 1978) (Boyden et al., 1981). El caso de Hong Kong en particular ofrece interesantes resultados sobre los patrones metabólicos de dicho asentamiento urbano a lo largo del tiempo: la ciudad solo produce el 5% de sus alimentos, mientras que sus importaciones, entre 1971 y 1997, aumentaron para el caso de los plásticos en 400%, para el cemento en 300%, para el acero/hierro y papel en 275%. Asimismo, la cantidad de basura generada aumentó de 1.28 kg per cápita en 1991 a 1.36 kg en 2007, alcanzando un total de 6.5 millones de toneladas métricas de residuos ese último año (Newcombe et al., 1978). El consumo energético y las emisiones de GEI también aumentaron para el mismo periodo; en 1990 la ciudad uso 240 Tj de energía final y emitió 34,200 Gg de CO₂; para 2005 esos montos ascendían a 286 Tj y 38,100 Gg de CO₂.⁶

Este tipo de análisis, altamente revelador de la intensidad del metabolismo social y que posibilita dilucidar sus implicaciones socio-ambientales, tienen sin embargo limitada

⁶ Un joule es una unidad de medida de energía o trabajo. Equivale a la energía o trabajo realizado al aplicar una fuerza de un newton por un metro. Un terajoule (Tj) es por tanto un billón (10¹²) joules. Para propósitos comparativos vale señalar que la bomba atómica de Hiroshima desprendió 63 Tj, mientras que la de Nagasaki 84 Tj. Un giga gramo es equivalente a mil toneladas.

presencia en América Latina, sobre todo si se contrasta con las dimensiones descritas de la problemática urbana actual y futura. Tal panorama aparentemente responde al hecho de que existen pocos especialistas en la materia, pero también a que mucha de la información en cuanto a flujos de materiales y de energía para ciertos asentamientos, como los latinoamericanos, no existe, está dispersa o a penas se está recabando (y por tanto no se disponen de series históricas amplias). Además, los datos no siempre están disponibles para las zonas metropolitanas sino sólo para las ciudades, definidas por sus límites administrativos. Se añade el hecho de que muchos datos no están del todo estandarizados y muchos indicadores necesarios aún se están construyendo y optimizando. El panorama sin embargo no es único para América Latina, sino generalizable para otros países pobres. Situación a la que se suma la falta de una metodología apropiada y estandarizada a nivel internacional para medir la totalidad de emisiones urbanas (directas e indirectas).⁷

En resumen, la calidad de las evaluaciones sobre flujos metabólicos, en especial aquellas que ofrecen lecturas comparativas, entre asentamientos, pero también a lo largo del tiempo en una misma ciudad, es en el mejor de los casos restringida. Los avances son pocos a pesar de la importancia, impacto y rol que pudieran tener, en especial para el diseño de políticas públicas y la gestión concreta de acciones y medidas. En tal panorama y con la finalidad de contribuir en el llamado a cimentar este tipo de análisis en la región, se ofrece a continuación una primera aproximación sobre las dimensiones del metabolismo de las megaurbes de la región, esto es, Buenos Aires, Ciudad de México, Rio de Janeiro y Sao Paulo. El análisis que se presenta requiere de otros ejercicios posteriores, de mayor fineza y desagregación, y por tanto de trabajo

⁷ La utilizada por la asociación internacional Local Governments for Sustainability (ICLEI), no contabiliza emisiones asociadas pero emitidas fuera de los emplazamientos urbanos (o aquellas asociadas a los flujos metabólicos urbanos o lo que en la literatura se conoce como medición desde una perspectiva basada en el consumo energético-material o consumption-based approach). Tampoco lo hace con las emisiones del sector de transporte aéreo o marítimo cuando así aplica. Desde luego existen otras metodologías pero su uso no es extendido (léase: Satterthwaite, 2008; Ramaswami et al, 2008; Kennedy, 2009; Dodman, 2010). Vale sin embargo precisar que el ICLEI y el C40 Cities Climate Leadership Group presentaron una metodología en el marco de la COP17 en Durban (noviembre de 2011).

documental y de campo cada vez más detallado. Y, para que ése tenga aún más utilidad, deberá eventualmente tener una perspectiva histórica y una proyección a futuro. Dejando tal ejercicio para otras entregas, propias y de otros colegas, y por tanto reconociendo las limitaciones aquí formuladas, en la Tabla 1 se presentan los principales datos de flujos agregados de entrada y salida de materiales y energía de las megaurbes en cuestión, mismos que se encuentran en documentos oficiales o literatura especializada.

Los datos de la Tabla 1 muestran que en efecto las dimensiones del metabolismo de las megaurbes latinoamericanas son ingentes y cada vez más insostenibles en el corto, mediano y largo plazos; de ahí que uno de los principales retos sea reconocer que las ciudades son espacios netamente parasitarios en tanto que son construcciones sociales del territorio y que por tanto externalizan la naturaleza como nunca antes en la historia de la humanidad.

La huella ecológica de las ciudades ayuda en cierto modo a ejemplificar, aún cuando se exprese limitadamente en términos de superficie territorial requerida para tomar recursos y desechar residuos con base en nuestros patrones de consumo actuales. Así, estimaciones para 29 ciudades de Europa Báltica ubican su huella ecológica entre 565 y 1,130 veces el tamaño territorial de las mismas (Folke et al., 1997). En contraste y considerando que la huella ecológica mundial en relación a la biocapacidad del planeta ha aumentado desde entonces -el doble en 2007 comparada con la de 1966 según estimaciones de WWF (2010), un cálculo⁸ aproximado de la huella ecológica para las principales megaurbes de América Latina, marcadamente más densas, arroja resultados llamativos y, pese a todo, ciertamente ejemplificadores del mencionado carácter parasitario de las ciudades. Con base en datos de 2007 (Tabla 2), para el caso de la Ciudad de México la huella ecológica sería conservadoramente del rango de 179 veces la superficie territorial de la misma; para Sao Paulo de 209 veces; para Rio de Janeiro 147 veces; y para Buenos Aires 369 veces (cálculos con base en: *Ibid*).

La cuestión del creciente metabolismo social, o del consumo de energía y materiales por parte del ser humano y en especial desde los espacios

⁸ Se toma la huella ecológica nacional como dato promedio para la ciudad, lo que de entrada se sabe es muy conservador pues las ciudades son precisamente las que concentran los índices más elevados de consumo y desecho.

urbanos, no es menor.⁹ De continuar la actual tendencia, se advierte un futuro socio-ambientalmente inquietante pues las proyecciones sugieren un aumento en la extracción de recursos naturales que podría llegar a triplicarse en el 2050, según el escenario más preocupante. Si se asume un escenario moderado, el aumento sería de alrededor del 40% para ese mismo horizonte temporal (UNEP, 2011). En cambio, sólo mantener los patrones de consumo del año 2000, implicaría que los países metropolitanos disminuyan su consumo entre 3 a 5 veces, mientras que algunos en desarrollo lo tendrían que hacer en un 10% a 20% (*Ibid*).

La gran ventaja de analizar el estado de situación actual y de proyectar los posibles escenarios futuros desde una perspectiva metabólica es que es posible modelar rutas más o menos eficientes en el uso de los recursos y en la generación de residuos y así enfocar esfuerzos, ello por ejemplo, por medio de la planificación de los procesos metabólicos desde el mismo diseño de tales o cuales infraestructuras (o del *stock* urbano). Si se dejará de construir infraestructura de cualquier tipo a escala mundial y tan sólo se operara la existente al cierre de 2010 (mucho de la cual promueve el uso o funciona con base en combustibles fósiles), las emisiones futuras atribuibles se calculan en 496 giga-toneladas de CO₂ hasta el 2060, aumentándose con ello la temperatura hasta en 1.3 grados con respecto a la temperatura preindustrial (Davis et al., 2010).

En dicho sentido, se advierte que lo que se haga o se deje de hacer en adelante, sobre todo en los ámbitos urbanos, tendrá claramente implicaciones mayores, tanto positivas como negativas para el clima y el ambiente en general.

Ante tal situación, el reto es encontrar mejores formas de organización y modalidades más eficientes e integradas de asentamientos

⁹ Las estimaciones sugieren que entre 1900 y el 2000, cuando la población creció cuatro veces, el consumo de materiales y energía aumentó en promedio hasta diez veces; el incremento del consumo de biomasa en 3.5 veces, el de energía en 12 veces, el de metales en 19 veces y el de materiales de construcción, sobre todo cemento, unas 34 veces (Krausmann et al., 2009). Al cierre del siglo XX la extracción de recursos naturales era de 48.5 mil millones de toneladas (más de una tercera parte biomasa, 21% combustibles fósiles y 10% minerales), registrándose un consumo global *per capita* de 8.1 toneladas al año con diferencias per cápita de más de un orden de magnitud (Steinberg, Krausmann y Eisenmenger, 2010). Para el 2010 las estimaciones rondaban ya las 60 mil millones de toneladas de materiales al año y unos 500 mil petajoules de energía primaria, contexto en el que el 10% de la población mundial más rica acaparaba el 40% de la energía y el 27% de los materiales (Weisz y Steinberger, 2010).

humanos de tal suerte que se tienda a minimizar su metabolismo biofísico, tanto en términos per cápita, como totales; ello desde luego incluye la imperante necesidad de reducir las emisiones de GEI.

Tabla 1: Flujos energético-materiales de las megaurbes de América Latina. Fuente: Elaboración Propia

Table 1: Energy-material flows of Latin American megacities. Source: Own Elaboration

1. BUENOS AIRES		
ENERGÍA	AGUA	ALIMENTOS
<p>El consumo energético de la ciudad ronda los 370 peta joules. El cual es en un 27.1% de la producción de energía; 36% por el sector transporte; 23% residencial (compuesto por 1.47 millones de viviendas); 10.6% comercial; y 3.2% industrial.</p> <p>En el sector eléctrico el consumo es 35% de tipo residencial, 31% comercial y 18% industrial, el restante corresponde a otros rubros de servicio público o gobierno (Delucchi, sin fecha). El sistema eléctrico produce energía mediante centrales térmicas. Además importa electricidad. Tiene una potencia instalada de 2110 MW y está compuesto por 30,940 km de líneas de transporte de diversa tensión, siendo la de 132 Kv la de mayor peso con unos 20 mil km (Ibid).</p>	<p>La principal fuente es el Río de la Plata y algunas subterráneas de muy baja significancia (acuífero Puelchense). El líquido es potabilizado en dos ubicaciones: Palermo y General Belgrano. La primera logra una producción de 3 millones de m³/día y cuenta con 13 bombas elevadoras. La segunda tiene una capacidad de 1,3 millones de m³/día. Ambas suman un potencial adicional de 1.3 millones de m³/día (Delucchi, sin fecha). La producción de agua total de la zona metropolitana es de 535 litros/habitante/día.</p> <p>El consumo promedio es de 370 litros/habitante/día, aunque hay consumos pico en zonas acomodadas como lo son algunas en Belgrano, Villa Devoto y Caballito con consumos de entre 454 y 431 litros/habitante/día.</p> <p>El sistema de distribución se conforma por 77 km de ríos subterráneos, 369 km de cañerías de impulsión, 11,300 km de cañerías maestras y distribuidoras, y 9 estaciones elevadoras (Delucchi, sin fecha).</p>	<p>El consumo nacional para 2007 se estimó entre 755 kg/hab/año (según datos de suministro de alimentos de FAOSTAT; http://faostat.fao.org), lo que significa que la zona metropolitana de Buenos Aires requirió de un flujo de alimentos anual de al menos 9.06 millones de toneladas (al igual que en el resto de casos abajo presentados, deben sumarse los sobre-consumos y desperdicios y los alimentos demandados por el turismo).</p> <p>La dieta es particularmente intensiva en carnes y derivados en tanto que constituyen el 43.7% del consumo total de alimentos en términos de peso. El consumo de refrescos y bebidas azucaradas es igualmente alto con 116 litros per cápita/año.</p> <p>Con base en datos de FAOSTAT se estima que las emisiones de CO₂e de la zona metropolitana asociadas al consumo de carne, leche y huevo ronda casi los 19 millones de toneladas de CO₂e (Delgado, 2012A).</p>
GEI	AGUAS RESIDUALES	RESIDUOS SOLIDOS
<p>Las emisiones de 2010 se estiman en 9,917 Gg de CO₂eq/año ó 3.3 toneladas per capita de CO₂eq/año. 3.37 mil Gg son emitidos por el sector transporte, mismo que para 2030 podría emitir incluso 7 mil Gg de CO₂eq/año.</p> <p>El 80% de la contaminación del aire es generada por el parque automotor cuya dimensión es de 1.07 millones de unidades (80% automóviles privados) (adefa.com.ar) y para 2030 podría representar el 90% de esa contaminación (APrA, 2011).</p> <p>El fuerte aporte del sector energía, de 5.5 mil Gg de CO₂e, se debe en parte a que la mayoría de la electricidad se genera con gas natural y sólo una cuarta parte con energías renovables (Ibid).</p> <p>La ciudad tiene 6.4 m²/hab. de espacios verdes, mismos que, con unos 415 mil árboles, capturan 1.19 millones de toneladas de CO₂/año (APrA, 2011).</p>	<p>El desecho de agua es de 500 litros/hab/día e incluye fugas de agua, de lluvia, entre otras fuentes emisoras irregulares o ilegales.</p> <p>El sistema de alcantarillado está compuesto por 7,252 km de cañerías colectoras y colectores, 57 km de cañerías de impulsión, y 236 km de cloacas máximas (Delucchi, sin fecha).</p> <p>Sólo 39% de la población cuenta con conexión a la red de alcantarillado. Las zonas al límite de su capacidad son Villa Lugano, Villa Soldati, Pompeya y La Boca. El grueso de aguas residuales son vertidas al Río de la Plata, la mayoría sin tratamiento alguno pues la capacidad total de los plantas de tratamiento es para sólo 1.7 millones de habitantes (Ibid)</p> <p>Las inundaciones son un problema importante pues la planeación de la capacidad del sistema se hizo con base en una intensidad media de precipitaciones que cambió desde 1970. Se presentan sobre todo en Riachuelo-Matanza, un cuerpo muy contaminado que provoca inundaciones con lluvia mayor a 30 mm/hora. También en la zona de Arroyo Maldonado que cruza la ciudad de sudoeste a nordeste.</p>	<p>Se calcula un flujo de residuos, sólo de la ciudad autónoma, de unas 5,200 toneladas diarias o unos 606 kg/hab/año (Friederich y Langer, 2010). Esto es alrededor de 1.9 millones de toneladas al año (APrA, 2011). Sólo el sector de la construcción emite unas 2 mil toneladas diarias, de las cuales se reciclan 7 mil toneladas al año (Ibid).</p> <p>La composición de los residuos, según datos de 2001, es 38% residuos orgánicos (5% poda y jardín); 24% papel y cartón; 14% plásticos; 5% vidrio; 5% textiles, cuero, madera; 4% pañales; 2% metales ferrosos y no ferrosos; 2% materiales de construcción; y el resto miscelánea (http://www.buenosaires.gov.ar).</p>

2. CIUDAD DE MÉXICO

Tiene 8.85 millones de habitantes en 1,400km². La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) concentra 22 millones en una superficie de 4,900 km² y oficialmente con unos 4 millones de personas viviendo en áreas de alta marginación. En los últimos 60 años, la ciudad ha crecido una hectárea por día (SMA- GDF, 2008: 36). El 59% del suelo es de conservación.

ENERGÍA	AGUA	ALIMENTOS
<p>En 1990 la ciudad consumió 443 peta joules. En 2006 fueron 545 peta joules. De ésta, el 43% fue gasolina; 23.6% gas natural; 19.2% gas licuado; y 14.2% diesel (SMA-GDF, 2008). El consumo total de electricidad para 2010 fue de 14 millones de megawatts-hora (70% para la industria y servicios; 25% para uso doméstico; 2.3% para bombeo de aguas potables y negras; 2.2% para alumbrado público) (INEGI, 2010). La generación de GEI de este tipo de energía registra unos 318 kg de CO₂ per cápita (Friederich y Langer, 2010).</p> <p>Para alimentar a la ciudad de energía eléctrica, se cuenta con 6 centrales y 9 unidades termoeléctricas, así como 6 centrales y 9 unidades de generación de turbogas. En conjunto, producen 420 giga watts-hora de energía eléctrica (INEGI, 2010). Se suman 6 subestaciones de transmisión, 48 subestaciones de distribución y 42 mil transformadores.</p>	<p>El agua de la ciudad proviene en 71% de fuentes subterráneas (con un ritmo de extracción 140% arriba de la capacidad de recarga). El líquido se obtiene en un 26.5% del sistema Lerma-Cutzamala, y del río Magdalena en un 2.5%. Dado que la ciudad se encuentra a 2,240 msnm, el agua trasvasada debe ser bombeada 1,100m, lo que demanda energía y emite GEI.</p> <p>Se consumen 63m³/s en 1.12 millones de tomas formales y con un índice de fugas del 30%, siendo el consumo per cápita de 180 litros/día.</p> <p>El sistema de distribución se conforma por 1,100 km de tuberías primarias y 12,300 km de tuberías secundarias (Perló y González, 2009).</p> <p>La ciudad cuenta con 41 plantas potabilizadoras con capacidad total de 2,776 litros/s (INEGI, 2010).</p> <p>La zona metropolitana, en especial ciertas zonas de la Ciudad de México, tienen fuertes problemas de abastecimiento, tanto en cantidad como en calidad.</p>	<p>El consumo nacional para 2007 se estimó entre 734.7 kg/hab/año (según datos de suministro de alimentos de FAOSTAT). Esto significa que la ZMVM requirió ese mismo año de un flujo de alimentos de al menos 16.16 millones de toneladas. La dieta tiene un alto contenido de carnes, aceites y derivados lácteos (29.5% del consumo total en peso), así como de panificados (187 kilos/hab/año) y refrescos y bebidas azucaradas (casi 120 litros anuales per cápita). Al mismo tiempo se registran consumos cada vez menores de vegetales (55 kg/hab/año).</p> <p>Lo dicho precisa una modalidad de dieta crecientemente intensiva en energía. Sólo el consumo de carne, leche y huevo para la metrópoli se estima implica la emisión directa e indirecta de 15.94 millones de toneladas de CO₂e (Delgado, 2012A).</p>
GEI	AGUAS RESIDUALES	RESIDUOS SÓLIDOS
<p>Las emisiones totales se estiman en torno a 51 millones de toneladas de CO₂eq/año o de unas 2.3 toneladas per cápita/año.</p> <p>El sistema de transporte, con 4.5 millones de unidades —94% de tipo privado— contribuyó en 2008 con 22.7 millones de toneladas de CO₂eq, o el 44% del total de emisiones. El sector industrial, compuesto por unas 52 mil industrias, sumó 14.8 millones de toneladas o casi el 29% del total de emisiones. Unas 4.6 millones de unidades residenciales y comerciales añadieron 5.7 millones de toneladas o el 11% de emisiones totales; y los residuos sólidos y otras fuentes el 15% restante (SMA-GDF, 2010).</p> <p>La ciudad tiene unos 7 m²/hab. de espacios verdes (debajo de los 9 m² recomendados por la OMS).</p>	<p>La ciudad genera 45m³/s de aguas residuales, de las cuales sólo 4m³ son tratadas. El resto es arrojada directamente al medio ambiente, buena parte al Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo (SMA-GDF, 2008).</p> <p>La red de drenaje tiene una longitud de 12,400 km, de los cuales, 2,131 son de tipo primaria. La red de agua residual tratada tiene sólo una longitud de 848 km.</p>	<p>La Ciudad de México produce 12,500 toneladas de residuos sólidos (60% inorgánicos) diariamente o el equivalente al 13% de ese tipo de residuos a nivel nacional (SMA-GDF, 2008; BM, 2008), siendo la generación media de basura 511 kg/hab/año.</p> <p>Se suman 7 mil toneladas diarias de residuos de la construcción de las cuales, mil 400 toneladas no tienen control alguno.</p> <p>El crecimiento de la ciudad abona 130 toneladas diarias adicionales. Del total de basura de la ciudad se recicla, en el mejor de los casos, entre el 5 y 10% (SMA-GDF, 2009).</p> <p>La producción de composta se hace en 6 plantas (4 reciben exclusivamente residuos de poda y 1 procesa el 90% del total de residuos procesados por la ciudad). La capacidad total de las plantas es de 80 mil toneladas año o el equivalente a cerca del 4% del total de residuos orgánicos generados por la ciudad al año. La composta una vez producida debe ser recogida en la planta por los potenciales usuarios.</p>

3. RIO DE JANEIRO

Río de Janeiro y su zona metropolitana albergan a poco más de 11 millones de habitantes en una superficie de 5,645 km². Sólo la ciudad tiene 6,0994,183 habitantes en unos 1,200 km².

ENERGÍA	AGUA	ALIMENTOS
<p>En 2010 el consumo eléctrico total del municipio fue de 14,511,867 MW/h o de 191.3 kWh/per capita/mes. El consumo de gas fue de 165,049 millones de m³, el cual fue en 2/3 partes utilizado por el sector residencial y el restante por el comercial (www.armazemdedados.rio.rj.gov.br).</p>	<p>La producción de agua en 2008 fue de 1,085,300 mil m³/año ó de 2877120 m³/día. Ello requirió un consumo energético, incluyendo tratamiento, de 949,443 MWh (armazemdedados.rio.rj.gov.br). Datos de 2004 precisan que en promedio el consumo percapita fue de 226 litros per capita (www.snis.gov.br). Al ser un consumo mayor que Sao Paulo, se puede observar la importante huella hídrica que tiene el turismo.</p> <p>La red de distribución tiene una extensión de 9,200 km. El agua perdida por fugas para 2004 fue de 1,545 millones de litros al día (Ibid).</p>	<p>El consumo nacional para 2007 se estimó en 729 kg/hab/año (http://faostat.fao.org). Esto significa que la zona metropolitana de Rio de Janeiro requiere un flujo de alimentos anual de aproximadamente 8.01 millones de toneladas. Debe notarse que al igual que México, el consumo de carne y derivados, aceites y grasas animales y lácteos representa casi la tercera parte de los alimentos en términos de peso (30.9%).</p> <p>Considerando datos de FAO, se estima que el abastecimiento de carne, leche y huevo de la zona metropolitana implica una emisión de 11.69 millones de toneladas de CO₂e (Delgado, 2012A).</p>
GEI	AGUAS RESIDUALES	RESIDUOS SOLIDOS
<p>Sólo la ciudad contribuyó en 2005 con 11.3 mil 1Gg de CO₂eq. La emisión per cápita, de 1.9 toneladas de CO₂eq, coloca a Río muy por debajo de otras ciudades pues la media europea es de 11 ton de CO₂ eq y la de EUA es de 23.4 ton de CO₂eq (Moreira et al, 2010).</p> <p>El sector que más contribuyó fue el de "energía" con 64% del total de emisiones ó 8,465 GgCO₂eq. En ese rubro el subsector transporte representó el 41.3%; el subsector de la industria sumó 10% de las emisiones; el residencial + comercial el 8.4% y el público 2.7%. El sector de residuos acumuló 31.5% de las emisiones de CO₂eq (siendo 95% de esos gases metano). El sector de producción industrial 3% (siendo la industria de aluminio, acero y metanol los mayores emisores). La agroindustria sumó menos del 2% del total (Ibid).</p> <p>Datos para la zona metropolitana precisan una emisión total de 19.74 millones de toneladas de CO₂eq, de las cuales 41.4% fueron emitidas por el sector transporte; 13.4% por el industrial; 12.7% por el sector energía; 17% por el residencial; 9.1% por el comercial; 4.9% por el público y 1.6% por la agroindustria (Lèbre, 2007).</p>	<p>En 2008 se recogieron 378,348,000 m³ de aguas residuales de las cuales se trataron el 85%.</p> <p>La red de drenaje urbano tiene una extensión de 7,249 km. La red de cloacas cubre 4,308 km de longitud.</p>	<p>Los 14 municipios que comprenden Río de Janeiro registran una emisión de residuos de 1.31kg/habitante/día, esto es ligeramente por encima del máximo extremo de la media nacional que va de un rango 0.75 kg/hab/día a 1.26kg/hab/día. La población atendida declarada es sólo de 6.1 millones de habitantes (SNIS, 2010).</p> <p>En 2008 Río de Janeiro generó 11,167 toneladas diarias ó 3.53 millones de toneladas. De éstas 1.95 fueron residenciales y el resto de tipo público, lo que ilustra -entre otros factores- el peso que tiene el turismo en este flujo de salida.</p> <p>El sistema de procesamiento está constituido por 54 unidades. Del total de basura, se recuperó en 2008 sólo 8,400 toneladas o el 0.23% del total de residuos sólidos. De éstos el 31% fue papel y cartón; 54.7% plásticos; 7.5% metales; 4% vidrio y el resto otro tipo de residuos (Ibid).</p>

4. SAO PAULO

Tiene 11 millones de habitantes en 1,522 km². Considerando su zona metropolitana, la población aumenta a 20 millones en una superficie total de 8 mil km², no obstante, la urbanización es prácticamente continua, al incluir la región metropolitana de la Bajada Santista y la región metropolitana de Campiñas. En conjunto suman más de 24 millones de habitantes en alrededor de 14 mil km².

ENERGÍA	AGUA	ALIMENTOS
<p>El consumo eléctrico, basado completamente en hidroelectricidad, asciende para la región metropolitana a 35.3 millones de MWh ó el 17% del consumo nacional (Nobre y Young, 2011).</p>	<p>La capacidad de producción se estimó para 2007 en 71.6 m³ (Whately y Toledo, 2009). El 75% del agua se produce en los sistemas Cantareira, Guarapiranga/ Taquacetuba y Río Grande/Billings. El restante proviene en 21% Del sistema Alto Tiete y Río Claro, así como de otras fuentes (Ibid). En 2006 se produjo una media de 5.7 mil millones de litros al día o 66m³/s, esto es el equivalente a 290 litros per capita al día (Ibid), aunque debido al alto grado de fugas, se estima un consumo real de 191 litros hab/día para la zona metropolitana (Ibid). Debe notarse que el 14% del agua es consumida por asentamientos irregulares, mismos que concentran el 30% de la población (Nobre y Young, 2011). La red de distribución tiene una extensión de 31,500 km y cuenta con 6 centrales de control sanitario.</p>	<p>Con base en las estimaciones nacionales presentadas en el caso de Río de Janeiro (arriba), la zona metropolitana de Sao Paulo requiere un flujo de alimentos anual de al menos 14.57 millones de toneladas.</p> <p>Considerando la media nacional de consumo de carne, leche y huevo, según FAOSTAT, se estima que el consumo de esos productos para la zona metropolitana implica una emisión de 21.25 millones de toneladas de CO₂e.</p>
GEI	AGUAS RESIDUALES	RESIDUOS SOLIDOS
<p>Las emisiones en 2003 se calculan en 15.7 mil Gg de CO₂e: 54.7% atribuibles al sector transporte, 23.5% a residuos y 8.4% a la generación eléctrica. La emisión per capita se estima así en torno a 1.5 ton de CO₂e/año (UN-Habitat, 2011).</p> <p>Debe notarse que el uso de energía en los diversos sectores es responsable de hasta ¾ partes de las emisiones (de éstas, 68% por quema de gasolinas y diesel), mientras que la disposición de residuos un 22% de las mismas.</p> <p>Para toda la región metropolitana, la emisión de GEI del parque automotor (de unos 4.7 millones de unidades) se calcula en 2,4 millones de ton/año y la de contaminantes atmosféricos en el orden del 40% del total de éstos (Nobre y Young, 2011). Por su parte, las 40 mil industrias presentes en la región metropolitana emiten el 10% de contaminantes atmosféricos y el 67% de las emisiones de SO₂ (Ibid).</p> <p>Vale agregar que hay casi 4 millones de viviendas particulares de las cuales, 350 mil están desocupadas aspecto que indica que hay un importante stock material-energético urbano en desuso pero que continua su dinámica entrópica (lo que constituye estrictamente un desperdicio de recursos) (www.ibge.gov.br/cidadesat).</p>	<p>Datos de 2006 indican una recolección de aguas residuales del orden de 15.4 m³/s para la ciudad de Sao Paulo y de 25.4 m³/s para la zona metropolitana.</p> <p>La red de drenaje metropolitana tiene una extensión de poco más de 22 mil km cubriendo el 77% de los habitantes y el 80% de las aguas residuales (Whately y Toledo, 2009).</p> <p>Se trata casi el 70% del agua residual en una red de 28 estaciones de tratamiento (www.site.sabesp.com.br/site/default.aspx).</p>	<p>Los 47 municipios de Sao Paulo registran un índice de 0.95kg/habitante/día de residuos sólidos generados. La población atendida declarada es de 11 millones de habitantes.</p> <p>En 2008 Sao Paulo generó 4.07 millones de toneladas (3.49 de tipo residencial) ó 11,167 toneladas diarias (SNIS, 2010).</p> <p>El sistema de procesamiento está constituido por 216 unidades. Del total de basura, se recuperó en 2008 sólo 28,674 toneladas o el 0.70% del total de residuos sólidos. De éstos, de 50% fue papel y cartón; 28% plásticos; 7% metales; y 15% vidrio (Ibid)</p>

3. Los planes de acción frente al cambio climático en las megaurbes latinoamericanas

Las cuatro megaciudades latinoamericanas en revisión cuentan con legislación y planes de

acción de cambio climático. En todas prioritariamente se atiende hasta el momento el aspecto de mitigación, aun dejando cuestiones de adaptación y vulnerabilidad en un segundo plano.

Tabla 2: Huella Ecológica y Biocapacidad – 2007 (hectáreas per capita). Fuente: WWF, 2010**Table 2:** Ecological Footprint and biocapacity - 2007 (hectares per capita). Source: WWF, 2010

	HUELLA ECOLÓGICA	BIOCAPACIDAD
Global	2.7	1.8
Argentina	2.5	7.5
Brasil	2.9	9
México	3	1.5

Así, mientras en México se valoran y monitorean algunas cuestiones de adaptación a modo de consolidar una agenda concreta para los próximos años, en Sao Paulo recientemente se cuenta con una evaluación sobre las vulnerabilidades actuales y futuras donde se considera un avance de la mancha urbana de 38% sólo al 2030 (Nobre y Young, 2011). En todos los casos sin embargo, el cruce de la agenda de prevención de desastres-adaptación con la de mitigación sigue siendo en la práctica limitado.

Aunque todos los gobiernos han impulsado acciones similares desde diversos niveles y espacios de la estructura de gobierno (en México se hace desde una dirección dentro de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, mientras que en Buenos Aires se han impulsado desde una gerencia operativa¹⁰ dentro de la Dirección General de Estrategias Ambientales de la Agencia de Protección Ambiental del Ministerio de Ambiente y Espacio Público), es llamativo que ninguna metrópoli haya destinado hasta el momento un presupuesto propio al tema de cambio climático, sea por medio de un fondo especial o por la vía del etiquetamiento de una parte de los recursos destinados a las diversas secretarías o ministerios que atienden desde cuestiones de transporte hasta las de salud, y ello no necesariamente desde una orientación climática, ya no se diga metabólica. Tal situación ha llevado a que las acciones frente al cambio climático se tengan que negociar políticamente de cara a los intereses y dinámicas propias de cada secretaria o ministerio, incluso en medio de añejas y nuevas tensiones producto de las modalidades organizacionales existentes (incluyendo los sindicatos; caso claro por ejemplo de la Ciudad de México). Tal situación evidentemente facilita/limita, modela y/o subordina las acciones posibles.

Pese a todo, la ciudad de Buenos Aires logró

concretar en octubre de 2011 la Ley 3871 de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático (actualmente en proceso de reglamentación) y que tiene como antecedente la instalación en 2009 de un equipo interministerial de cambio climático y un consejo asesor externo (Decreto 137/09).

Como ha sido identificado, la actividad de mayor impacto climático es el consumo de energía, incluyendo el transporte y que en conjunto suman 89% de las emisiones del 2010. Debe advertirse que un primer inventario sobre las emisiones del 2008, informó que las emisiones de la ciudad eran de 15.6 mil Gg de CO₂e, no obstante, después de su revisión, la depuración de errores de doble contabilidad y actualización a 2010, el cálculo se ubica en 9,917 Gg de CO₂e (Fig. 2).¹¹

Por lo antes dicho, las metas puntuales de acción están en proceso de ajuste y su detalle no estará disponible hasta el cierre de 2012, no obstante, suponen conservar la meta de reducción del 30% de las emisiones al 2030.

Por lo pronto, vale mencionar que las medidas específicas contenidas en el “Plan de Acción de Cambio Climático de Buenos Aires 2030” se dividen en dos grandes sectores, el sector comunidad y el de gobierno. En el primero las acciones y alcances de mitigación potencial se presentan en tres rubros: uso de energía, transporte y residuos (Fig. 3A). En el segundo caso, los rubros son edificios y otras instalaciones, iluminación, señalización pública y transporte (Fig. 3B).

En todos los casos se precisan algunas acciones puntuales y potenciales de mitigación específicas que como se ha dicho están en proceso de revisión.

Las acciones en la Ciudad de México responden a las observaciones que ya verifican un cambio en el clima pues se constata un aumento de 66% en la precipitación durante el periodo 1877 – 2009, así como de la temperatura al pasar de 22°C a 24,3°C promedio. Asimismo, las emisiones de GEI registradas en la ZMVM han sido crecientes. En 2008 totalizaron 51,500 Gg de CO₂e (en 2006 se estimaban 43 mil Gg) y 1,671 toneladas de carbono negro, un contaminante con

¹⁰ Gerencia operativa de cambio climático y energía sustentable.

¹¹ Comunicación personal con Inés Lockhart de la gerencia operativa sobre cambio climático de la Dirección General de Estrategias Ambientales de la Agencia de Protección Ambiental del Ministerio de Ambiente y Espacio Público a quién se agradece la información proporcionada.

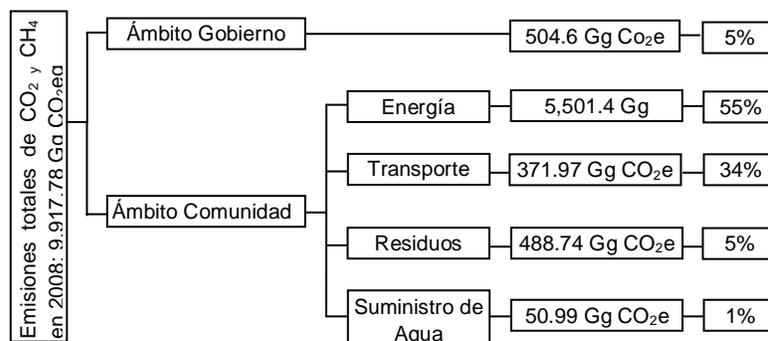


Figura 2: Emisiones de GEI de la ciudad de Buenos Aires – 2010. Fuente: Elaboración Propia

Figure 2: GHG emissions from the city of Buenos Aires - 2010. Source: Own Elaboration

Nota: las emisiones del Ámbito Gobierno incluyen aquellas del sector de Alumbrado Público y Semaforización, Edificios Públicos y Flota de Vehículos.

importante potencial radiactivo y por tanto contribuyente al fenómeno de cambio del clima (SMA-GDF, 2010) (Fig. 4).

En respuesta a tal panorama y su más que probable agudización en el futuro inmediato, se diseñó en 2006 la estrategia local de acción climática, seguida en 2007 del denominado *Plan Verde*. Un año después se consolidaba el *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México* y para 2011 se aprobaba la *Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y de Desarrollo Sustentable del Distrito Federal*. Una de las cuestiones importantes de esta Ley es que obliga a los nuevos gobiernos locales a diseñar su plan de acción frente al cambio climático en un lapso no mayor a 1.5 años una vez comenzada la gestión (de 6 años), garantizando así cierta continuidad. No obstante, debe señalarse que tales pasos no han sido acompañados por otros similares en el resto de la zona metropolitana, esto es por parte de los 59 municipios del Estado de México y a los que habría también que sumar, en principio, algunos municipios más del Estado de Hidalgo.

El programa de acción actual (2008 - 2012) fijó la reducción de más de 7 millones de de CO₂e, pero también desarrollar y poner en pleno funcionamiento un plan de adaptación antes de su término. Las medidas de mitigación comprenden 26 acciones en energía, agua, transporte y residuos, mientras que las de adaptación incluyen un sistema de alerta temprana, respuesta de mediano plazo y acciones de educación y comunicación (Fig. 5A y 5B).

Al año 2011 el gobierno de la ciudad aseguró que ya había reducido 5.7 millones de toneladas de CO₂e (SMA-GDF, 2011),

prácticamente la meta fijada que, pese a todo, sólo representa el 2,75% de las emisiones de la zona metropolitana de 2008 a 2012 si asumimos que las emisiones informadas para 2008 se mantienen constantes hasta 2012.

En el caso del municipio de Rio de Janeiro, la Ley 5.248 del 2011 estableció la política sobre cambio climático y desarrollo sustentable, misma que fue acompañada por un Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de GEI de la Ciudad de Río de Janeiro.

Debe anotarse como antecedente la elaboración del inventario de emisiones de 2007, mismo que precisa que las emisiones totales para el año de 2005 fueron del orden de 11.3 Gg de CO₂e (Fig. 6).

El plan de acción para Rio de Janeiro se divide en tres escenarios, el escenario A es la línea base o la proyección "*business as usual*" a 2025 (con una estimación de emisiones para ese año de 18,2 Gg de CO₂e).

El escenario B incorpora ciertas acciones de mitigación que reducirían las emisiones en 11.8% con respecto al escenario A (situando las emisiones en 16.1 Gg de CO₂e) y el escenario C comprende acciones a mediano plazo que dependen, entre otras cuestiones, del avance tecnológico (Fig. 7A y 7B). Al considerar agricultura, bosque y otros usos de suelo, residuos sólidos urbanos, aguas residuales domésticas y comerciales y efluentes industriales, el escenario C estima un potencial de reducción de emisiones en el rango del 17.5% con respecto a la línea base, logrando así una emisión total de 15 mil Gg de CO₂e para 2025 (Tabla 3).

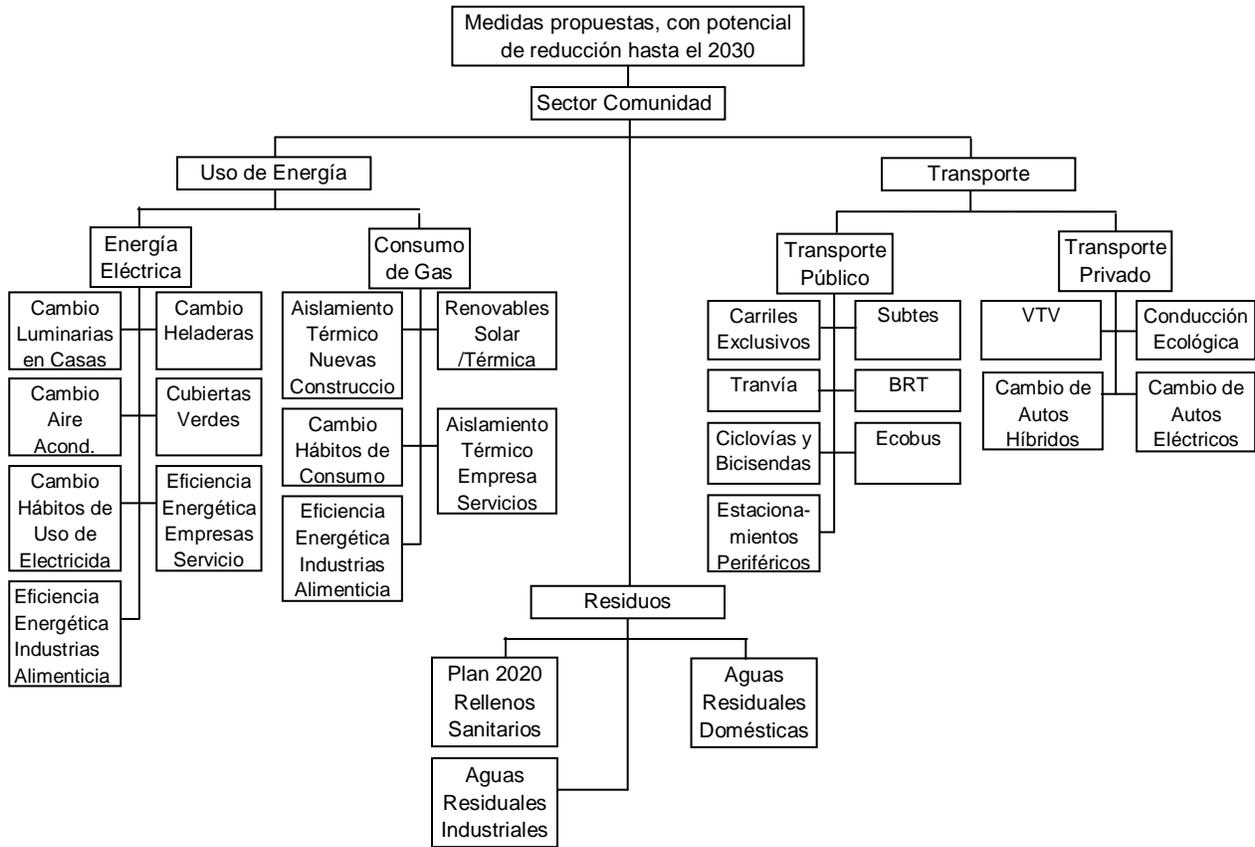


Figura 3A: Acciones identificadas en el denominado sector comunidad - ciudad de Buenos Aires. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 3A: Identified actions for the so-called community area - city of Buenos Aires. Source: Own Elaboration

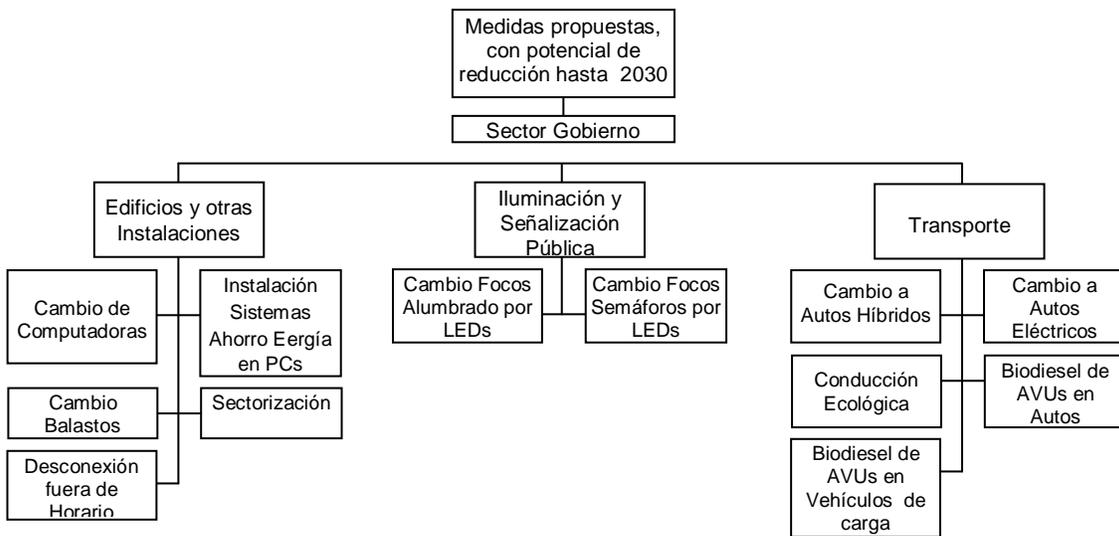


Figura 3B: Acciones identificadas en el sector gobierno - ciudad de Buenos Aires. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 3B: Identified actions in the governmental area - city of Buenos Aires. Source: Own Elaboration.

Tabla 3: Reducción de emisiones de GEI previstas en los escenarios B y C para la ciudad de Rio de Janeiro con relación a las emisiones del año 2005 en Gg CO₂eq. Fuente: SMMA, 2011

Table 3: Reduction of GHG emissions under scenarios B and C for the city of Rio de Janeiro relative to 2005 emissions in Gg CO₂eq. Source: SMMA, 2011

METAS DE REDUCCIÓN	2012	%	2016	%	2020	%
Meta de reducción- relativa a las emisiones de GEI en 2005	908.1	8	1,816.3	16	2,270.3	20
Reducción de emisiones escenario B en relación emisiones 2005	1,102.4	9.7	1,972.0	17.4	2,080.8	18.3
Reducción de emisiones escenario C en relación emisiones 2005	1,586.6	14.0	2,647.8	23.3	3,001.0	26.4



Figura 4: Emisiones GEI de la ZMVM 2008. Fuente: Elaboración Propia

Figure 4: GHG emissions of Mexico City metropolitan area - 2008. Source: Own Elaboration

En el caso de la zona metropolitana de Sao Paulo, el marco legal de referencia es la *Ley 14.933* de 2009 en la que se establece como meta al 2012 la reducción de emisiones de GEI en un 30%, momento en el que cabe precisar, ya se tenían en marcha la implementación de dos proyectos para la producción de energía eléctrica mediante la quema de biogás que representaban el 12% de tales ahorros.¹²

La ciudad cuenta con un inventario de emisiones de 2005 con datos correspondientes al año 2003, momento en el que se estima se emitieron unos 15.7 mil Gg de CO₂e (Fig. 8). A finales de 2012 se esperaría la actualización de tal inventario.

Llama la atención que pese a las metas fijadas, la ciudad de São Paulo no publicara sino hasta mayo de 2011 el documento "*Diretrizes para o plano de ação da cidade de São Paulo para mitigação e adaptação às mudanças climáticas*". Ahí se describen algunas acciones específicas que en efecto ya se están realizando, así como otras posibles para el corto y mediano plazos. Los aspectos cubren alerta y mitigación

¹² Dos proyectos fueron impulsados: Bandeirantes y Sao Joao, mismo que producen en una planta de 50 Mw, energía suficiente para unas 700 mil personas.

de daños por desastres naturales, transporte, energía, construcción, uso de suelo, residuos sólidos, salud, educación y comunicación e instrumentos económicos (Fig. 9). La limitante de este pronunciamiento es que las acciones futuras figuran sólo como potenciales propuestas y por ello no hay una estimación detallada de las emisiones que se esperan reducir, de ahí que tampoco se sepa con certeza cuáles se llevarían efectivamente a cabo.

4. Balance comparativo de flujos metabólicos y planes de acción del clima

Como se ha mostrado todas las megaciudades latinoamericanas enfrentan grandes retos asociados a la obtención de energía, sobre todo de aquella destinada al transporte. En un segundo plano ello también sucede en el caso de la energía requerida para la generación de electricidad (que ciertamente precisa ser obtenida --en forma centralizada y descentraliza- a partir de fuentes no fósiles y lo menos contaminantes posible, reto mayor para la Ciudad de México y Buenos Aires).

El sector transporte, esencialmente centrado en el automóvil privado, es sin duda alguna la mayor prioridad para todos los casos aquí revisados. Soluciones como la renovación del parque vehicular (dígase taxis), la ampliación de la infraestructura vial o el cuestionado uso de biocombustibles¹³ son soluciones parciales y de corto plazo que no implican por sí mismas un cambio progresivo hacia otras formas de transporte, menos aún de nociones de movilidad. En ese sentido, los avances tendrán que gestarse en el marco de un cambio de paradigma de la movilidad urbana, hacia uno más integrado, eficiente, de tipo masivo, pero también no motorizado y vinculado al uso mixto del suelo y a

¹³ IPCC, 2012; Giampietro y Mayumi, 2009; Pimentel y Patzek, 2005; entre otros.

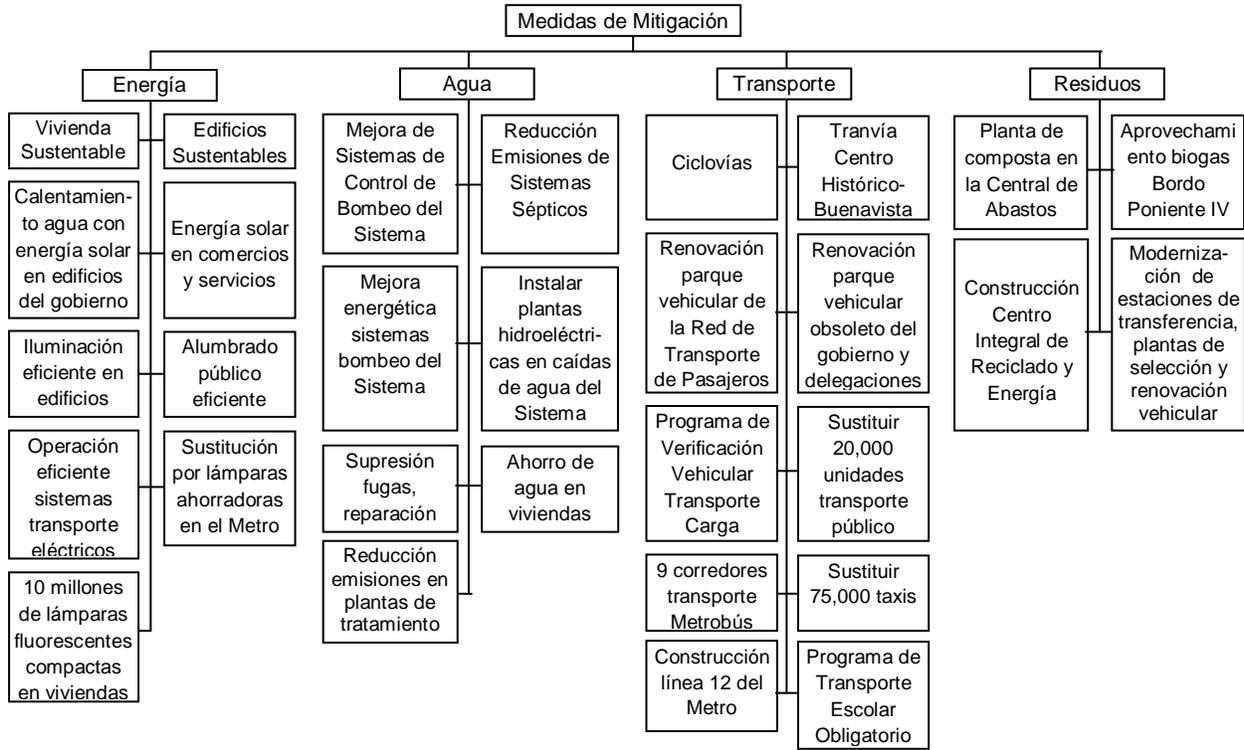


Figura 5A: Medidas de mitigación de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 5A: Mitigation measures of Mexico City. Source: Own Elaboration

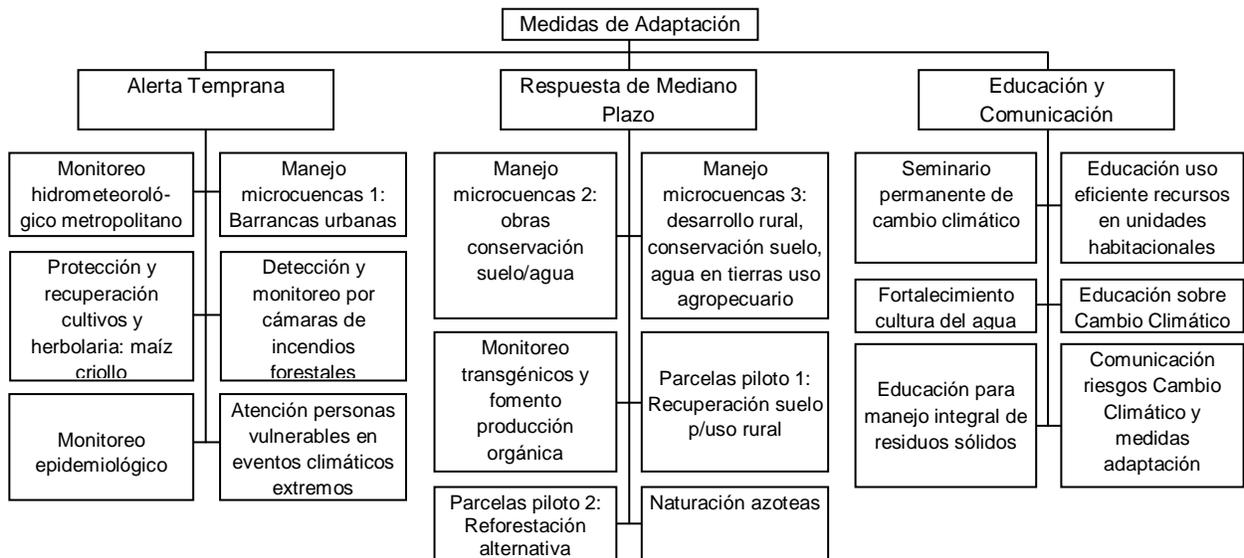


Figura 5B: Medidas de adaptación de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 5B: Adaptation measures of Mexico City. Source: Own Elaboration

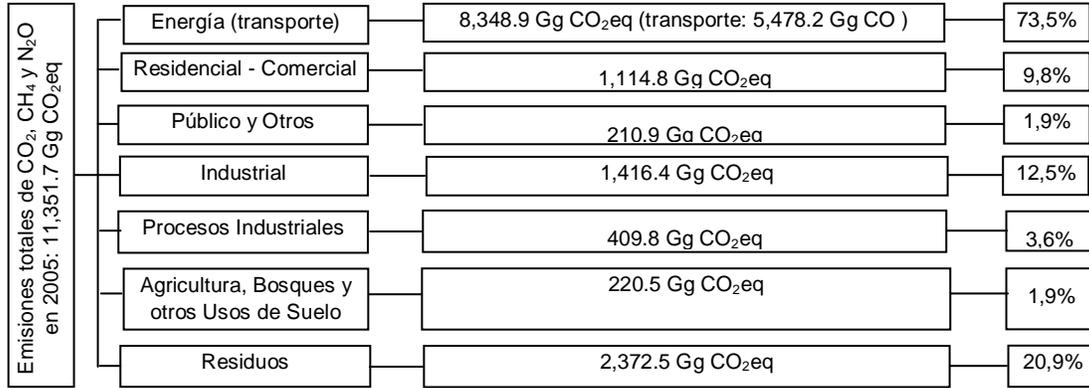


Figura 6: Emisiones GEI de la zona metropolitana de Río de Janeiro – 2005. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 6: GHG emissions of Rio de Janeiro metropolitan area – 2005. Source: Own Elaboration

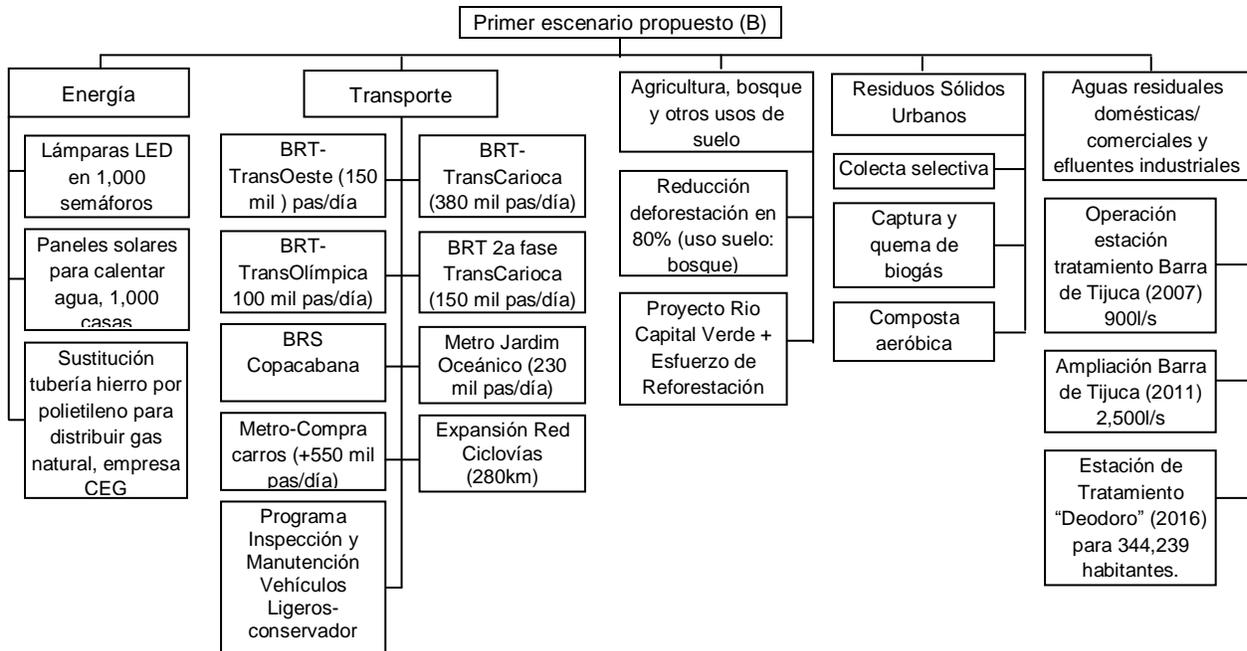


Figura 7A: Acciones de reducción de emisiones en Río de Janeiro (escenario B). Fuente: Elaboración Propia
Figure 7A: Actions to reduce emissions in Rio de Janeiro (scenario B). Source: Own Elaboration

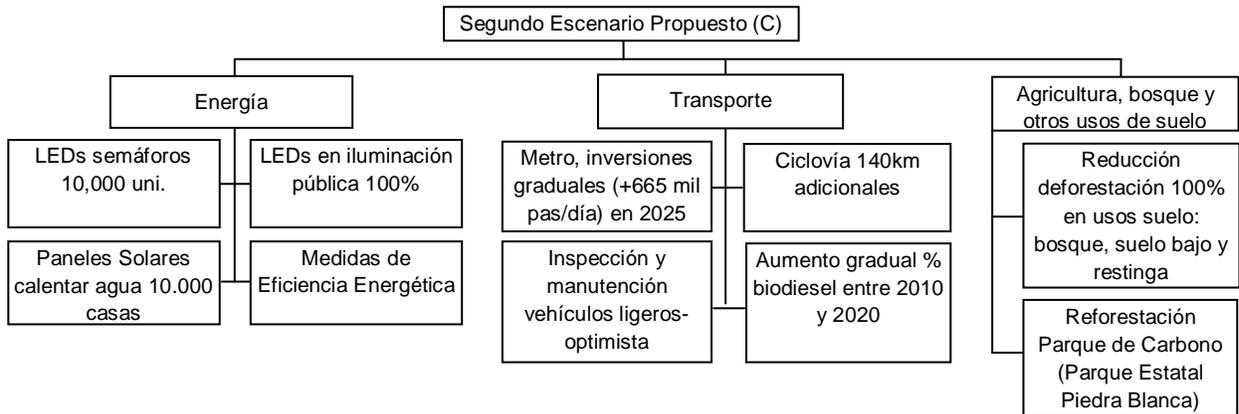


Figura 7B: Acciones de reducción de emisiones en Río de Janeiro (escenario C). Fuente: Elaboración Propia.
Figure 7B: Actions to reduce emissions in Rio de Janeiro (scenario C). Source: Own Elaboration

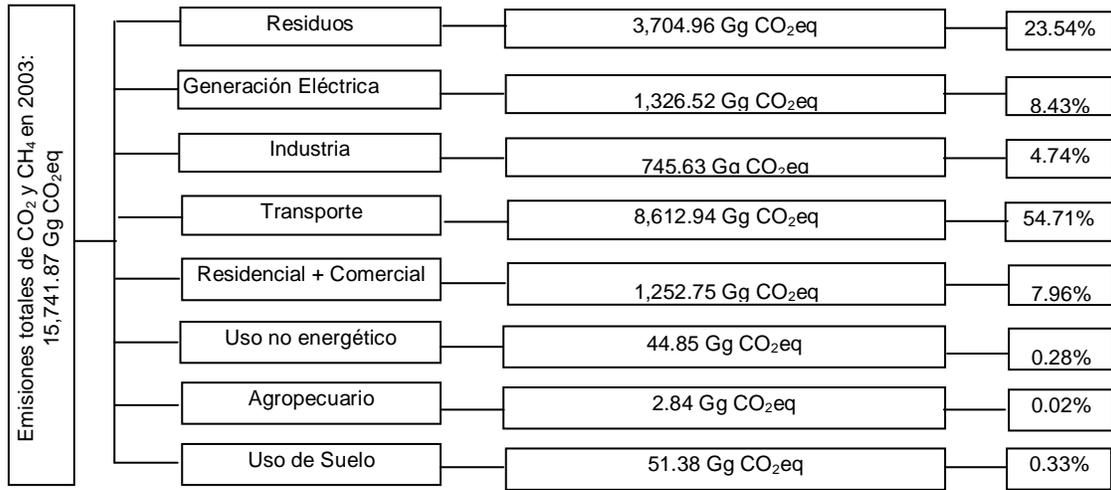


Figura 8: Emisiones GEI de Sao Paulo – 2003. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 8: GHG emissions of Sao Paulo – 2003. Source: Own Elaboration

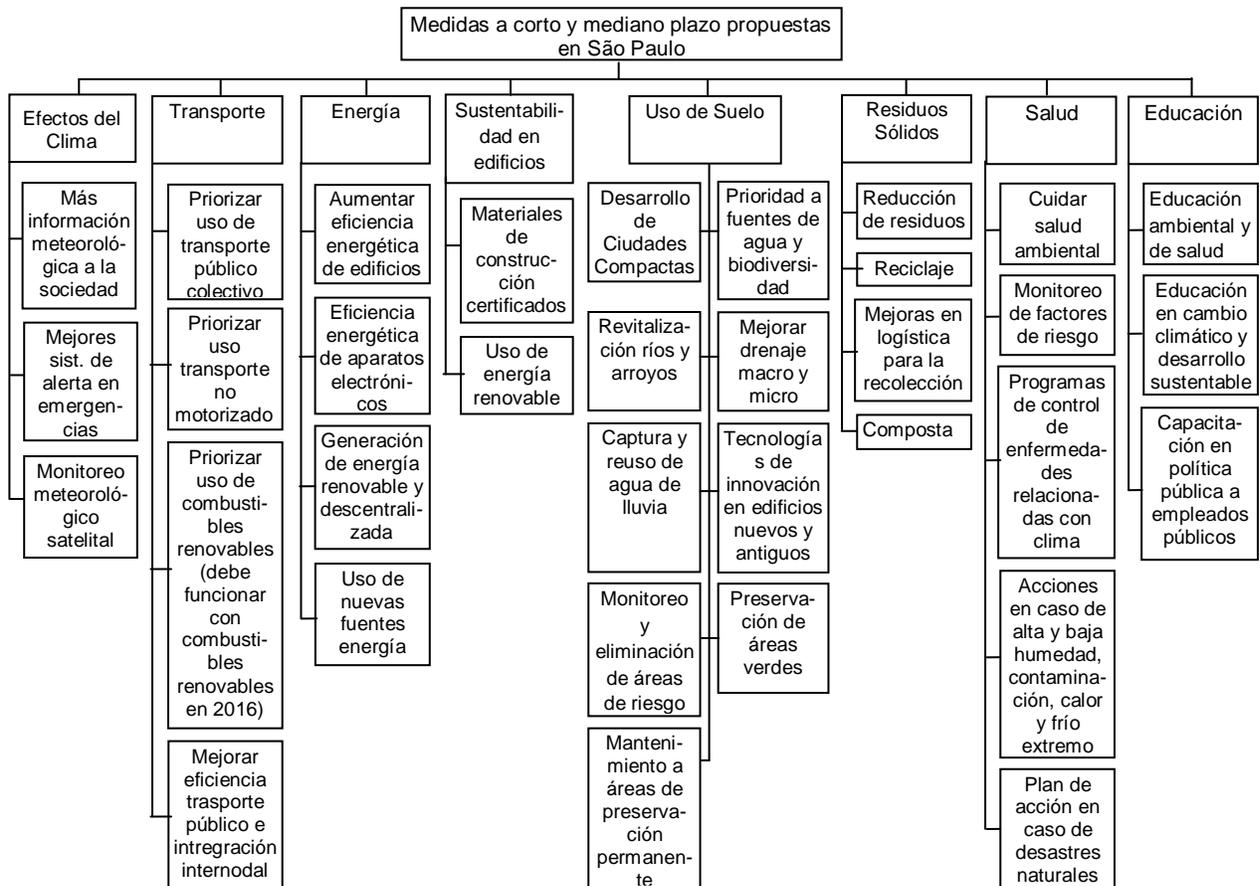


Figura 9: Acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático – ciudad de Sao Paulo. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 9: Climate change mitigation and adaptation actions – city of Sao Paulo. Source: Own Elaboration

procesos de re-densificación, entre otras cuestiones (Delgado, 2012B).

Como en el caso de la generación de residuos, uno de los principales retos es la disminución de los patrones de consumo de tal suerte que la principal medida de mitigación sean emisiones evitadas y residuos no generados. En cualquier caso, la gestión de residuos requerirá aumentar el potencial de re-uso y reciclaje, lo que implica cambios en el propio diseño y fabricación de las mercancías, pero también de la propia infraestructura urbana. Ello ha de acompañarse de la promoción de iniciativas de gestión, re-uso y reciclaje a diversas escalas, incluyendo la generación de biogás para la producción de energía eléctrica. Dicho reto, del manejo y gestión integral de residuos, es importante especialmente para el caso de la Ciudad de México y Sao Paulo, no sólo en términos climáticos sino ambientales (esto último debido al gran volumen generado).

En lo que respecta a los flujos de entrada de agua, se observa una disponibilidad del líquido relativamente segura para las ciudades estudiadas con excepción de la zona metropolitana de la Ciudad de México que ya se encuentra en un estado de alto estrés hídrico (González, 2011). La cuestión de la calidad del líquido en cambio, sí es en diversos grados una variable que requerirá aún más atención, sobre todo en la zona metropolitana de la Ciudad de México, al igual que en la de Buenos Aires.

Mientras las aguas residuales son en su mayor parte tratadas en las dos megaciudades brasileñas estudiadas (al menos en un cierto grado), este no es el caso de Buenos Aires y la zona metropolitana de la Ciudad de México, por lo que ahí se requiere implementar acciones crecientes en dicho rubro. Aún más, para la zona metropolitana de la Ciudad de México, donde el grueso del abastecimiento proviene de los mantos freáticos, resulta clave reinyectar el líquido al subsuelo al tiempo que se exploran acciones para, por lo menos, conservar la actual capacidad de infiltración, sobre todo del suelo de conservación. Por otro lado, vale precisar que las medidas dentro de los planes de acción climática asociadas a la operación del sistema de distribución, potabilización y eventual tratamiento de aguas residuales, aunque presentes, aún tienen un rol relativamente limitado, sobre todo en la Ciudad de México y Buenos Aires, de ahí que sea claramente un área de oportunidad para la mitigación.

En el caso de los alimentos, los planes de acción frente al cambio climático no consideran variable alguna, lo cual tiene explicación en el hecho de que tales planes están centrando su atención en la mitigación de emisiones directas de GEI dentro de los sistemas urbanos; esto es, dejando fuera todas las implicaciones ambientales y climáticas que se producen más allá de sus fronteras y que sin embargo se asocian a la satisfacción de sus demandas. Por tanto, una revisión más amplia e íntegra de los planes de acción climáticos (y ambientales) tendría idealmente que dar cuenta de tal situación.

Las estimaciones de los flujos de alimentos aquí presentadas permiten apreciar el fuerte impacto climático de la dieta argentina, seguida por la brasileña, en tanto su alto contenido cárnico y de lácteos. Un potencial de mitigación del clima pero también medioambiental se puede dar entonces a partir de cambios en los patrones de las dietas y en la promoción de una agricultura local-nacional que posibilite reducir las distancias de transporte y almacenamiento de al menos los principales alimentos.

El giro hacia patrones de dieta de menor contenido cárnico, de derivados lácteos y de alimentos procesados (sobre todo enlatados y refrescos), es decir de aquellos alimentos de mayor intensidad energética e hídrica, tiene claros co-beneficios, no sólo climáticos y ambientales, sino también en términos de una mejora en la salud de la población, de ahí que pueda promoverse mediante campañas informativas y programas educativos que asocien dichas cuestiones.

5. Opciones frente al actual modelo urbano

De cara a las posibles implicaciones resultantes de mantener la actual tendencia metabólica de la humanidad, como se dijo ya mayoritariamente urbana, resulta pertinente recuperar los señalamientos de Newman et al (2009) acerca de la posibilidad de gestación de cuatro escenarios futuros para las ciudades: colapso, ruralización, división y ciudades resilientes.

Mientras los dos primeros son un tanto obvios, vale precisar que en el escenario de división, la población rica monopoliza los recursos y se aísla del resto de la ciudad en vecindarios autosuficientes, con energía renovable producida dentro o cerca de estos espacios que además son bien diseñados incluso en lo que se refiere a

espacios caminables y espacios sociales (Ibid). En este caso se habla propiamente de exclusivos eco-enclaves como lo son ciertamente el grueso de proyectos llevados a cabo por la corriente estadounidense del “nuevo urbanismo”, puesto que se trata de espacios económicamente accesibles para las clases con recursos y ciertamente viables detrás de rejas y sistemas de seguridad, pues como contraparte están las crecientes zonas de miseria. De advertirse es que esta tendencia de división ya se observa, a su modo, en toda América Latina en barrios de elite (convencionales o relativamente ecológicos). Además ya se nota una división acentuada incluso en zonas conurbanas donde se han construido enclaves enrejados de residencias de clase media-baja pero que están rodeados de zonas populares. El modelo pues se repite y fracciona urbanística y arquitectónicamente el tejido social en sus distintos niveles socioeconómicos. Y lo que más llama la atención de esta modalidad urbanística es que, al ser liderada esencialmente por el sector privado, las afectaciones ambientales y de desordenamiento territorial son mayores pues no hay una gestión integral de mediano-largo plazo del territorio, sino que esa responde en gran medida a la especulación de mercado. En Centro América esto es una realidad en tanto que el sector inmobiliario formal ya supera con creces el desorden territorial que genera por su parte la urbanización ilegal o urbanización de pobres y que suele posicionarse en territorios de conservación o vulnerables a fenómenos climáticos, i.e. deslaves, inundaciones, etcétera (Klaufus, 2010). En México lo que se registra ya desde hace algún tiempo es una tendencia creciente del desarrollo de ciudades dormitorio, esto es de asentamientos relativamente más económicos, localizados fuera de la ciudad y compuestos prácticamente por residencias que sólo son usadas para dormir pues el resto de actividades, tanto productivas como educativas y de ocio, sólo son factibles en la ciudad obligando al desplazamiento masivo hacia los centros urbanos durante las mañanas y en sentido inverso en las noches (Quiroga, 1981; Ziccardi, 1986; Vega, 1996; Cruz, 2000; Salinas, 2008) .

Se trata de un contexto en el que la perspectiva analítica de la ecología política urbana es de particular importancia pues atiende cuestiones como quién produce qué tipo de configuraciones socio-ecológicas y en particular qué tipo de condiciones energético-materiales urbanas, quién controla tales condiciones y a favor y en perjuicio de quién. Ello es relevante no

sólo por interés académico, o de mejor entendimiento de lo urbano sino como se ha señalado, en cuanto al diseño y aplicación de políticas públicas integrales, significativas y de largo aliento, que integren lo climático con lo ecológico y lo social.

Dichas configuraciones socio-ecológicas se gestan en contextos sociopolíticos concretos que promueven discursos y entendimientos puntuales a cerca de la naturaleza de lo urbano (Platt, Rowntree y Muick, 1994), por lo que es de notarse que usualmente no se tomen en cuenta las desigualdades sociales imperantes y sus causas, ni sus implicaciones y posibles soluciones de fondo. De ahí que entonces se observe una tensión entre propuestas urbanísticas excluyentes por un lado, y demandas de justicia social y de justicia ambiental producto de distribuciones desiguales de la riqueza y por ende de beneficios tecnológicos y de calidad de vida por otro. Ello no es menor pues el tipo de infraestructura, la forma o incluso la ausencia de ésta, tiene implicaciones diferenciadas no sólo en cuanto a la densidad poblacional y los tipos y cantidades de emisiones (y contaminantes)¹⁴, sino también de cara a los riesgos del cambio climático en tanto que provoca, en un grado u otro, una distribución desigual de potenciales impactos ocasionados por eventos extremos u otras manifestaciones del cambio del clima.

La planeación metabólica integral, como ya se ha descrito anteriormente, debe por tanto incluir en su diagnóstico y agenda de acciones, tanto cuestiones de mitigación como de adaptación (incluyendo la prevención de desastres en general) desde una perspectiva multi-escala y multi-dimensional (considerando cuestiones socioeconómicas, de género, etcétera). Se trata de un ejercicio que por supuesto debe reconocer los potenciales co-beneficios, producto de las acciones de adaptación y mitigación climática que produzcan beneficios cruzados, sean en relación con el cambio climático o relativos a la calidad de vida, el medio ambiente, el cuidado a la salud, la movilidad y accesibilidad, etcétera.

Apostar por espacios urbanos más sustentables (o resilientes, en palabras de

¹⁴ Por ejemplo no pocas veces los basureros a cielo abierto y los rellenos sanitarios se han emplazado en zonas de alta pobreza. La bibliografía sobre ecología política de la basura, y sobre todo de los residuos tóxicos, ha indagado extensamente los conflictos socio-ambientales vinculados a dicha realidad. Léase: Naguib, 2007; Peet, Robbins y Watts, 2011.

Newman et al., 2009) no significa que se abogue por la errónea idea de que son posibles los ordenamientos urbanos de impacto cero y que, en estricto sentido y termodinámicamente hablando, no pueden existir. Por tanto, lo más atinado es hablar de ciudades socialmente justas, que constantemente se planifiquen metabólicamente con visión de largo plazo en todas sus dimensiones y escalas. Lo dicho implica entonces que no puede haber recetas únicas sino múltiples y diversas posibilidades acordes a la realidad social, política, cultural y medioambiental de cada caso.

Hablar de modelos, por más complejos y dinámicos que sean, es arriesgado. No obstante, como se ha planteado previamente, sí se pueden apuntar ciertos elementos que en general tienden a ser un problema, al tiempo que se anotan algunas herramientas o mecanismos que bien podrían ser útiles.

Las ciudades resilientes o sustentables conforman entonces una propuesta que coincide en centrar su atención en componentes tales como el sistema de transporte público e integrado, el uso de la bicicleta y la movilidad y accesibilidad peatonal o por proximidad, ello puesto que se considera que el asunto de la movilidad condiciona en buena medida la geografía de viviendas y lugares de trabajo, el uso de energía, la calidad del aire, los niveles de ruido, y en sí, la calidad de vida.

La conformación de ciudades cada vez más policéntricas, multifuncionales, compactas (de alta densidad poblacional)¹⁵ y en donde la infraestructura, en particular los grandes edificios deberán ser evitados o renovados con eco-tecnologías dado que son responsables del 43% de las emisiones de CO₂ emitidas por tipo de construcción en la ciudad. Ello a pesar de que si bien las eco-tecnologías son útiles, éstas no necesariamente atienden el fondo del problema ambiental actual —incluyendo el cambio climático—, siendo ése más bien los ya mencionados patrones despilfarradores de consumo de una parte de la población.

¹⁵ Cálculos de HABITAT precisan que un incremento en la densidad de población implica un decremento de emisiones de monóxido de carbono de 1% - 0.7% (UN-HABITAT, 2011: 12). Tal factor positivo viene sin embargo acompañado de un aumento de la exposición a contaminantes debido a la mayor concentración de población en un mismo espacio, de ahí que la emisión de GEI no sea el único factor a considerar en la (re)formulación de los espacios urbanos, sino todo el espectro ambiental asociado a éstos.

Se apunta entonces a la necesidad de construir una visión de “urbanización sustentable” que posibilite una buena calidad de vida para la gran mayoría, alejándose de la planeación individualizada y en cambio considerando una de carácter integral, que permita reducir al máximo el consumo de materiales y energía del sistema, así como minimizar los efectos asociados y sinérgicos negativos. En relación a lo último se puede precisar el problema del efecto isla de calor producido por la asfaltización de los espacios urbanos y por un diseño arquitectónico cada vez más horizontal, un fenómeno que se ha reflejado en un aumento promedio de la temperatura de la ciudad de México en las últimas décadas en torno a 4° C, mientras que en Sao Paulo se registran puntos en los que la temperatura llega incluso a subir 9° C con respecto al lugar más fresco.¹⁶

Asimismo, se coincide en la necesidad de crear mayores espacios verdes (incluyendo vías verdes y azoteas o tejados verdes); de promover el uso racional del agua (ahorro, re-uso y aprovechamiento) así como la protección y rescate de suelos de conservación; de incentivar la producción (cooperativa) de alimentos en espacios conurbanos y semi-rurales o de aquellos intermedios que se podrían denominar como “rurbia” (si se enfoca la producción para la ciudad, se reduce, al menos parcialmente, el kilometraje detrás de la comida y se cierran parcialmente los ciclos de los nutrientes como el fósforo y el nitrógeno); de reducir los residuos, mejorar su manejo y aumentar su re-uso y reciclaje; así como de atacar el problema energético a fondo en los rubros más devoradores de la misma.

En concreto un nuevo marco legislativo implica que los gobiernos locales necesitarán formular e implementar estrategias integradas de flujo de recursos sobre la base de nuevas estructuras organizativas y de gobierno, así como de nuevas herramientas y métodos de planeación, por ejemplo, que permitan mapear de modo temporalmente dinámico los flujos de recursos de la ciudad y la región (Newman et al.,

¹⁶ Se estima que una hectárea urbanizada consume mil veces más energía que una área equivalente de tipo rural. El calor, polvo y otros contaminantes hacen que el clima de las ciudades sea distinto: más caliente. La isla de calor se origina por el extenso entramado de cemento y asfalto de los espacios urbanos, mismo que absorbe 10% más de energía solar que un suelo provisto de vegetación. Las calles estrechas con respecto al tamaño de las edificaciones aumenta la reflexión solar y limita la velocidad del viento, incrementándose como consecuencia la temperatura. En total, el calor de origen antrópico en las ciudades se calcula entre 10 y 20 vatios por metro cuadrado (Bettini, 1998: 115).

2009). En tal sentido, el estudio serio y sistematizado de flujos metabólicos se tendría que convertir progresivamente en un estándar de la planeación integral urbana sin que ello signifique que los indicadores tradicionales dejen de ser útiles.

Conclusiones

Las capacidades de adaptación y mitigación de los espacios urbanos de países ricos son incomparablemente mayores a las de los países pobres; lo mismo aplica en términos de sustentabilidad. Y es que no sólo cuentan con mayores medios económicos, sino que además se pueden permitir “exportar”, o internacionalizar, muchos de los costos ambientales y climáticos ocultos o indirectos (ello pese a que todas las ciudades lo hacen en una u otra medida).

En contraste, la cuestión urbana en países pobres, como los latinoamericanos, tiende a ser más problemática y compleja dada la limitada o comprometida capacidad de toma de medidas y acciones. Los medios económicos son restrictivos y las condiciones políticas altamente complejas y deficientes, al menos comparativamente hablando. Se trata de un escenario en donde además, la variable de la pobreza, sobre todo en los cinturones de miseria, pero también de las zonas rurales de la ciudad, representa un enorme reto para cualquier tipo de reconfiguración de lo urbano.

Ante la creciente urbanización de la sociedad del siglo XXI tanto en países ricos como pobres, pero sobre todo en esos últimos, la construcción de soluciones o incluso de medidas efectivas de adaptación-mitigación, debería tender a la toma de decisiones que busquen la construcción de otras modalidades de desarrollo con toda su complejidad y pluralidad; esto es, de aquel más humano, ambientalmente armónico y culturalmente diverso.

La idea que aboga por más desarrollo económico como la única plataforma para la toma de acciones contra los impactos ambientales del megaurbanismo contemporáneo se considera errada puesto que es comprobable que más desarrollo económico implica más consumo de recursos y más afectación ambiental sin que necesaria y automáticamente ello signifique mejora alguna para el grueso de la población. En el mismo tenor, debe tenerse claro que consumir mucha y cada vez más energía no es un prerrequisito para el bienestar social (aunque sí una necesidad, hasta un cierto punto).

Otros tipos de desarrollo y que no necesariamente generarían más riqueza económica pero sí material, humana y ambiental, deberán, en síntesis, construirse desde un replanteamiento a fondo del sistema de producción, distribución y consumo imperante, y tomando nota de la diversidad y complejidad de lo local, lo que incluye por supuesto, relaciones con lo regional y lo global. No se trata de abrigar un romanticismo por el pasado, que además desembocó en el actual estado de situación, más bien se trata de una apuesta por un futuro para la vida, para el bien común de la humanidad, que hace uso de aquellos avances científico-tecnológicos de frontera útiles, pero también de los conocimientos y tecnologías locales/tradicionales con el objeto de construir otros desarrollos de largo aliento.

En tal sentido, las alternativas se visualizan, desde su aspecto económico-biológico como sistemas abiertos a la entrada de energía y materiales y a la salida de residuos y calor disipado. Por el lado social-político-cultural, como aquellos que se construyen —en armonía con la naturaleza— desde la perspectiva de la vida de todos y cada uno de sus individuos; que consideran desde la colectividad y desde la autonomía de los pueblos, la complejidad de los contextos de cada espacio o región; y que aprovechan y conservan la diversidad y riqueza cultural y de conocimientos ahí existentes.

Agradecimientos

Se agradece al Programa de Investigación en Cambio Climático y al Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM, su apoyo a través del proyecto de investigación CEIICH-PINCC sobre “Valoración del metabolismo urbano en la Ciudad de México y sus impactos socioeconómicos frente al cambio climático”.

Referencias bibliográficas

- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. Buenos Aires frente al Cambio Climático. Buenos Aires, Argentina, Ministerio de Ambiente y Espacio Público, 2011. 71p.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. Plan de Acción de Cambio climático de Buenos Aires 2030. Buenos Aires, Argentina, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009.
- BAKER, L. HOPE, D; XU, Y; EDMONDS, J. y LAUVER L. Nitrogen balance for the Central Arizona-Phoenix (CAP) ecosystem, *Ecosystems* 4: 582-602, 2001.

- BANCO MUNDIAL. Private Housing Finance Markets Strengthening Project. Reporte N°. 45818-MX. Washington DC, EEUU. 2008.
- BARLES, S. Urban Metabolism of Paris and Its Region. *Journal of Industrial Ecology* 13(6):898-913, 2009.
- BARLES, S. Feeding the city: food consumption and flow of nitrogen. Paris 1801–1914. *Science of the Total Environment* 375(1-3):48-58, 2007.
- BETTINI, V. Elementos de ecología urbana. Madrid, España, Trotta, 1998. 400p.
- BOLAY, JC. Slums and Urban Development: Questions on Society and Globalisation. *The European Journal of Development Research*, 18(2):284-298, 2006.
- BOYDEN, S; Millar, S; Newcombe, K. J; y O'Neill, B. The ecology of a City and its People: the case of Hong Kong. Canberra, Australia, Australian National University Press, 1981. 437p.
- COLON, M. FAWCETT, B. Community based household waste management: lessons learnt from EXNORA's waste management scheme in tow South Indian cities. *Habitat International* 30(4):916-931, 2006.
- CRUZ, MS. Periferia y suelo urbano en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Sociológica* 42:59-90, 2000.
- DAVIS, M. Planet of Slums. London-Nueva York, Versus. 2006. 228p.
- DAVIS, SJ. CALDEIRA, K. y MATTHEWS, D. Future CO2 Emissions and Climate Change from Existing Energy Infrastructure. *Science* 329 (5997): 1330-1333, 2010.
- DELGADO, GC. Metabolismo urbano y transporte en su: Transporte, ciudad y cambio climático. México. CEIICH, UNAM. A ser publicado en 2012 (B).
- DELGADO, GC. Cambio climático y la alimentación de las ciudades. *Revista Investigación Ambiental*. Ciencia y Política Pública. Instituto Nacional de Ecología. México. A ser publicado en 2012(A)
- DELUCCHI, M (coord.). Capacidad de soporte de población y actividades por parte de los servicios urbanos en Buenos Aires. Plan Urbano Ambiental. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Argentina. Sin fecha.
- DÍAZ, CJ. Metabolismo de la Ciudad de Bogotá: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana. Tesis (Magister en Medio Ambiente y Desarrollo). Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), 2011.
- DODMAN, D. Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment & Urbanization* 21: 185-201, 2009.
- EDENHOFER, PICHES y SOKONA (ed). Intergovernmental Panel on Climate Change / Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido. Cambridge University Press. 2012. 1075 p.
- FOLKE, C. JANSSON, A; LARSSON, J. y COSTANZA, R. Ecosystem Appropriation by cities. *Ambio*. 26(3):167-172, 1997.
- FÆRGE, J, MAGID, J., y PENNING DE VRIES, FRITS.W.T. Urban nutrient balance for Bangkok. *Ecological Modelling* 139:63-74, 2001.
- FAOSTAT – Base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <<http://faostat.fao.org>> [consulta 31/05/2012]
- FORKES, J. Nitrogen balance for the urban food metabolism of Toronto, Canada. *Resources, Conservation & Recycling* 52(1):74-94, 2007.
- FRIEDERICH, J. y LANGER, H. Latin American Green City Index. Siemens AG. Economist Intelligence Unit. Munich, Alemania, 2010. Disponible en: <www.siemens.com/entry/cc/features/greencityindex_international/all/en/pdf/report_latam_en.pdf> [consulta 31/05/2012]
- FUNDAÇÃO Estadual do Meio Ambiente; Centro Clima /Lèbre La Rovere, Emilio (Coord.). Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2007.
- GANDY, M. Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City* 8(3):364-379, 2004.
- GIAMPIETRO, M. y MAYUMI, K. The Biofuel Delusion. The fallacy of large-scale agro-biofuel production. Londres, Reino Unido, Earthscan. 2009. 320p.
- GOBIERNO de la Ciudad de Buenos Aires. Informe de separación de residuos 2001. Disponible en: <www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/higiene_urbana/separacion_residuos_conoce.php?menu_id=10649> [consulta 31/05/2012]
- GONZÁLEZ, A. Evaluación de la política de acceso al agua potable en el Distrito Federal. México DF, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad UNAM, 2011. 277p.
- KRAUSMANN, F; GINGRICH, S; EISENMENGER, N; ERB, K-H; HABERL, H. y FISCHER-KOWALSKI, M. Growth in global material use, GDP and population during the 20th Century. *Ecological Economics* 68: 2696-2705, 2009.
- HANYA, T. y AMBE, Y. A study on the metabolism of cities. *En: Science for a better environment: proceedings of the International Congress on the Human Environment; 1976*. Tokyo, Japón, Science Council of Japan, pp 228- 233.
- HERMANOWICZ, W. y ASANO, T. Abel Wolman's "The Metabolism of Cities" re- visited: a case for water recycling and reuse. *Water Science & Technology* 40: 29-36, 1999.
- HUANG, S. Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis. *Journal*

of Environmental Management 52: 39–51, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTADÍSTICA. Base de datos sobre ciudades brasileñas, en: <www.ibge.gov.br/cidadesat> [consulta 31/05/2012]

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. *Anuario estadístico del Distrito Federal*. México, INEGI, 2010. 586p.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS. Base de datos de la Prefeitura de Rio. Estadísticas sobre energía e iluminación. Tabla 1686. En: <www.armazemdedados.rio.rj.gov.br> [consulta 31/05/2012]

INVENTÁRIO de emissões de gases do efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro - resumo executivo. No. 20100801 por Franco Moreira "et AL."(Coord.). Rio de Janeiro, Brasil. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. 2010. Disponible en: http://portalgeo.rio.rj.gov.br/estudoscariocas/download/3059_Invent%C3%A1rio%20e%20Cen%C3%A1rio%20de%20Emiss%C3%B5es%20de%20Gases%20do%20Efeito%20Estufa%20da%20Cidade%20do%20Rio%20de%20Janeiro_MAR_2011.pdf [consulta 31/05/2012]

KENNEDY, C. CUDDIHY, J. y ENGEL-YAN, J. The Changing Metabolism of Cities. Journal of Industrial Ecology 11(2): 43-59, 2007.

KENNEDY, C. PINCETI, S. y BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. Environmental Pollution 159, (8-9):1965-1973, 2011.

KLAUFUS, C. Watching the city grow: remittances and sprawl in intermediate Central American cities. Environment and Urbanization 22(1): 125-137, 2010.

LEACH, MA. BAUEN, A. y LUCAS, N.J.D. A Systems Approach to Materials Flow in Sustainable Cities: a case study of paper. Journal of Environmental Planning and Management 40 (6): 705-723, 1997.

LEHMANN, S. Optimizing urban material flows and waste streams in urban development through Principles of Zero Waste and Sustainable Consumption. Sustainability 3: 155-183, 2011.

KENNEDY, C. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. Energy Policy. 38: 4828-4837, 2009.

MUMFORD, L. *The City in History: Its Origins, Its Transformations and Its Prospects*. Nueva York, EEUU. Harcourt, Brace & World. 1961. 657p.

MINX, J; CREUTZIG, F; MEDINGER, V; ZIEGLER. T. OWEN, A. y BAIOCCHI, G. Developing a pragmatic approach to assess urban metabolism in Europe. A report to the European Environment Agency. Estocolmo, Suecia, Stockholm Environment Institute y Universidad Técnica de Berlín, 2010.

NAGUIB, D. *Resisting Global Toxics: Transnational Movements for Environmental Justice*. Cambridge, Massachusetts. Londres, Inglaterra, The MIT Press. 2007. 346p.

NEWCOMBE, K. KALMA, J.D. y ASTON, AR. The metabolism of a city: the case of Hong Kong. AMBIO Journal of Human the Environment 7(3): 3-15. 1978.

NEWMAN, P. BEATLEY, T. y BOYER H. *Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change*. Washington D.C., EEUU. Island Press. 2009. 166p.

NILSON, J. A phosphorus budget for a Swedish municipality. Journal of Environmental Management 45: 243 253, 1995.

NOBRE, C. y YOUNG, A. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: regio metropolitana de Sao Paulo. Sao Paulo, Brasil, Instituto Socioambiental, 2011. 31p. Disponible en: <http://www.issonaoenormal.com.br/CLIMA_SP_FINAL.pdf>[consulta 31/05/2012]

PEET, R. ROBBINS, P. WATTS, M. *Global Political Ecology*. Londres, Inglaterra / Nueva York, EEUU. Routledge. 2011. 444p.

PERLÓ, M. y GONZÁLEZ, A. E. ¿Guerra por el Agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. México DF. PUEC-Coordinación de Humanidades, UNAM. 2009. 143p.

PHILLIPS, P. TUDOR, T; BIRD, H. y BATES, M. A critical review of a key Waste Strategy Initiative in England: Zero Waste Places Projects 2008-2009. Resources, Conservation and Recycling 55(3):335–343, 2011.

PIMENTEL, D. PATZEK, T. Ethanol production using corn, switchgrass and Wood; Biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resources Research 14(1):65 – 76, 2005.

PLATT, R. ROWNTREE, R. y MUICK, P. *The Ecological City: Preserving and Restoring Urban Biodiversity*. Massachusetts EEUU, University of Massachusetts Press, 1994. 291p.

QUIROGA, G. La administración de ciudades nuevas en México y otros países. Gaceta Mexicana de Administración Pública Estatal y Municipal. 2: 121-134, 1981.

RAMASWAMI, A. A demand-centered, hybrid life-cycle methodology for city-scale greenhouse gas inventories. Environmental Science & Technology 42 (17): 6455- 9 6461, 2008.

REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and Urbanization. 4(2):121-130, 1992.

SABESP, GOBIERNO DEL ESTADO DE SAO PAULO. Sección de números (o de resultados de la empresa de agua), en: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=4>> [consulta 31/05/2012]

SALINAS, LA. Segregación residencial en la zona metropolitana de la Ciudad de México. [en línea]. En: Memoria del X Coloquio Internacional de Geocrítica.Barcelona, España, 2008. Disponible en: <www.ub.edu/geocrit/-xcol/418.htm> [consulta 31/05/2012]

- SATTERTHWAITE, D. Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. Environment and Urbanization 20(2): 539-549, 2008.
- SCHMIDT-BLEEK, F. The fossil makers [en línea]. EEUU, Boston. 1993. Disponible en: < <http://www.factor10-institute.org/publications.html> > [consulta 31/05/2012]
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GDF (SMA-GDF). Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbón Negro de la ZMVM - 2008. México, Gobierno del Distrito Federal, 2010.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GDF (SMA-GDF). Inventario de Residuos Sólidos 2008. México, Gobierno del Distrito Federal, 2009.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GDF (SMA-GDF). Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012. México. Gobierno del Distrito Federal. 2008.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GDF (SMA-GDF). Plan Verde: Cd. de México. Informe de Avances 2011. México, Gobierno del Distrito Federal, 2011
- SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SMMA). Plano de Ação para a Redução de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro. Brasil, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2011.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Sanamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2008. Brasília, Brasil, Ministerio de Estado das Cidades, 2010.
- SNYMAN, J. y VORSTER, K. Towards zero waste: a case study in the City of Tshwane. Waste Management & Research 29(5):512-520, 2010.
- STEINBERG, J. KRAUSMANN, F. y EISENMENGER, N. Global patterns of material use: A socioeconomic and geophysical analysis. Ecological Economics 69:1150-1157, 2010.
- THÉRIAULT, J. LAROCHE, AM. Evaluation of the urban hydrologic metabolism of the Greater Moncton region, New Brunswick. Canadian Water Resources Journal 34(3): 255-268, 2009.
- TORRES, G. Distribución de alimentos Mercados y políticas sociales. México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. 216p.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Paris, Francia, UNEP, 2011. 152p.
- UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements. Londres / Washington, EEUU, Earthscan. 2011. 279p.
- UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. Planning Sustainable Cities. Global Report on Human Settlements 2009. Londres, Reino Unido, Earthscan. 2009. 306p.
- UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. State of the World's Cities 2010/2011. Bridging the Urban Divide. Londres, Reino Unido, Earthscan. 2008. 220 p.
- VEGA, AL. La periferia de la Ciudad de México, los asentamientos irregulares y la planeación urbana: El caso de la Zona Oriente. Trace. 29:40-45, 1996.
- WEISZ, H. y STEINBERG, J. Reducing energy and material flows in cities. Environmental Sustainability 2: 185-192, 2010.
- WHATELY, L. y TOLEDO Diniz, L. Agua e esgoto na Grande Sao Paulo: situação atual, nova lei de saneamento e programas governamentais propostos. São Paulo, Brasil, Instituto Sociambiental. 2009. 79p.
- WOLMAN, A. The metabolism of cities. Scientific American. 213(3): 179-190. 1965.
- WORLD WIDE FUND FOR NATURE. Living Planet Report 2010: Biodiversity, biocapacity and development. EE UU, WWF, 2010. 119p.
- YOUNG, C. NI, S. Y FAN, K. Working towards a zero waste environment in Taiwan. Waste Management & Research 28: 236-244, 2010.
- ZAMAN, Atiq U. y LEHMANN, S. Challenges and Opportunities in Transforming a City into a 'Zero Waste City'. Challenges 2: 73-93. 2011.
- ZICCARDI, A. Política de vivienda para un espacio destruido. Revista Mexicana de Sociología 48(2): 121-193, 1986.
- ZUCCHETTO, J. Energy, economic theory and mathematical models for combining the systems of man and nature. Case study, the urban region of Miami. Ecological Modeling 1(4): 241-268, 1975.

Recibido: 12|04|2012
 Aceptado: 25|05|2012



La Sostenibilidad en el Currículo de las Carreras de Arquitectura: implicaciones del concepto de sostenibilidad en el perfil profesional y el plan de estudios de las carreras de arquitectura en América Latina.

Sustainability in Architecture Curriculum: implications of the sustainability concept in the professional profile and the syllabus of architecture programs in Latin America.

Alexander González C. ^(a), Maureen Trebilcock K. ^(b)

^(a) Facultad de Arquitectura y Diseño - Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín – Colombia. Escuela de Arquitectura - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín – Colombia – email: bioclimarq@yahoo.com

^(b) Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura – Universidad del Bío – Bío – Chile – email: mtrebilc@ubiobio.cl

RESUMEN

Palabras clave:
Formación de arquitectos
Desarrollo sostenible
Análisis curricular
Currículo oficial
Perfil profesional
Plan de estudios

La formación y la práctica profesional de los arquitectos deben corresponder con las necesidades y tendencias sociales, económicas y ambientales de su contexto, a partir del desarrollo sostenible como marco de referencia. Esta condición es relevante en la comunidad latinoamericana, donde la formación en arquitectura es uno de los principales factores de oportunidad para la futura transformación del ambiente construido, mediante la definición de competencias científicas, técnicas y proyectuales orientadas al diseño sostenible. Un análisis del currículo oficial de 595 programas de arquitectura en 19 países de América Latina, permitió determinar el panorama actual de integración de la sostenibilidad en la formación profesional de los arquitectos. En el proceso se clasifican las carreras de arquitectura en cuatro categorías, de acuerdo con el nivel de integración de la sostenibilidad en su currículo oficial: integración nula, integración adicional, integración teórica e integración práctica en los talleres de proyecto. Los resultados muestran que sólo el 7% de los programas de arquitectura ofrecidos actualmente en América latina, declaran en su currículo oficial de forma explícita, la formación de competencias prácticas en diseño sostenible de sus egresados, 45% de los programas se orientan a la integración por contenidos teóricos y el 48% restante no declaran integrar la sostenibilidad en la formación de sus arquitectos.

ABSTRACT

Keywords:

Architectural education
Sustainable development
Analysis of the curriculum
Official curriculum
Professional profile
Syllabus

Architectural education and professional practice must be in line with the necessities and social, economic and environmental tendencies of its context, with sustainable development as a framework. This condition is relevant in the Latin-American community, where architectural education is one of the main factors of opportunity for the future transformation of the built environment by means of the definition of scientific and technical skills aiming for sustainable design. An analysis of the official curriculum of 595 architecture programs in 19 Latin American countries determined the current panorama of integration of sustainability in the training of architects. The analysis process classified the architecture programs in four categories according to the level of integration of sustainability into their official curriculum: null integration, additional integration, theoretical integration, and practical integration in the design studio. Results show that only 7% of currently offered architecture programs in Latin America explicitly declare in its official curriculum training skills in sustainable design practices of its graduates, 45% integrate sustainability into their theoretical contents and 48% do not integrate sustainability into the formation of their architects.

1. Introducción

Este trabajo describe el panorama de integración de la sostenibilidad en el ámbito de la formación profesional de los arquitectos, a partir de las declaraciones explícitas sobre este concepto, presentes en el currículo oficial de las carreras de arquitectura, de 19 países de América Latina y El Caribe. El objetivo general de esta investigación es determinar el nivel de reconocimiento, aplicación e integración de las dimensiones de la sostenibilidad, en el proceso de formación profesional de los arquitectos, orientadas a la formación de competencias, para enfrentar los desafíos sociales, económicos y ambientales del desarrollo sostenible de la región latinoamericana. Para este fin, se analiza el currículo oficial de las carreras de arquitectura, compuesto por el Perfil profesional y el Plan de estudios, que ofrece cada universidad a través de sus páginas web, como soporte documental del proceso de formación en arquitectura y requisito inicial para el reconocimiento del título, por parte del Colegio de Arquitectos de cada país.

El contexto de la investigación se inscribe en el panorama actual de reflexión y transformación curricular de las universidades, hacia modelos de enseñanza-aprendizaje y formación por competencias, donde se reconoce el rol de liderazgo de la educación universitaria, en el desarrollo social, económico y ambiental de cada país, frente a la necesidad de establecer una

política tecnológica sólida, mediante la promoción de conocimiento local y relevante, para consolidar sistemas nacionales de innovación y progreso, conducentes a la seguridad y el bienestar de la sociedad (CEPAL, 2010). Esta investigación se fundamenta en considerar el papel y la responsabilidad del arquitecto contemporáneo, frente a los procesos de expansión y consolidación del ambiente construido y la necesaria transformación de la industria de la construcción, hacia un sistema de ciclos de producción con menor impacto ambiental, mayor bienestar humano y eficiencia energética; a partir del análisis de las dimensiones del desarrollo sostenible bajo las condiciones sociales, económicas y ambientales, propias de los países latinoamericanos; los principios y alcances de la educación ambiental, los acuerdos de norma internacional para la formación de arquitectos y la regulación macropolítica de la práctica profesional de la arquitectura.

2. Argumentación teórica

El desarrollo sostenible

La sostenibilidad, con sus dimensiones ambientales y sociales, fue definida inicialmente en la Cumbre de la Tierra de Estocolmo en 1972. A partir de esta fecha se presentaron ajustes, complementos y reinterpretaciones, como la yuxtaposición del término “*desarrollo*” en 1987, con el informe “*Nuestro Futuro Común*”, que

involucra explícitamente la dimensión del crecimiento económico; la aparición del principio de equidad en la Cumbre de la Tierra en 1992; y la inserción del concepto de “*seguridad humana*”, que aparece con las Metas de Desarrollo del Milenio en el año 2000, como última gran ampliación del concepto (Novo, 2009). Desde hace 40 años permanece de forma inmodificable en esta definición, la estrecha relación entre sociedad y medio ambiente, el reconocimiento de la sostenibilidad como un tema pertinente a nivel de los derechos humanos y sus alcances socio-temporales, que abarcan un sentido de responsabilidad intergeneracional, entre la sociedad del presente y las futuras generaciones.

El desarrollo sostenible compromete directamente al ámbito de la arquitectura y la construcción, a partir de datos técnicos que posicionan la expansión del ambiente construido, como una de las actividades humanas de mayor impacto ambiental y consumo de recursos naturales no renovables del planeta (Edwards, 2006), cuantificadas con herramientas de análisis como la Huella Ecológica y el Análisis de Ciclo de Vida (Merkel, 2005).

La reflexión en torno al desarrollo sostenible constituye hoy una nueva lógica del lugar, como paradigma contemporáneo de relaciones sistémicas y equilibradas entre el hombre y el medio ambiente, que debe ser integrada al proceso de la arquitectura como lugar para vivir, sin embargo este aspecto ha derivado en una tendencia simplista que pretende ampliar o reinterpretar la definición de arquitectura, al mismo tiempo que explota el concepto de “*Arquitectura Sostenible*” para lograr impactos comerciales, en un claro ejemplo de maquillaje verde (González et al., 2011). La tendencia por anexar el adjetivo “sostenible” a la arquitectura, sin un soporte teórico y técnico que permita profundizar en su práctica real, genera una polarización teórica, que en algunos casos ignora la fundamentación científica, metodológica, histórica, psicológica y sociológica de la arquitectura, es decir, se ignora su propia epistemología, lo que deriva en un problema para la comprensión y la socialización de la imprescindible relación, entre arquitectura y medio ambiente (Muntañola, 1995).

El contexto latinoamericano

Las definiciones e interpretaciones de la arquitectura y el urbanismo, desde el punto de vista del desarrollo sostenible y referidas al

contexto del ambiente construido latinoamericano, adquieren relevancia para la formación y la práctica de la arquitectura, cuando se considera que el 81,2 % de su población es urbana, con 490 millones de personas en el año 2012, sobre un estimado total de 603 millones de habitantes, distribuidos en 46 países (20 continentales y 26 insulares), según datos del Anuario Estadístico de América Latina y El Caribe 2011 (ECLAC, 2012).

Las normas y recomendaciones para la formación de arquitectos con relación al desarrollo sostenible, deben considerar el panorama legal y político del medio ambiente en los países latinoamericanos. Según el Índice de Desempeño Ambiental – EPI 2012 -, la gestión política para el cuidado del medio ambiente en la región no es positiva, 60% de los países tiene un índice medio, 35% tiene índice alto y sólo 5% un índice muy alto (Emerson et al., 2012). También es fundamental atender el llamado del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], en su informe del Índice de Desarrollo Humano 2011, con relación a la necesidad de detener el cambio climático, impedir el deterioro del medio ambiente y disminuir las desigualdades sociales, aspectos que afectan los avances del desarrollo humano de los países latinoamericanos (PNUD, 2011).

El arquitecto y la práctica de la arquitectura

Según la Unión Internacional de Arquitectos [UIA], el “*Arquitecto*” por ley o costumbre, es una persona calificada profesional y académicamente, con licencia o certificación para ejercer la arquitectura, obligada a promover el desarrollo justo y sostenible, el bienestar y la expresión cultural del hábitat de la sociedad en términos de espacio, formas y contexto histórico. Así mismo, se considera que la definición de la “*Práctica de la Arquitectura*”, presenta como antecedentes el reconocimiento de una disciplina de arte y ciencia, ejercida por los arquitectos desde la antigüedad, que ha evolucionado hacia un perfil más exigente de la profesión, con un amplio proceso de crecimiento y cambio, que debe responder a las necesidades de los clientes, con avances tecnológicos complejos e “*imperativos sociales y ecológicos apremiantes*”, que transforman la relación de colaboración y servicios con las demás profesiones involucradas en el diseño y la construcción (UIA, 1999).

Esta fundamentación teórica del rol del arquitecto y su práctica profesional, se constituye en el principal referente macropolítico y

normativo, para orientar los procesos de formación de arquitectos y la regulación de la práctica profesional de la arquitectura a nivel mundial, expresados a partir del año 2005, en La Carta UNESCO/UIA de la Formación en Arquitectura, elaborada para enfatizar “la conciencia de que la formación de los arquitectos constituye uno de los desafíos para el entorno construido y la profesión más significativos del mundo contemporáneo” (UNESCO/UIA, 2005:1). Entre los objetivos de la Formación en Arquitectura de la Carta, se destaca: “Que la visión del mundo futuro, cultivada en las escuelas de arquitectura, debe incluir: (...) un desarrollo ecológicamente equilibrado y sostenible del entorno natural y construido que incluya el uso racional de los recursos disponibles” (Ibíd, 2005:2). A su vez, se presentan en La Carta una serie de recomendaciones para las escuelas de arquitectura, que involucran directamente, puntos especiales para la elaboración del plan de estudios, como: “un conocimiento adecuado de los medios para lograr una concepción ecológicamente sostenible y la conservación y rehabilitación medio-ambiental” (Ibíd, 2005:3).

El análisis curricular

Una vez definido el concepto de sostenibilidad y su relación con la arquitectura, las consideraciones macropolíticas del rol profesional del arquitecto, la descripción del contexto social latinoamericano y las necesidades de su ambiente construido urbano, como marco espacial para la práctica de la arquitectura en el siglo XXI, se presentan las pautas de análisis curricular que soportan el abordaje metodológico de esta investigación, desde el área de la educación universitaria.

A pesar de que el término currículo es polisémico, se considera como marco de referencia la definición de G. Posner, quien en su libro: “*Análisis del Currículo*”, establece que el currículo es una entidad integrada por cinco currículos concurrentes: 1) currículo oficial, descrito en documentos formales; 2) currículo operativo, que se refiere a la materialización de la práctica y la evaluación de la enseñanza; 3) currículo oculto, que corresponde con las normas y valores institucionales, no reconocidos abiertamente por los integrantes de la institución escolar; 4) currículo nulo, las materias que no se enseñan; 5) currículo adicional, actividades planeadas por fuera del currículo formal (Posner, 2005).

Esta investigación considera como objeto de análisis el *currículo oficial* compuesto por el perfil profesional y el plan de estudios, que presenta cada escuela de arquitectura a través de su página web, como soporte documental de sus procesos de formación profesional. La publicación en internet del currículo oficial, permite a la sociedad conocer el proyecto educativo y los alcances académicos de cada programa de arquitectura, aspecto que puede inducir la elección de una carrera de arquitectura, entre la oferta de carreras disponibles a nivel local, regional e internacional. Frente a este aspecto también es necesario considerar que la promoción por internet de servicios educativos, representa una práctica común en los procesos actuales de globalización y masificación de la educación superior universitaria.

El análisis del currículo oficial posibilita una aproximación a los currículos nulo y adicional de cada carrera de arquitectura, mediante la revisión de los contenidos declarados explícitamente en cada plan de estudios, por esta razón en la escala de valoración de la integración de la sostenibilidad en el currículo oficial, se define el Nivel 0 como integración nula y el Nivel 1 como integración adicional. Pero, considerando que la metodología propuesta no permite profundizar en el análisis de los currículos operativo y oculto, la escala de valoración se complementa con contenidos de carácter teórico en nivel 2 y el desarrollo de contenidos prácticos en el taller de proyectos como nivel 3. La diferencia entre los niveles 2 y 3 se define a partir de las recomendaciones de La Carta UNESCO/UIA de la Formación en Arquitectura, Capítulo III, De las Condiciones y Requisitos de una Escuela Acreditada, Numeral 4: “...la enseñanza a través de talleres de proyectos debe ser la parte dominante del proceso de formación” (op.cit., 2005:6).

Finalmente, para este análisis del currículo oficial se considera que, si el perfil profesional se define como una declaración puntual de las capacidades y competencias disciplinarias específicas y genéricas, que poseerán los egresados al momento de titularse (González, 2007), este perfil profesional debe reflejar entonces, una síntesis del proceso y la estructura académica de cada carrera de arquitectura, razón por la cual es necesaria la existencia de correlación entre el plan de estudios y el perfil profesional.

3. Metodología

Para determinar el nivel de reconocimiento del concepto de desarrollo sostenible y su integración en la formación de los arquitectos, se construyó un observatorio virtual, mediante una base de datos, que permite el análisis on-line del currículo oficial de 595 carreras de arquitectura, registradas en los Ministerios de Educación de 19 países latinoamericanos. La base de datos se desarrolló sobre una hoja de cálculo electrónica, que permite por medio de hipervínculos, acceder a la página web de las escuelas de arquitectura, para analizar su proyecto educativo, los contenidos y sus cuerpos académicos, con una muestra que involucra en cada análisis, más del 90% de la oferta de formación de arquitectos, registrada oficialmente en la región. Los datos de este informe fueron obtenidos en septiembre de 2011, con la revisión de 556 currículos oficiales, correspondientes al 94% de las carreras registradas en la base de datos (Tabla 1).

Tabla 1: Escuelas de Arquitectura registradas en cada país y currículos oficiales analizados en septiembre de 2011. Fuente: Elaboración Propia.

Table 1: Schools of Architecture registered in each country and official curriculum analyzed in September 2011. Source: Own Elaboration

PAÍS	ESCUELAS DE ARQUITECTURA	CURRÍCULOS ANALIZADOS	%
Argentina	26	26	100%
Bolivia	17	17	100%
Brasil	203	178	87%
Chile	32	31	96%
Colombia	42	42	100%
Costa Rica	10	10	100%
Cuba	5	4	80%
Ecuador	20	17	85%
El Salvador	10	10	100%
Guatemala	5	4	80%
Honduras	4	4	100%
México	158	155	98%
Nicaragua	6	6	100%
Panamá	2	2	100%
Paraguay	5	5	100%
Perú	30	25	90%
R. Dominicana	8	8	100%
Uruguay	2	2	100%
Venezuela	10	8	80%
TOTALES	595	556	94%

Para el procesamiento general de los datos se definió un sistema de marcadores lógicos de valor 0 y 1, los cuales se interrelacionan para actualizar la información general y país por país, en la base de datos. Cuando la página web de una universidad no es accesible o la información requerida no se encuentra en el sitio web, se califica con valor 0 y se descarta automáticamente del análisis; para la información

disponible se aplica un valor 1 y se continúa con el proceso de análisis. Este sistema de cuantificación también se aplica para el proceso de análisis del perfil profesional y el plan de estudios de cada carrera de arquitectura, lo que permite correlacionar, actualizar y graficar de forma automática los resultados para cada país y el panorama general latinoamericano.

El análisis del currículo oficial se desarrolló en tres etapas. La primera etapa corresponde a la revisión del perfil profesional como objetivo general de formación, de cada carrera de arquitectura. En este documento se verifica la declaración explícita de la relación entre arquitectura y sostenibilidad, expresada en términos de competencias o capacidad profesional esperada de sus egresados, para integrar las dimensiones de la sostenibilidad en la práctica de la arquitectura. Cuando esta declaración es afirmativa se califica con valor 1, si no se declara ninguna relación explícita con la sostenibilidad se asigna el marcador 0.

La etapa dos corresponde a la revisión del plan de estudio y sus contenidos, a partir de considerar este documento como la descripción general del proceso de formación de los arquitectos, el cual determina por niveles académicos semestrales o anuales, los ciclos de formación y las áreas del conocimiento, que se integran para construir el saber disciplinar de la arquitectura. El sistema de análisis aplica la metodología de búsqueda de palabras clave, definidas como indicadores de la presencia explícita del concepto de la sostenibilidad, frente a la práctica de la arquitectura.

La selección de palabras clave se hizo a partir de las referencias de La Carta UNESCO/UIA de la Formación en Arquitectura y la bibliografía actualizada sobre el tema. Algunos indicadores son: sostenibilidad, desarrollo sostenible, arquitectura pasiva, arquitectura bioclimática, eficiencia energética, calidad ambiental, bienestar humano, ergonomía, confort ambiental, recursos naturales, urbanismo y gestión ambiental, planeación ambiental, construcción sostenible, ecomateriales, impacto ambiental, tecnología ambiental, desarrollo social, diseño sostenible, gestión de residuos, producción limpia, eco-diseño, servicio civil o trabajo comunitario, ecología, arquitectura vernácula, medio ambiente, entre otros. La clasificación de las carreras de arquitectura por niveles de integración de la sostenibilidad, en sus planes de estudio se elaboró sobre una escala de cuatro índices:

- *Nivel 0 – Integración Nula:* sin contenidos de sostenibilidad declarados explícitamente.

- *Nivel 1 – Integración Adicional:* contenidos de sostenibilidad declarados explícitamente, pero en ramos electivos y no obligatorios.

- *Nivel 2 – Integración Teórica:* contenidos de sostenibilidad declarados explícitamente, en el núcleo teórico y obligatorio de la carrera.

- *Nivel 3 – Integración Práctica:* sostenibilidad en el taller de proyectos declarada explícitamente.

Aunque existe la posibilidad de que algunas carreras pueden integrar la sostenibilidad en la práctica del taller de proyectos, sin que lo declaren explícitamente en la presentación formal de sus contenidos, se considera que esta situación puede generar una frontera difusa entre los niveles 2 y 3 de clasificación, pero no con los niveles 0 y 1, si se tiene como premisa de la educación en arquitectura, que el taller de proyectos constituye la síntesis de la formación profesional, donde se deben integrar los contenidos del núcleo teórico. Este tipo de situaciones pueden ser previstas e identificadas en un proceso de correlación, para el que fue definido una tercera etapa de la investigación, con un ejercicio que comprende el análisis comparativo entre los resultados de la revisión del perfil profesional y la clasificación por niveles del plan de estudios de cada carrera, con el fin de establecer finalmente la implicación de la sostenibilidad en el currículo oficial. Para este análisis se desarrolló otra escala de clasificación con cuatro rangos:

- *Nivel A.* Declara sostenibilidad explícitamente en el perfil profesional, pero no presenta contenidos relacionados en el plan de estudios.

- *Nivel B.* Sin declaración en el currículo oficial.

- *Nivel C.* Contenidos en el plan de estudios - No declara en su perfil profesional.

- *Nivel D.* Correspondencia entre perfil profesional y plan de estudios.

4. Resultados y análisis

Los resultados de la etapa uno muestran que 336 carreras de arquitectura de América Latina y el Caribe, que representan el 60% de la oferta de

formación profesional de la región, declaran que sus arquitectos al momento de culminar los estudios universitarios, tendrán competencias para el desarrollo de proyectos de arquitectura y urbanismo, que integran las dimensiones del desarrollo sostenible. 220 carreras que representan el 40% restante, no hacen ninguna referencia a la sostenibilidad en el perfil profesional de sus egresados (Fig.1).

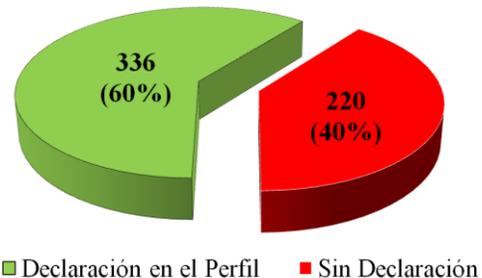


Figura 1: Sostenibilidad en el perfil profesional de las carreras de arquitectura en América Latina. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 1: Sustainability in the professional profile of architecture programs in Latin American. Source: Own Elaboration.

Los resultados de la etapa dos permitieron clasificar las carreras de acuerdo a los contenidos de sus planes de estudio de la siguiente manera: en nivel 0, 105 carreras que no declaran explícitamente integración de la sostenibilidad en sus contenidos; en nivel 1, 163 carreras que declaran explícitamente contenidos relacionados con la sostenibilidad, pero no son obligatorios; en nivel 2, 248 carreras que declaran explícitamente contenidos de sostenibilidad en su núcleo teórico obligatorio; y en nivel 3, 40 carreras con talleres de proyecto que declaran explícitamente la integración de la sostenibilidad en sus procesos académicos (Fig. 2).

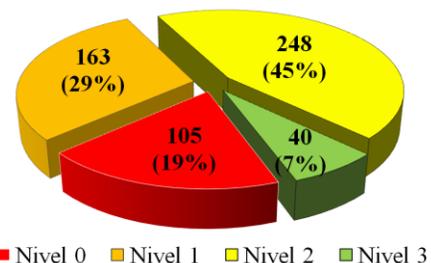


Figura 2: Niveles de integración de contenidos de sostenibilidad en el plan de estudios de las carreras de arquitectura en América Latina. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 2: Levels of integration of sustainability topics in the syllabus of architecture programs in Latin America. Source: Own Elaboration

En los resultados de la etapa tres, la correlación de la información obtenida del análisis del perfil profesional con su respectivo plan de estudios, presentó los siguientes resultados: en nivel A se clasificaron 135 carreras de arquitectura que declaran competencias en sostenibilidad en su perfil profesional, pero tienen su plan de estudios calificado como currículo nulo o adicional, en integración de contenidos; en nivel B hay 133 carreras que no declaran sostenibilidad en su perfil profesional ni lo integran en su plan de estudios; en nivel C se presentan 87 carreras que no declaran sostenibilidad en su perfil profesional, pero integran contenidos de desarrollo sostenible en su plan de estudios; finalmente en nivel D se clasifican 201 carreras de arquitectura que declaran sostenibilidad en su perfil profesional y presentan evidencias de esta integración teórica o práctica en su plan de estudios (Fig. 3).

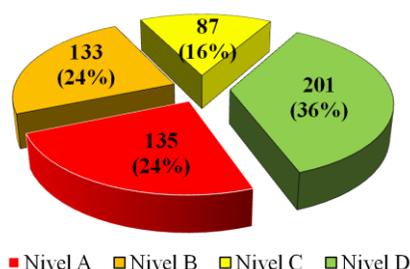


Figure 3: Correlación de la presencia de la sostenibilidad entre el perfil profesional y el plan de estudios. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 3: Correlation of presence of sustainability between the professional profile and the syllabus. Source: Own Elaboration.

El análisis del currículo oficial elaborado a partir de este observatorio virtual, permite visualizar los resultados particulares de cada uno de los 19 países seleccionados en esta investigación. Los resultados de las etapas uno y dos se presentan condensados en la tabla 2 y con una representación con referencias geográficas a cada país en la figura 4.

Aunque los resultados de cada país presentan algunas variaciones con respecto a la tendencia general de la región, estas diferencias ocurren principalmente entre los niveles 0, 1 y 2, de clasificación del plan de estudios, donde se destaca, por ejemplo, el caso de Brasil, cuyos resultados presentan un mayor porcentaje de carreras clasificadas en nivel 2 y ninguna en nivel 0 (tabla 2, figura 4). Esta condición se debe a la regulación establecida por el Ministerio de Educación que obliga la presencia de contenidos relacionados con el confort ambiental y la

eficiencia energética de las edificaciones, como requisito para registrar la carrera de arquitectura.

Según los datos generales de la región el 48% de los programas de arquitectura no integran la sostenibilidad en sus planes de estudio, de acuerdo con la evaluación y clasificación en escalas de integración nula y adicional aplicado al plan de estudios. Sin embargo una lectura por países muestra situaciones que superan ampliamente este promedio, tales como Ecuador y Paraguay con más del 80% de sus programas con integración nula y adicional, seguidos por Argentina con 73%, Centro América y El Caribe con 66%, Bolivia con 65%, México con 58% y Colombia con 57%. Los países con mejor desempeño en este aspecto son: Brasil con 27% y Chile con 35%, lo que indica a su vez que presentan una mayor clasificación de sus programas en los niveles de integración teórica y práctica. En la tabla 3 y la figura 5 se presentan los resultados de la etapa tres de la investigación, relacionada con la correlación de implicación de la sostenibilidad en el currículo oficial de las carreras de arquitectura, país por país.

Los resultados generales muestran un alto nivel de reconocimiento del concepto de sostenibilidad en el currículo oficial de las carreras de arquitectura, representado por un 76% de escuelas que lo declaran explícitamente en algún aspecto en sus documentos formales. Sin embargo, es importante considerar que su

Tabla 2: Resumen de resultados etapas uno y dos: Niveles 0, 1, 2 y 3. Declaración en el perfil y porcentaje sobre el número de programas. Fuente: Elaboración Propia.

Table 2: Summary of findings, stages one and two: Levels 0, 1, 2 and 3. Declaration on the profile and the percentage on the number of programs. Source: Own Elaboration

PAÍS	NIVEL				PERFIL	%
	0	1	2	3		
Argentina	7	12	5	2	16	61,54%
Bolivia	3	8	6	0	10	58,82%
Brasil	0	48	117	13	104	58,43%
Chile	6	5	13	7	21	67,74%
Colombia	15	9	15	3	26	61,90%
Costa Rica	4	3	3	0	5	50,00%
Cuba	1	2	1	0	1	25,00%
Ecuador	6	8	1	2	12	70,59%
El salvador	6	1	2	1	4	40,00%
Guatemala	2	1	1	0	0	0,00%
Honduras	3	1	0	0	1	25,00%
México	43	47	56	9	99	63,87%
Nicaragua	1	2	3	0	5	83,33%
Panamá	0	1	1	0	1	50,00%
Paraguay	3	1	1	0	4	80,00%
Perú	3	8	15	1	18	66,67%
R.Dominicana	2	2	3	1	3	37,50%
Uruguay	0	0	2	0	1	50,00%
Venezuela	0	4	3	1	5	62,50%
TOTALES	105	163	248	40	336	60,43%

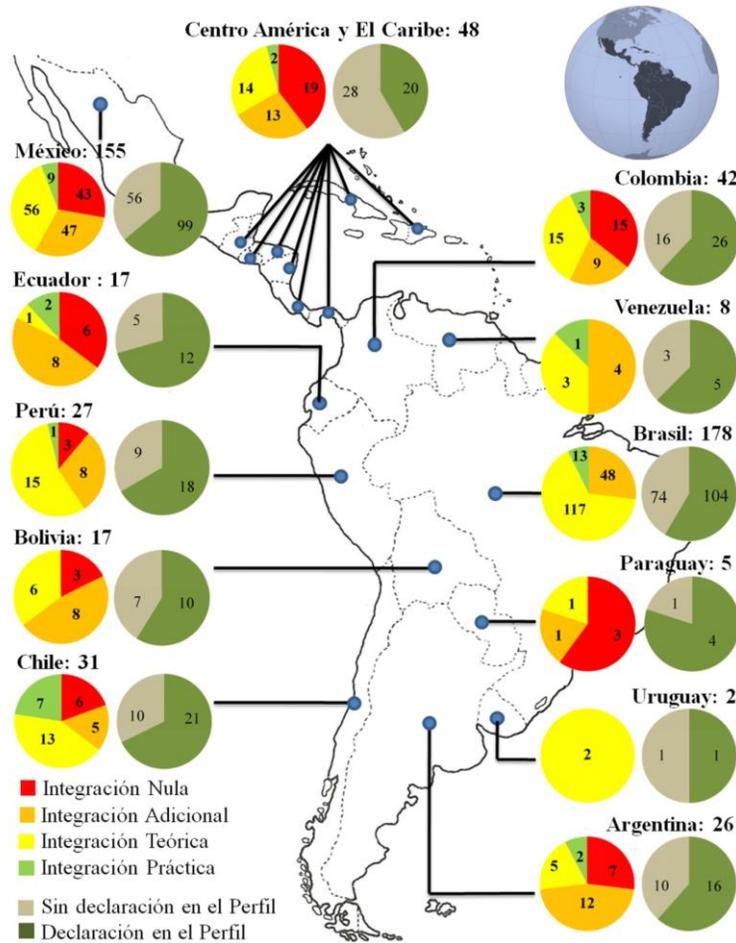


Figura 4: Infografía con los resultados generales de las etapas uno y dos de la investigación por países. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 4: Graphic with the overall results of stages one and two of the research by each country. Source: Own Elaboration

Tabla 3: Resultados etapa tres. Correlación entre el Perfil Profesional y el Plan de Estudios: Niveles, A, B, C y D. Fuente: Elaboración Propia.

Table 3: Results stage three. Correlation between the Professional Profile and Curriculum in levels A, B, C and D. Source: Own Elaboration

País	Nivel A	Nivel B	Nivel C	Nivel D
Argentina	9	10	0	7
Bolivia	7	4	3	3
Brasil	18	30	44	86
Chile	5	6	4	16
Colombia	13	11	5	13
CEA. Caribe	12	20	8	8
Ecuador	9	5	0	3
México	52	38	18	47
Paraguay	3	1	0	1
Perú	4	7	2	14
Uruguay	0	0	1	1
Venezuela	3	1	2	2
Totales	135	133	87	301
	24%	24%	16%	36%

integración real es mucho menor, debido a la tendencia de algunas carreras de arquitectura que declaran competencias de sostenibilidad en sus

perfiles profesionales, pero no lo declaran explícitamente en los enunciados de los contenidos teóricos o prácticos de su plan de estudios (Nivel A– tabla 3 y figura 5). Aunque el porcentaje medio en la región en este aspecto es de 24%, algunos países presentan valores muy altos de este fenómeno como Paraguay con 60%, Ecuador con 53%, Bolivia con 41%, Venezuela con 38%, México con 36%, Argentina con 35% y Colombia con 31%. En datos netos, la situación más evidente de esta condición se presenta en México con 52 carreras.

Conclusiones

A nivel general, la implicación de la sostenibilidad en el currículo oficial de las carreras de arquitectura se percibe como un tema en proceso de introducción y consolidación dentro de la formación de arquitectos latinoamericanos, a partir de un reconocimiento colectivo de

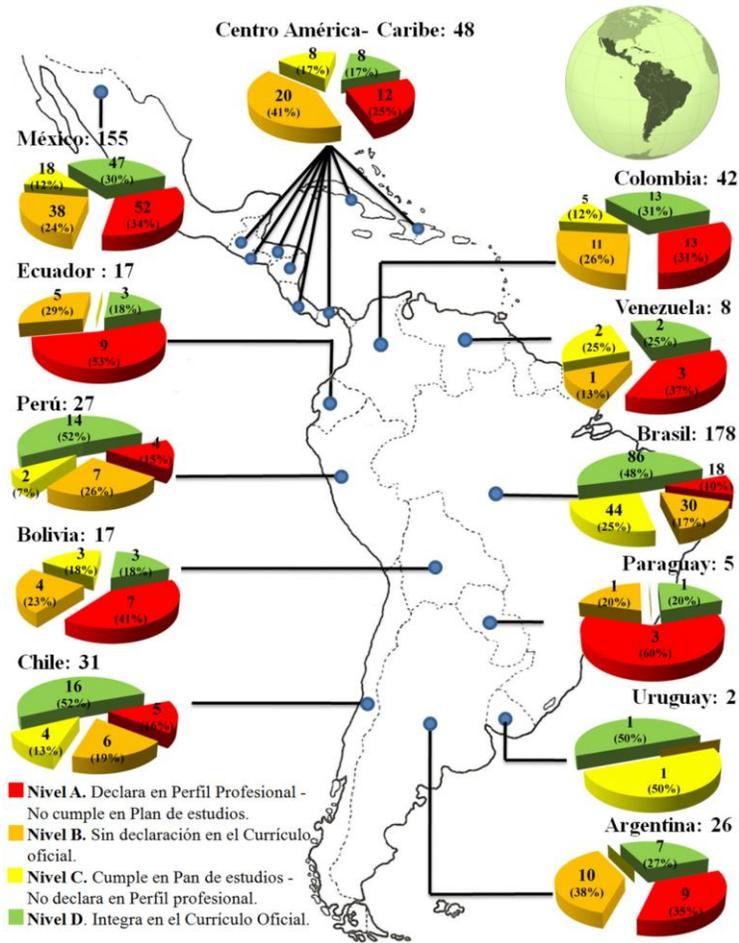


Figure 5: Infografía con los resultados generales de la etapa de correlación de sostenibilidad en el currículo oficial de las carreras de arquitectura país por país. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 5: Graphics with the overall results of the stage of correlation of sustainability in the official curriculum of the architecture programs by country. Source: Own Elaboration.

conceptos básicos definidos por las declaraciones explícitas de los perfiles profesionales y la tendencia temática de contenidos, orientados principalmente a la sostenibilidad ambiental de la arquitectura. Este nivel básico de reconocimiento colectivo del concepto puede ser identificado en el 76% de los programas analizados, mientras que en el 24% de la oferta de formación de arquitectos de toda la región, la sostenibilidad se define como parte del currículo nulo, según los resultados del nivel B de la etapa de correlación.

Las carreras que declaran explícitamente la sostenibilidad en sus perfiles profesionales, sin evidencia en sus planes de estudio (Nivel A, etapa de correlación), deben integrar contenidos teóricos y prácticos relacionados con el tema, para validar sus currículos oficiales. Este tipo de situaciones puede inducir la idea de un uso banal del concepto en el perfil profesional, afín con la

creciente masificación y uso comercial del concepto de sostenibilidad.

El 45% de las carreras de la región latinoamericana presentan un importante potencial de integración de la sostenibilidad en sus contenidos teóricos, sin embargo, se debe promover la integración a nivel del taller de proyectos en el menor plazo posible, para ser consecuentes con los principios epistemológicos de la arquitectura como lugar y su imprescindible relación con el entorno, corresponder con los retos que impone el desarrollo urbano de la región y validar la práctica de la arquitectura desde el marco macro-normativo propuesto por la UNESCO/UIA para la Formación en Arquitectura.

Identificar una muestra de 40 carreras de arquitectura, que corresponde solo al 7% de la oferta total de la región, que declaran

explícitamente la integración de la sostenibilidad en el proceso de formación asociado al taller de proyectos, con un soporte correcto de contenidos teóricos obligatorios, a partir del análisis del currículo oficial aplicado en esta investigación, permite concluir que el nivel actual de formación profesional de arquitectos, no corresponde con las necesidades latentes del desarrollo social, económico y ambiental de los países de América Latina. Ante esta situación es necesario incrementar el nivel de competencia en diseño sostenible en la formación de los arquitectos latinoamericanos, para lograr su posicionamiento y liderazgo en el proceso de desarrollo sostenible, para responder a los desafíos que determina el futuro inmediato de la región, frente a los procesos de crecimiento económico, expansión urbana y gestión de recursos naturales, con bienestar, equidad y justicia social.

A pesar de que los alcances de este análisis de currículo oficial, no permiten el estudio de aspectos determinantes de la formación profesional, a nivel didáctico y pedagógico, que posibiliten caracterizar de forma cualitativa los procesos de integración de la sostenibilidad, en la práctica académica cotidiana y en el contexto de cada escuela de arquitectura, es importante considerar que el análisis del currículo oficial constituye la primera aproximación a los fundamentos teleológicos de cada organización educativa. Por esta razón los datos obtenidos en esta investigación, constituyen un marco de referencia y punto de partida, para profundizar en el análisis del currículo operativo y oculto de las escuelas de arquitectura latinoamericanas, en búsqueda de aquellos aspectos que permitan comprender con mayor precisión como se integra la sostenibilidad y cuáles son los aspectos que favorecen o se resisten a este importante proceso de reflexión y valoración de la relación entre la arquitectura, la sociedad y el medio ambiente.

Agradecimientos

Este artículo presenta resultados preliminares de la investigación doctoral: "Pautas para la Integración Curricular de Competencias en Diseño Sostenible en la Formación de Arquitectos en América Latina", desarrollado en el Doctorado en Arquitectura y Urbanismo, de la Universidad del Bío-Bío, Chile, entre 2009 y 2012, con el apoyo de la Universidad Pontificia Bolivariana Medellín y la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Referencias Bibliográficas

- CEPAL. La hora de la Igualdad. Brechas por cerrar, caminos por abrir [en línea] Santiago, Chile. Naciones Unidas. 2010. 290 p. Disponible en: http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/39710/100604_2010-114-SES.33-3_La_hora_de_la_igualdad_doc_completo.pdf [consulta: abril 2012]
- ECLAC. Statistical Yearbook for Latin America and the Caribbean 2011. Santiago, Chile, United Nations publication, 2012. 216 p.
- EDWARDS, B. Guía Básica de la Sostenibilidad. 2a Ed., Barcelona, Gustavo Gili SA, 2006. 224p.
- EMERSON, J. ESTY, D; HSU, A; LEVY, M; de Sherbinin; A MARA, V. Y JAITEH, M. Environmental Performance Index and Pilot Trend Environmental Performance Index 2012 [en línea] New Haven, Yale Center for Environmental Law and Policy. 97 p. Disponible en: <http://epi.yale.edu> [consulta: abril 2012]
- GONZALEZ, A. BEDOYA, C; PENAGOS, G. y ALZATE, J. AADA - Arquitectura de Alto Desempeño Ambiental: más que una certificación o un indicador, una metodología conceptual para Iberoamérica, Sostenible? Reciclar Ciutat, (12): 25-39 2010-2011 [en línea], disponible en: <http://cus.upc.edu/publicacions/revista-sostenible/revista-sostenible-1> [consulta: diciembre 2011].
- GONZÁLEZ, A. Formación Inicial Basada en Competencias. Horizontes Educativos. 12(2):37-41. 2007
- MERKEL, J. Simplicidad Radical: Huellas Pequeñas en una Tierra Finita. Barcelona, Fundació Francesc Ferrer i Guàrdia, 2005. 246p.
- MUNTAÑOLA, J. La arquitectura como lugar. 2ª edición, Barcelona, Ediciones UPC, 1995. 226p.
- NOVO, M. La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible. Revista de Educación (España). (Nº extraordinario):195-217. 2009
- PNUD. Informe sobre Desarrollo Humano 2011, Sostenibilidad y equidad: Un mejor futuro para todos. Resumen. Nueva York, Estados Unidos, UN Plaza, 2011. 29p.
- POSNER, G. Análisis del Currículo. 3º Ed. México, McGraw-Hill, 2005. 315p.
- UIA. Acuerdo de la UIA sobre normas internacionales de profesionalismo recomendadas para la práctica de la arquitectura [en línea] Segunda edición, 1999. 15p. Disponible en: <http://www.uia-architectes.org/texte/england/Menu-7/3-bibliotheque.html> [consulta: abril 2012]
- UNESCO/UIA. Carta Unesco/UIA de la Formación en Arquitectura. [en línea] París 2005. Disponible en: <http://www.uia-architectes.org/texte/england/Menu-7/3-bibliotheque.html> [consulta: abril 2012].



Factibilidad de Aprovechamiento de la Energía Solar e Impactos Previsibles de las Nuevas Reformas del Código Urbano y de Edificación: Propuestas para la Ciudad de Mendoza, Argentina

Solar Energy Use Feasibility and Foreseeable Impacts of the Recent Reforms to the Urban and Building Code: Proposals for the City of Mendoza, Argentina

Mariela Arboit ^(a); Angela Diblasi ^(b); Carlos de Rosa ^(c)

^(a) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Argentina – email: marboit@lab.cricyt.edu.ar

^(b) Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Cuyo – Argentina – email: adiblasi@mendoza-conicet.gov.ar

^(c) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Argentina – cderosa@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN

Palabras clave:

Desarrollo urbano sustentable
Morfología urbana
Potencial solar

El objetivo del trabajo es generar conocimientos que permitan realizar propuestas conducentes a una mayor sostenibilidad energético-ambiental de los sistemas urbanos regionales, en función de sus características morfológicas y del recurso solar disponible. En una primera etapa se ha realizado un análisis de las zonas de alta densidad edilicia a partir de los resultados de indicadores relevantes y su análisis estadístico. Los indicadores expresan relaciones entre morfología urbana y acceso al recurso solar en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), e incluyen: Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE) y el Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV). Los resultados del análisis estadístico han permitido evaluar las correlaciones de cada variable morfológica sobre cada indicador, según distintas alternativas morfológicas y combinaciones de las mismas, lo que constituye la parte sustancial de este trabajo. En una segunda etapa se presentan los resultados parciales de un estudio que tiene como objetivo determinar los impactos energéticos ambientales de las recientes reformas del Código Urbano y de Edificación de la ciudad en estudio, en función del FAV y estimar la reducción del acceso al recurso solar respecto a la situación de referencia (actual, sin cambios) y situación futura, en una ciudad con el carácter único de Mendoza como “ciudad-oasis”. Los resultados obtenidos hasta el momento indican que la reducción de la energía solar disponible por unidad de volumen construido sería sustancial: 46,32% para muros al norte y 60,38% techos.

ABSTRACT

Keywords:
Sustainable urban development
Urban morphology
Solar potential

The aim of this study is to generate knowledge that allows proposing actions leading to greater measures of energy and environmental sustainability of the regional urban systems, as a function of their morphologic features and available solar resources. On the first stage, the work has concentrated on the analysis of urban zones of high density, considering the results obtained by the use of relevant solar energy indicators and the implementation of statistical analysis. The indicators show relationships between urban morphology and access to solar resources in Mendoza's Metropolitan Area. They include: Effective Insolation Factor (FAE) and Volumetric Insolation Factor (FAV). The results from the statistical analysis have allowed evaluating the relative weight of each morphologic variable on each indicator, in different morphologic alternatives and their combinations, which is the substantial part of this research. On the second stage, the preliminary results of a study are presented. It is aimed at determining the adverse environmental and energy consequences of implementing Mendoza's Municipality recently modified Urban and Building Code, with a function of FAV and the solar access reduction estimation from the reference situation (present without changes) and the future situation, on mid and long terms evolution of Mendoza's unique character, internationally recognized as a valuable example of an "oasis city", which should be presented. So far, the results indicate that the reductions of the available solar energy per unit of built volume, are substantial: 46,32% for north facing walls and 60,38% for roofs.

1. Introducción

En regiones áridas templado-frías con un generoso recurso solar, tales como las provincias andinas del centro-oeste de Argentina, es posible obtener importantes economías de energía convencional implementando sistemas solares pasivos de calefacción de espacios en edificios urbanos. Dichas economías están en función de una serie de variables definidas por las características morfológicas del medio urbano, de las construcciones existentes en el mismo y del microclima local.

Aún cuando el impacto del clima en las condiciones térmicas de los edificios es claramente predecible, resulta más difícil estimar sus efectos sobre las condiciones ambientales de los espacios urbanos abiertos, en los que existe una mayor complejidad de relaciones entre las variables intervinientes. Esta situación plantea dificultades cuando se apunta a optimizar el uso de la energía en los edificios urbanos existentes, lo que involucra decisiones a nivel de planeamiento urbano y diseño de los edificios, considerando además la incorporación de tecnologías adecuadas que permitan reducciones

en el consumo de energía convencional (Owens, S. 1986).

Por otra parte, el máximo reciclaje posible del parque edilicio existente es esencial para minimizar los impactos ambientales a lo largo de las tres etapas fundamentales del ciclo de vida de las construcciones: desde la reducción de las extracciones de materiales de canteras, a través de la mínima demanda de energía durante su ciclo operativo y sus consecuentes emisiones, hasta la máxima reducción de los residuos sobre el ecosistema en su disposición final.

El objetivo principal del presente trabajo es profundizar el conocimiento sobre los indicadores energéticos que permitirán el establecimiento de bases técnicas para normativas futuras.

Para obtener economías en el consumo de energía, se propone maximizar el uso del recurso solar a partir de la optimización de la morfología urbano-edilicia para calefacción de espacios, y mejorar las características de conservación de energía de los edificios, en el marco de políticas que apunten a alcanzar la mayor sustitución posible de combustibles fósiles y el mínimo impacto ambiental (Jenks et al., 1996).

En la segunda etapa del trabajo se presentan los primeros resultados de un estudio en avance, que se está llevando a cabo con el fin de predecir, con razonable aproximación, las consecuencias energético-ambientales adversas de la implementación de reformas al Código Urbano y de Edificación preparado por la Municipalidad de la ciudad de Mendoza (Argentina) cuyo objetivo principal ha sido densificar el tejido urbano.

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), cuenta actualmente con una población cercana al millón de habitantes y ocupa una extensión aproximada de 114.000 ha. La región estudiada está localizada en el centro-oeste de Argentina (latitud: -32,88, longitud: -68,85, altitud: 827 m.s.n.m.); presenta un clima mesotermal árido con inviernos templado-fríos, veranos cálido-secos e intensa radiación solar durante todo el año (media anual: 18,06 MJ/m² día); otros datos climáticos significativos son: horas anuales en confort: 21,53 %, calefacción necesaria: 70,14 % y enfriamiento necesario: 8,33 %. Los valores de las variables climáticas del AMM proveen suficiente justificación para proponer el máximo aprovechamiento del recurso solar en áreas urbanas, en conjunción con estrategias no-tradicionales de conservación de energía en las construcciones de la ciudad. Esto permitirá un avance significativo en el camino hacia la futura sustentabilidad energética y ambiental de los medios urbanos regionales (Basso et al., 2003), (Fernández et al., 2001).

2. Metodología - Trabajo Previo

La metodología de esta investigación ha sido desarrollada para evaluar entornos de baja densidad edilicia (Arboit, et al. 2010). Las etapas metodológicas ya concluidas han sido:

I. Recopilación de la información catastral disponible y mapeo de la misma para toda el AMM. Zonificación de áreas de alta densidad a considerar en el estudio.

II. Definición de un conjunto de variables morfológicas, urbanas y edilicias, para el análisis de su incidencia en el acceso al recurso solar de los edificios urbanos.

- *Variables urbanas*: Orientación de las Manzanas (Orient): Se refiere al ángulo formado por el lado más largo de la manzana y la directriz N-S. Se determinaron diversos tipos en función del ángulo, resultando 0 (0°) para la directriz norte, +6 (+ 90°) para el este y -6 (- 90°) para el oeste. No han sido consideradas en el presente

estudio otras orientaciones ya que la trama en cuadrícula de alta densidad comparte la misma disposición angular en el tejido urbano regular con un rango de 0° a 13°. Ancho de los Canales Viales (Ancho): Se toman los anchos reales de calles existentes entre líneas municipales en el AMM: 13 y 16 m. (secundarias), 18 y 20 m. (primarias) y 30 m. (avenidas).

- *Variables edilicias*: Morfología edilicia (MfEd): está representada por seis tipos que consideran situaciones: homogéneas, heterogéneas, compactas y abiertas (combinadas) presentes en la morfología actual. Factor de Forma (FF): es la relación entre el área de la envolvente de un edificio y su volumen interior. Se expresa en m²/m³. Factor de Ocupación del Suelo (FOS): es la relación entre el área de un edificio construida en planta baja y la superficie total construible del terreno. Se expresa como fracción. (Código de Edificación de Mendoza, 2000). Factor de Ocupación Total (FOT): es la relación entre el área total construida de un edificio y la superficie total construible del terreno. Se expresa como fracción (Código de Edificación de Mendoza, 2010) (Tabla 1).

Tabla 1: Valores de las variables urbanas edilicias del conjunto de análisis. Fuente: Elaboración Propia.

Table 1: Values of urban and building variables of the sample set. Source: Own Elaboration.

Manzanas	VARIABLES EXPLICATIVAS					
	VARIABLES URBANAS		VARIABLES EDILICIA			
	Orientación de la Trama Urbana (°)	Ancho de canal vial (m)	Morfología Edilicia	Factor de Forma Total	FOS	FOT
1	5	15,5	2	8,04	0,91	2,05
2	5	15,5	2	6,57	0,86	1,80
3	5	17,2	4	6,60	0,79	2,55
4	13	30,0	1	5,41	0,82	3,96
5	13	30,0	3	5,20	0,88	5,26
6	13	30,0	6	4,65	0,85	3,82
7	13	20,0	3	3,89	0,78	2,61
8	13	20,0	5	4,60	0,76	3,24
9	13	20,0	2	5,69	0,83	2,45
10	13	24,0	4	4,47	0,74	3,77
11	13	20,0	4	4,17	0,78	2,00

III. Selección de una muestra representativa de manzanas urbanas para su análisis detallado. En la actualidad se cuenta con los datos relevados de 32 manzanas urbanas del AMM de traza en cuadrícula, con un nivel de información detallada. De un universo total de 81 manzanas de alta densidad, típicas del centro de la ciudad de Mendoza, en el presente trabajo se ha

considerado necesario ampliar el conjunto de análisis a 11 manzanas. La metodología partió de determina un conjunto preliminar a partir de la representatividad porcentual de los distintos tipos de cada variable y según la misma, se procede a completar un conjunto de 11 unidades. La distribución espacial se realiza mediante un método aleatorio (*random*) (Fig. 1).

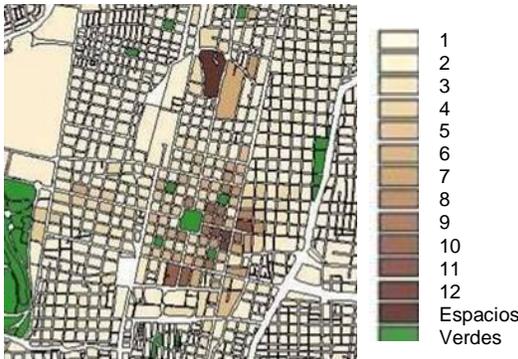


Figura 1: Densidad edificatoria del AMM. Fuente: Basso et al., 2003.

Figure 1: Building density of MMA. Source: Basso et al., 2003.

IV. Relevamientos de las unidades de estudio permite conocer y medir "in situ", qué elementos existen en el lugar y cuál es su situación edilicia, detallando cada uno de los componentes para poder posteriormente elaborar modelos 3D de las tipologías predominantes dentro de la trama urbana. Cada conjunto edilicio está compuesto por los edificios construidos sobre la misma manzana, unificando en el cálculo la sumatoria de todos los valores, como si se tratara de un solo edificio.

V. Determinación del acceso al sol de superficies verticales orientadas al norte, mediante el uso de un modelo gráfico-computacional (Mesa, 2000) que permite dibujar y luego calcular las áreas de las morfologías graficadas sobre perspectivas axonométricas "vistas desde el sol". Con el modelo se simulan las 5 (cinco) horas centrales del día y para 6 (seis) días-tipo mensuales de invierno.

VI. A continuación, se desarrolla como parte de la investigación un conjunto de indicadores solares expresivos de las distintas relaciones entre la morfología urbana y el aprovechamiento solar de las unidades de análisis:

- *Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE)* (1): Expresa la relación entre la sumatoria de la radiación incidente sobre áreas de fachadas orientadas al norte (+/-15°), parcial y totalmente

asoleadas, para cada hora del día-tipo mensual de cálculo, durante un ciclo anual de calefacción, y la sumatoria de la radiación incidente sobre las mismas áreas, libres de todo enmascaramiento, durante el mismo periodo, como porcentaje. El FAE proporciona una medida del enmascaramiento de superficies potencialmente colectoras para calefacción de espacios, en función de las variables de la morfología urbana consideradas. Su expresión matemática es:

$$FAEfn = \frac{\sum_{m:4}^{08} \sum_{d:1}^{30} \sum_{h:9.3}^{14.30} [Afn - \left(\frac{Aes}{m-d-h} \right) \cdot R_{m-d-h}]}{Nm \cdot Nd \cdot Nh \cdot (Afn \cdot R_{max})} \quad (1)$$

Donde:

- Afn* Área total potencialmente colectoras en fachadas norte (m²),
- Aes* Área de enmascaramiento sólido: fachada potencialmente colectoras afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m²),
- R(m-d-h)* Radiación horaria diaria en fachadas norte para cada mes de la estación de calefacción (Wh/m²),
- Nm* N° de meses a calefaccionar (n),
- Nd* N° de días mensuales (n),
- Nh* N° de horas diarias(n)

- *Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV)* (2): Expresa la relación entre la energía total neta incidente sobre superficies verticales al norte (+/- 15°), no enmascaradas, durante un ciclo anual de calefacción, y el volumen total de los espacios a calefaccionar.

Este indicador es posiblemente el que mejor describe el potencial solar para calefacción de espacios, ya que está relacionado con el volumen a calefaccionar mediante sistemas solares pasivos, en particular, la Ganancia Directa, en MJ/m² año. Su expresión matemática es:

$$FAVfn = \frac{\sum_{m:4}^{08} \sum_{d:1}^{30} \sum_{h:9.3}^{14.30} [Afn - \left(\frac{Aes + \left(\frac{Ap \cdot (1-P)}{m-d-h} \right)}{m-d-h} \right) \cdot R_{m-d-h}]}{\text{Volumen a calefaccionar}} \quad (2)$$

Donde,

- Afn* Área total potencialmente colectoras en fachadas norte (m²),
- Aes* Área de enmascaramiento sólido (construcciones): fachada potencialmente

colectora afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m^2),
Aes Área de enmascaramiento permeable (construcciones): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por el arbolado,
R(m-d-h) Radiación horaria diaria en fachadas norte para cada mes de la estación de calefacción (Wh/m^2),
m N° de meses a calefaccionar (n), d. N° de días mensuales (n), h: N° de horas diarias (n).

Los dos indicadores definidos para el cálculo en superficies verticales (muros norte) son replicables para superficies horizontales de techos asoleados a fin de determinar el potencial solar de calentamiento de agua para uso doméstico.

Se calcularon los valores de los dos indicadores para el total del conjunto muestral de 11 unidades considerando la sumatoria de energía incidente en muros norte y techos (Tabla 2) (Fig. 2).

Tabla 2: Valores de los Indicadores. Fuente: Elaboración Propia.

Table 2: Indicators values. Source: Own Elaboration

ESCENARIOS	VARIABLES RESPUESTA	
	FAV	FAE
1	41,69	7,28
2	56,96	6,86
3	34,5	9,24
4	33,4	43,82
5	28,47	53,47
6	29,97	38,02
7	33,29	33,68
8	21,23	28,87
9	43,01	28,59
10	32,61	30,12
11	40,89	16,71



Figura 2: Típica zona de alta densidad. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 2: Typical downtown high density zone. Source: Own Elaboration

3. Metodología – Trabajo Actual

Los pasos metodológicos de la investigación han sido:

- Determinación, en entornos actuales de alta densidad, de las posibles relaciones y el nivel de incidencia de las variables morfológicas (variables explicativas: Orientación de las Manzanas, Ancho de los Canales Viales, Morfología Edilicia, Factor de Forma, Factor de Ocupación del Suelo, Factor de Ocupación Total) sobre los dos indicadores energéticos (variables respuesta: FAE y FAV), a partir de un Análisis Estadístico de Regresión Lineal Múltiple (MERLM).

- Determinación para un caso de estudio de alta densidad edilicia de áreas asoleadas de muros al norte y techos, en la situación de referencia (actual, sin cambios) y modificada (máxima densificación posible permitida por la nueva normativa propuesta) (Bragagnini, S. 2009). Estudio comparativo de los valores obtenidos para la manzana seleccionada y las reducciones del potencial solar producto de la inserción de nuevos edificios permitidos por las modificaciones al código propuestas por el municipio.

4. Análisis de Resultados

4.1 Para la variable FAE

En la Figura 3 se presentan las correlaciones y las tendencias estimadas de cada una de las variables consideradas en el eje horizontal con la variable FAE.

I. La gráfica superior de la izquierda muestra una tendencia creciente entre las medias de la variable FAE a medida que aumenta la Orientación de las Manzanas (Orient). Esta tendencia se refleja en el coeficiente de correlación positivo, $r=0.7746$, mientras que los valores estimados de estas medias son $m_1= 7.79$ para la media de FAE con 3° de Orient y $m_2= 34.16$ para 13° . Las variabilidades de FAE en cada una de estas categorías son marcadamente diferentes, $s_1=1.27$ y $s_2=11.09$. Para analizar esta variable habría que considerar un mayor número de observaciones.

II. Los gráficos centrales e inferior de la izquierda muestran la escasa correlación y casi nula tendencia de las variables Morfología Edilicia (MfEd) y FOS con la variable FAE (correlaciones absolutas menores a 0.1 en ambos casos).

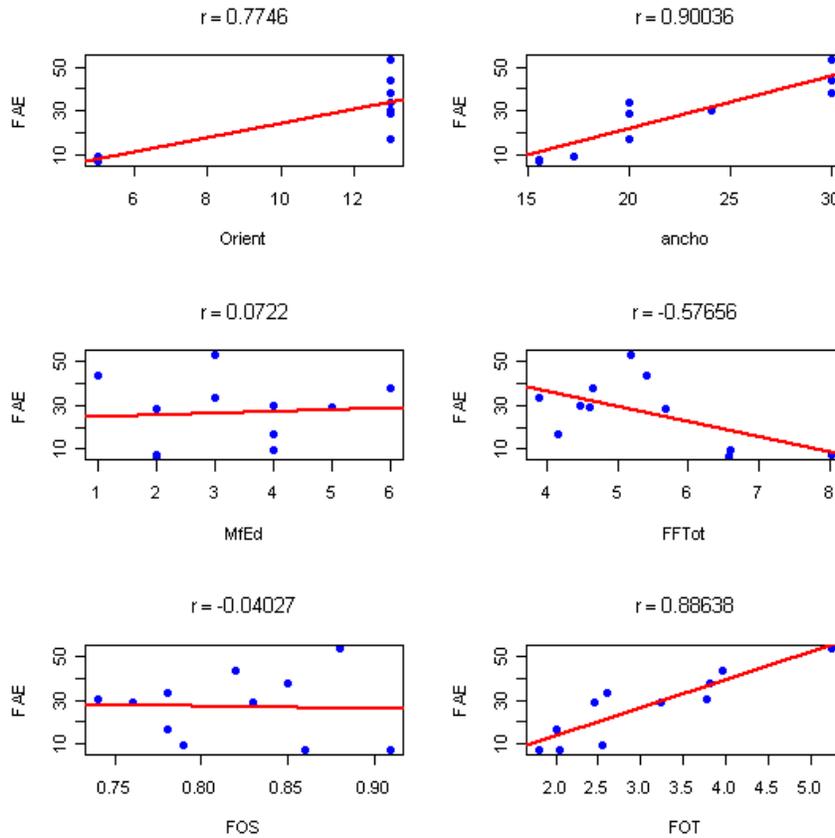


Figura 3: Rectas de regresión y coeficientes de correlación de la variable FAE con cada una de las variables explicativas. Fuente: Elaboración Propia

Figure 3: Regression lines and correlation coefficients for the variable FAE with each explanatory variable. Source: Own Elaboration

III. Tal como muestran los gráficos superior e inferior de la derecha las correlaciones entre ancho de los canales viales y FOT con FAE son positivas y considerables ($r=0.90036$ y $r=0.88638$). Esto implicaría una importante influencia de la explicación de FAE para estas variables.

IV. La gráfica del centro a la izquierda presenta una tendencia decreciente de FAE a medida que aumentan los valores de FFTot ($r=-0.57656$). Sin embargo, la relación entre ambas variables parecería ser no lineal.

Si consideramos un ajuste por mínimos cuadrados de la variable FAE en función de las variables anteriores, podemos observar un adecuado comportamiento de los residuos, tal como muestra la Figura 4. Sería de esperar en este caso que un aumento del tamaño de la muestra diera un buen ajuste para explicar la variable FAE mediante las restantes.

En el análisis de los resultados del FAE, el *Ancho de los Canales Viales* resulta claramente prioritario en el acceso al recurso solar efectivo

con valores más altos de disponibilidad solar a medida que aumenta el ancho de calles. Canales viales más anchos permitirán un menor enmascaramiento solar de fachadas potencialmente colectoras al norte sobre canales viales de dirección este-oeste.

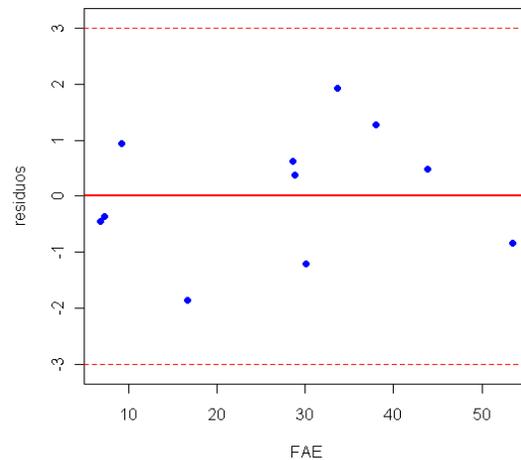


Figura 4: Gráfico de los residuos del modelo lineal ajustado versus la variable respuesta FAE. Fuente: Elaboración Propia

Figure 4: Plot of the Linear Model residuals against the response variable FAE. Source: Own Elaboration

FAE muestra además alta sensibilidad respecto a la variación del *FOT*, debido a que construcciones de varios niveles presentan fachadas más altas al norte aumentando el área de captación y disminuyendo la relación entre áreas potencialmente colectoras y áreas de enmascaramiento sólido.

4.2 Para la variable FAV

La Figura 5 muestra las correlaciones y tendencias estimadas entre la variable FAV y cada una de las variables que podrían considerarse como explicativas de su variabilidad.

En relación a la variable FAV podríamos considerar que todas las variables explicativas son prioritarias en el acceso al recurso solar, excepto el Ancho de los Canales Viales que tiene una menor correlación con la variable respuesta.

I. La gráfica superior de la izquierda muestra una mayor variabilidad de la variable FAV para la 5° de orientación que para la 13°. Para analizar esta diferencia de variabilidad habría que considerar un mayor número de observaciones. Las desviaciones típicas de FAV para estas categorías son, respectivamente, $s_1=11.47$ y $s_2=6.48$. Las medias, por otra parte, marcan una tendencia decreciente (como se observa a través del coeficiente de correlación negativo). Estas medias estimadas en cada una de estas categorías son: 5°, $m_1=44.38$, y $m_2=32.86$ para 13°.

II. En la gráfica superior de la derecha no se observa una tendencia en las medias de FAV para los valores del Ancho de los Canales Viales. El valor del coeficiente de correlación de Pearson en este caso es casi nulo ($r=0.00292$).

III. Las gráficas: central izquierda e inferior derecha, muestran comportamientos similares de las variables Morfología edilicia (Mf.Ed) y *FOT* en relación a FAV. En efecto, FAV presenta una tendencia negativa en relación a ambas marcadas por los coeficientes de correlación, $r=-0.54348$ y $r=-0.68145$ respectivamente.

IV. Por otra parte, las gráficas central derecha e inferior izquierda también muestran comportamientos similares de las variables *FFTot* y FOS en relación a FAV. En estos casos se observa una tendencia creciente, más marcada para *FFTot* que para FOS, lo cual podría indicar que la variable *FFTot* podría ser más importante para explicar la variación de FAV. Lo muestran

los coeficientes de correlación $r=0.49841$ para *FFTot* y $r=0.38011$ para FOS.

Si consideramos un ajuste por mínimos cuadrados de la variable FAV en función de las variables anteriores, podemos observar un adecuado comportamiento de los residuos, tal como muestra la Figura 6. Sería de esperar en este caso que un aumento del tamaño de la muestra diera un buen ajuste para explicar la variable FAV mediante las restantes. La gráfica siguiente muestra los residuos en función de los valores predichos por un ajuste por mínimos cuadrados.

En el análisis de los resultados el indicador *FOT*, relacionado a la altura edilicia, resulta claramente prioritario en el acceso al recurso solar, una mayor densidad de volumen produce una menor disponibilidad de energía por m³ construido y un mayor enmascaramiento de las superficies potencialmente colectoras.

El segundo indicador en importancia es *Morfología Edilicia*, con valores más altos para las situaciones compactas y homogéneas. En el caso de los conjuntos heterogéneos, la diversidad morfológica arroja situaciones desfavorables, si se comparan con conjuntos homogéneos y compactos que se acercan al diseño óptimo.

El Factor de Forma que expresa el grado de compacidad del volumen construido, tiene una importancia fundamental cuando se trata de minimizar los perímetros de pérdidas de las envolventes edilicias; cuanto menor sea el valor del FF, mayor será la eficiencia energética. En el caso del FAV, al haber una mayor disponibilidad de área expuesta en relación al volumen, se observa una tendencia creciente inversa que debe completarse con un estudio que relacione la carga térmica obtenida por el aprovechamiento de la radiación solar con las pérdidas energéticas. Lo mismo ocurre con el indicador FOS en relación a FAV; se observa una tendencia decreciente debido a la mayor disponibilidad de áreas colectoras en techos y muros.

4.3 Análisis del paisaje urbano actual y modificado

Se ha seleccionado un caso de estudio de la situación de máxima densidad edilicia dentro de la nueva zonificación propuesta por el municipio. Se ha elegido este caso de análisis por las características de las parcelas que lo componen y la disponibilidad de terreno baldío que posibilitan la construcción de mayores volúmenes y máximas alturas.

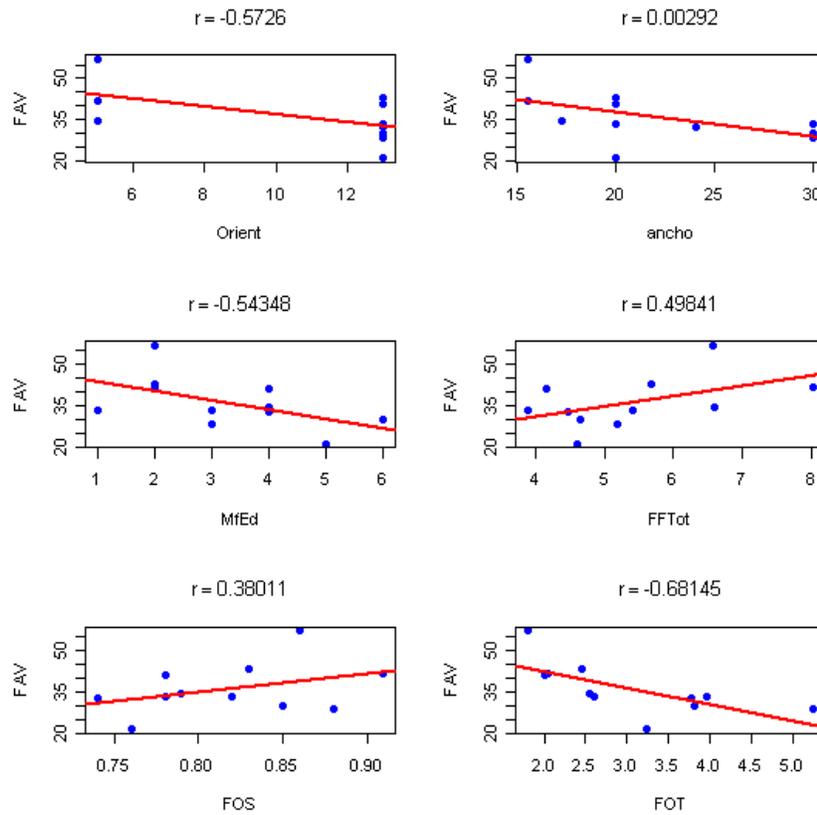


Figura 5: Rectas de regresión y coeficientes de correlación de la variable FAV con cada una de las variables explicativas. Fuente: Elaboración Propia
Figure 5: Regression lines and correlation coefficients for the variable FAV with each explanatory variable. Source: Own Elaboration

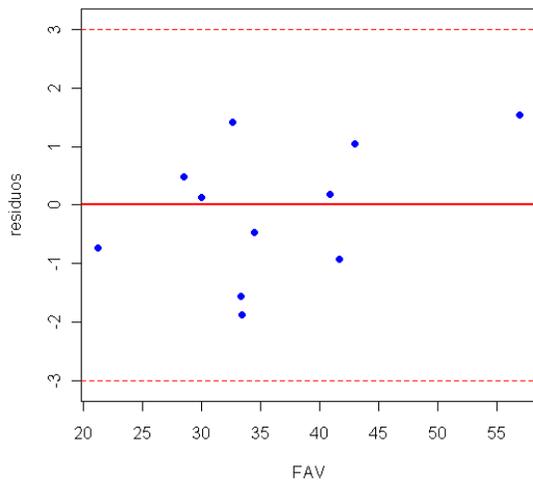


Figura 6: Gráfico de los residuos del modelo lineal ajustado versus la variable respuesta FAV. Fuente: Elaboración Propia
Figure 6: Plot of the Linear Model residuals against the response variable FAV. Source: Own Elaboration

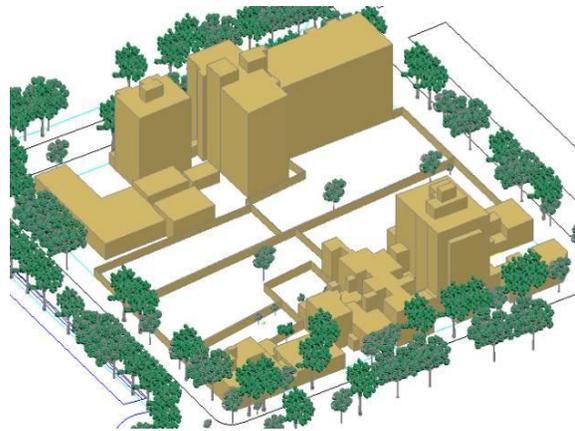


Figura 7: Zona Centro. Alta Densidad. Estado actual. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 7: Central Zone. High density. Present Status-Base Case (Present Situation). Source: Own Elaboration

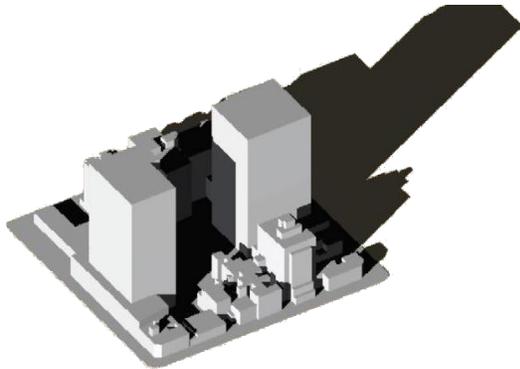


Figura 8: Reforma de máxima. Sombras proyectadas por los edificios. 21/06 - 9hs. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 8: Maximum reform. Shadows cast by buildings on June 21-9.00hs. Source: Own Elaboration.

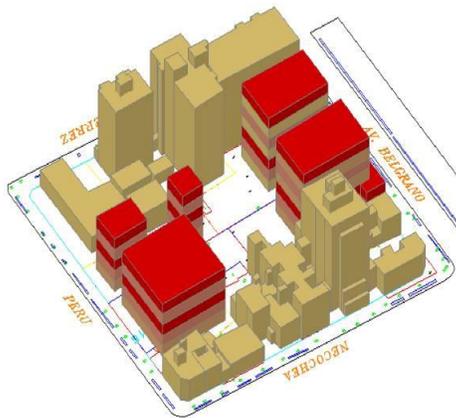


Figura 9: Zona Centro. Comercial C1. Alta Densidad. Reforma de mínima. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 9: Central Zone. Commercial C1. High density minimum reform. Source: Own Elaboration

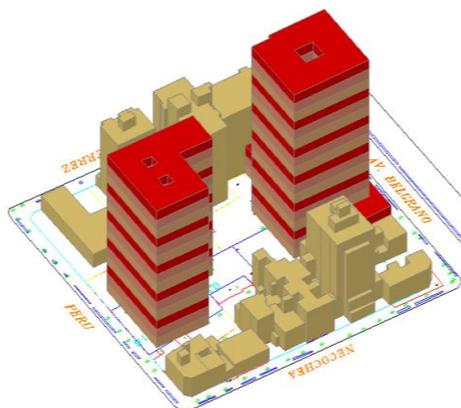


Figura 10: Zona Centro. Comercial C1. Alta Densidad. Reforma de máxima. Fuente: Elaboración Propia
Figure 10: Central Zone. Commercial C1. High density maximum reform. Source: Own Elaboration.

Conclusiones

El trabajo permitió analizar zonas de alta densidad edilicia a partir de los resultados de

indicadores relevantes y su análisis estadístico, determinando las relaciones entre la morfología urbana y acceso al recurso solar en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), y evaluar las correlaciones de cada variable morfológica sobre cada indicador, según distintas alternativas morfológicas. Las variables: FOT, Morfología Edilicia y Ancho de Calles resultan ser prioritarias en el acceso al recurso solar.

En cuanto al estudio para determinar los impactos energéticos ambientales de las recientes reformas del Código Urbano y de Edificación de la ciudad en estudio, en función del FAV: si se compara la situación de referencia (actual, sin cambios) y modificada (máxima densificación propuesta por el nuevo código de edificación), los valores están demostrando que la estrategia de densificación de la trama urbana no es de aplicación ilimitada. (Tabla 3; Figuras 11 y 12).

Tabla 3: Comparación de los resultados. Fuente: Elaboración Propia.

Table 3: Results contrast. Source: Own Elaboration

Referencia: SITUACIÓN ACTUAL		
FAV _{muros norte}	93,51	MJ/m ³
FAV _{techos}	90,98	MJ/m ³
Modificada: MÁXIMA DENSIFICACIÓN		
FAV _{muros norte}	50,2	MJ/m ³
FAV _{techos}	36,05	MJ/m ³

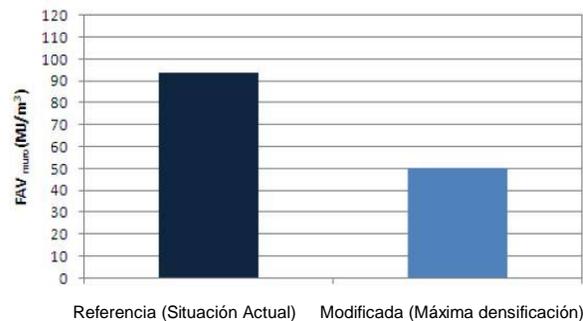


Figura 11: Valores de FAV- fachadas norte. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 11: FAV values- North facing walls. Source: Own Elaboration

Los resultados obtenidos indican una considerable reducción de energía solar disponible por unidad de volumen para alta densidad: 46,32% para muros al norte y 60,38% techos. En lo ambiental, el deterioro previsible de la calidad del paisaje urbano, podría ser duradero y difícilmente recuperable.

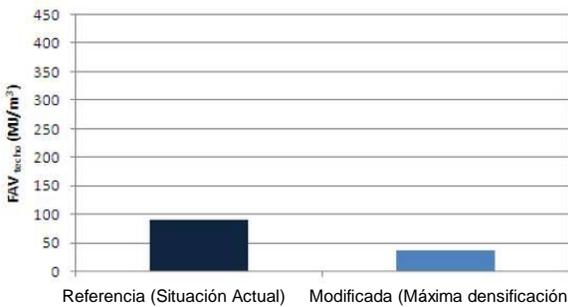


Figura 12: Valores de FAV- techos. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 12: FAV values- roofs. Source: Own Elaboration.

Por último, cabe mencionar que los resultados del Modelo Estadístico constituyen un aporte metodológico y práctico de primera magnitud para el desarrollo de investigaciones futuras en la problemática del uso del recurso solar en medios urbanos de la región y por lo tanto, uno de los resultados más valiosos de esta investigación. En este sentido el estudio en avance de la “Factibilidad de la Implementación de Energías Renovables para el Desarrollo Sostenible del Sector Edificio Urbano” y las propuestas de normativas municipales para la implementación progresiva de dichas estrategias son fundamentales.

Recomendaciones

En cuanto a las recomendaciones formales en el planeamiento de la ciudad de Mendoza se adjunta un listado de los aspectos generales relevantes y las estrategias a tener en cuenta para confrontarlos:

- Provisión de energía solar al sector edilicio urbano ante el agotamiento cierto de los combustibles fósiles, el gas natural en particular, en plazos relativamente breves y el acceso al sol restringido por la edificación en altura, cuando no se ha tenido en cuenta su utilización energética.

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, debida a la combustión de energéticos fósiles en medios urbanos, lo que es condicionado por el punto precedente, ante la evidencia de que el cambio climático global ya se ha iniciado (Correa, E. 2008).

- Creación de un sistema de transporte urbano eficiente y “limpio” que sustituya al automóvil particular para movilizar a la población hacia y desde sus lugares de trabajo, evitando el despilfarro de energía y minimizando la contaminación.

- Preservación de los servicios ambientales y funciones de la arboleda urbana en el ambiente hostil que se generaría debido a la multiplicación de construcciones en altura en las que no se ha tenido en cuenta el espacio vital y el asoleamiento requerido por los árboles para su supervivencia.

- Preservación de la fisonomía ambiental de Mendoza, reconocida internacionalmente como valioso ejemplo de “ciudad oasis”.

- Mitigación del fenómeno de “isla de calor urbana” que se verá seguramente agravado por la presencia masiva de edificación en altura y una arboleda en progresivo deterioro y por el calentamiento global.

- Reducción de los flujos de energía y materia (insumos y deshechos) a través del sistema urbano, que son necesarios para el funcionamiento de altas densidades poblacionales y edilicias.

- Refuncionalización de las redes de servicios existentes para abastecer a cantidades de población muy superiores a las originalmente previstas.

Muchos otros podrían citarse, en las escalas macro, micro-urbanas y edilicia.

- Control de la expansión de la periferia urbana sobre las tierras del ecosistema pedemontano y del oasis productivo.

- Máximo uso de los vacíos urbanos existentes compatible con proporciones recomendadas de espacios abiertos vegetados (parques y plazas).

- Ambas estrategias propuestas precedentemente apuntan a lograr en el futuro un hecho urbano que se aproxime al modelo urbanístico conocido como “ciudad compacta”.

- Asegurar para la ciudad futura una presencia del arbolado público que defina la fisonomía de la misma y asegure los máximos beneficios ambientales y energéticos posibles en ambas estaciones extremas, es decir: reducción de la “isla de calor” en verano y máxima permeabilidad solar en invierno.

- Adecuada orientación de las tramas vehiculares en nuevos loteos, para maximizar las posibilidades de captación solar.

- Minimizar el sellamiento de suelos en los espacios públicos y establecer límites para el sellamiento en espacios abiertos privados.

Agradecimientos

A la Arq. Mirza Basso y al Ing. Jorge Fernández Llano por su gran contribución y asistencia en sus respectivas especialidades.

La mayor parte del trabajo presentado fue realizado dentro del proyecto de investigación "Factibilidad económica de la implementación de energías renovables para el desarrollo sostenible del sector edilicio y urbano en ciudades andinas con climas secos. Caso área Metropolitana de Mendoza", desarrollado en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA), perteneciente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Referencias bibliográficas

ARBOIT, M; MESA, A; DIBLASI, A; FERNANDEZ LLANO, J. y DE ROSA, C. Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. *Renewable Energy* 35:1551-1558, 2010.

BASSO, M; FERNANDEZ, J y DE ROSA, C. Urban

morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future. *En: PLEA*. Chile: 2003.

BRAGAGNINI, S. Una propuesta para orientar el desarrollo de la ciudad. Info-guía de la Arquitectura. Mendoza: Colegio de Arquitectos de Mendoza, 2009.

CORREA, E. Tesis Doctoral: Isla de Calor Urbana – El caso del Área Metropolitana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta. Inédito. 2008.

FERNÁNDEZ, J; ESTEVES, A. y DE ROSA, C. Zonificación climática de la Provincia de Mendoza. XV Reunión de Trabajo de ASADES. San Fernando del Valle de Catamarca. 2001.

JENKS, M; BURTON, E; WILLIAMS, K. The Compact City. A Sustainable Urban Form?, 1a ed. UK, E&FN SPON. 1996.

MESA, N. Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico-computacional. *En: ISES MILLENNIUM Solar Forum*, Mexico, DF. Asoc.Nacional de Energía Solar, México, 113-117. 2000.

OWENS S. Energy planning and urban form. London Pion Ltd. 1986.

Recibido: 12|04|2012
Aceptado: 03|05|2012



Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos

Parametric Analysis of Architectural Volumes through Genetic Algorithms

Pedro Salcedo Lagos^(a)

(a) Departamento de Metodología de la Investigación e Informática Educativa, Facultad de Educación, Universidad de Concepción – Chile – email: psalcedo@udec.cl

RESUMEN

Palabras clave:
Problemas ambientales
Diseño arquitectónico
Algoritmos genéticos
Optimización estructural

En el último tiempo el diseño arquitectónico ha venido evolucionando, debido entre otros aspectos, a la aparición de técnicas de diseño digital que permiten la generación de geometrías a partir de la definición de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales entre ellos. Los procesos de diseño basados en estas tecnologías permiten describir formas con capacidad de variar y adaptarse a requerimientos múltiples o a criterios de evaluación específicos, surgiendo así el problema de identificar la mejor solución arquitectónica, lo que se ha planteado en varias experiencias, gracias a la utilización de la técnica de algoritmos genéticos. En este trabajo se demuestra la posibilidad de implementar un análisis paramétrico de volúmenes arquitectónicos con algoritmos genéticos, logrando compatibilizar requerimientos funcionales, ambientales y estructurales, con un método efectivo de búsqueda para seleccionar una variedad de soluciones apropiadas gracias a las tecnologías digitales.

ABSTRACT

Keywords:
Environmental problems
Architectural design
Genetic algorithms
Structural optimization

During the last time, architectural design has developed partly due to new digital design techniques, which allow the generation of geometries based on the definition of initial parameters and the programming of formal relationship between them. Design processes based on these technologies allow to create shapes with the capacity to modify and adapt to multiple constrains or specific evaluation criteria, which raises the problem of identifying the best architectural solution. Several experiences have set up the utilization of genetic algorithm to face this problem. This paper demonstrates the possibility to implement a parametric analysis of architectural volumes with genetic algorithm, in order to combine functional, environmental and structural requirements, with an effective search method to select a variety of proper solutions through digital technologies.

1. Introducción

En el diseño arquitectónico se utiliza hoy, en forma general, el término “Diseño Paramétrico” para nombrar al conjunto de herramientas de diseño digital desarrolladas en los últimos años que permiten manejar relaciones entre las geometrías y variables que las determinan. En otras palabras, a través de las técnicas de Diseño Paramétrico hoy es posible la generación de geometrías a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. Los procesos de diseño basados en estas técnicas permiten describir formas con la capacidad de variar y adaptarse a requerimientos múltiples o a criterios de evaluación específicos. De acuerdo a Michael Meredith, “el diseño paramétrico es un proceso que no está basado en métricas cuantitativas, sino en relaciones coherentes entre valores, permitiendo que cambios en un solo aspecto desarrollen alteraciones dentro del sistema total” (Meredith, 2008).

La aplicación de estas técnicas en diseño arquitectónico permite ampliar el rango de soluciones que otorgan los métodos tradicionales de diseño análogo o digitales no-paramétricos. La formulación de los problemas de diseño a través de sistemas asociativos da al diseñador una perspectiva integrada en fases tempranas capaz de explorar múltiples soluciones bajo restricciones formales determinadas. “Las herramientas de diseño digital se están desplazando de su rol limitado a la producción de planos finales, integrando modelación tridimensional, herramientas de análisis y manufactura para abordar el diseño de los edificios y estructuras actuales, utilizando los recientes desarrollos paramétricos y geometría asociativa que pueden variar de acuerdo a los conceptos definidos por el diseñador” (Sheaa et al., 2005). Sin embargo, estas herramientas presentan un nuevo problema; el de la selección de la solución más eficaz para resolver un problema entre cientos que es posible generar en un reducido espacio de tiempo.

El problema mencionado, es posible resolverlo a través de diversas técnicas de Inteligencia Artificial (IA), como los algoritmos de búsqueda informados (AOF, AO* y otros) o los Algoritmos Genéticos. Según Chen et al., “para este tipo de problemas, los AG exploran eficientemente el espacio de soluciones, sin requerir enormes cantidades de memoria como otros algoritmos de búsqueda tradicionales” (Chen et al., 2001).

Fue John Holland en los años 70, quién incorporó como técnica de IA la de los algoritmos genéticos (Goldberg, 1998). Son llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genético molecular. Estos algoritmos modifican un conjunto de datos de manera similar a una población de individuos sometiendo a acciones selectivas semejantes a la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una evaluación de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados.

Como técnica de IA, los algoritmos genéticos forman parte de los algoritmos evolutivos, los cuales incluyen las estrategias de evolución y programación genética. En su funcionamiento establecen una analogía entre el conjunto de soluciones de un problema y el conjunto de individuos de una población natural, cada uno llamado “fenotipo”, codificando la información de cada solución en una cadena, generalmente binaria, de manera similar al cromosoma. Los símbolos que forman la cadena son los llamados “genes”, y su representación general es el “genotipo”. Los cromosomas evolucionan a través de iteraciones, llamadas generaciones. En cada generación, los cromosomas son evaluados usando alguna medida de aptitud, denominada en los AG como función objetivo o “fitness”.

Las siguientes generaciones (nuevos cromosomas), llamadas descendencia, se forman utilizando tres tipos de operadores, el de mutación, el de cruzamiento y el de selección.

En forma general un AG procede de la siguiente forma:

- I. Evaluar la puntuación (fitness) de cada uno de los individuos (genes).
- II. Permitir a cada uno de los individuos reproducirse, de acuerdo con su puntuación.
- III. Permitir que los individuos de la nueva población intercambien material genético, y que alguno de los bits de un gen se vea alterado debido a una mutación espontánea.

Cada uno de estos pasos consiste en la aplicación de un operador a una cadena binaria denominan operadores genéticos. Hay tres operadores principales: selección, crossover o recombinación, y mutación; aparte de otros operadores genéticos no tan comunes.

1.1 Algoritmos Genéticos en arquitectura

Se ha experimentado la aplicación de algoritmos genéticos en diseño arquitectónico, por ejemplo en Tsangrassoulis (2006), para definir ventanas de fachadas según su tipo de vidrio, dimensión, apertura visual y sombreadamiento, con el fin de obtener soluciones con un menor consumo energético. Cada alternativa de diseño fue codificada como una cadena (string) de números, que en AG se denomina cromosoma. También Nahara y Terzidis (2006) desarrollaron una aplicación de AG para resolver múltiples restricciones de un edificio habitacional, seleccionando una configuración óptima para tres tipos de departamentos en un conjunto de 200 unidades. Su trabajo presenta una amplia discusión sobre complejidad en el diseño y el dilema de autoría al aplicar AG culminando con una afirmación positiva sobre su potencialidad de encontrar soluciones adecuadas de diseño por múltiples factores, pero no identifica el algoritmo o plataforma utilizada. En Marin et al. (2008) se presenta una descripción más detallada de aplicación de AG en la definición volumétrica de un edificio, combinando variaciones formales aleatorias y evaluación de su desempeño energético, logrando soluciones variadas, aunque difícilmente replicables en otras condiciones. Turrin et al (2010) exponen un trabajo bastante completo para el diseño de una techumbre en Milán utilizando una herramienta de AG (ParaGen) en interacción con programación paramétrica en un software de diseño (Rhino-Grasshopper) para desarrollar la forma completa según condiciones funcionales, estéticas y energéticas, demostrando la posibilidad de integración de esta tecnología en la resolución de problemas profesionales, pero concentrándolo en una solución única.

El análisis de aspectos resistentes de la forma arquitectónica con AG ha sido experimentada por Estupiñan et al (1998) con varios métodos evolutivos y el método de Baluja, para la optimización topológica de estructuras, incluyendo un estudio comparativo de las tres metodologías desarrolladas. Describe los trabajos de Chapman y Schoenauer, los cuales combinan AG con el método de los elementos finitos, consiguiendo obtener formas estructurales con un buen comportamiento bajo cargas extremas. En este trabajo, junto con explicar cada concepto (cromosoma, operadores genéticos y función de mérito u objetivo), explica los métodos utilizados considerando 3 operadores (la selección, el cruce y la mutación), eligiendo para la selección el

método estocástico. Para el cruce fue el de 2 puntos de cruce, y el operador de mutación empleado es el propuesto por Collway (1991), donde la probabilidad de mutación varía con la diversidad de la población. Describen por último, la función de mérito (nivel de adaptación). Un trabajo más reciente de Papapavlou (2009) expone un método genético para determinar la forma estructural óptima de una estructura compuesta de barras, cambiando la disposición geométrica (posición y ángulo de las piezas), minimizando los esfuerzos a través de generaciones sucesivas que otorgaban distintas configuraciones de diseño implementando en el software Processing con una librería de análisis físico, pero sin explicitar el proceso general.

Cabe destacar entre los trabajos relacionados con AG y arquitectura, la tesis doctoral "Algoritmos Genéticos como Estrategia de Diseño en Arquitectura" (De la Barrera, 2010), en la cual se ha investigado el potencial de los AG aplicados a la arquitectura, para lo cual el autor, junto con revisar algunos trabajos en la misma línea, ha desarrollado un software para estudiar el problema de optimización térmica y ha concluido que la técnica es apropiada cuando no existe otra alternativa más formal y que la utilización de esta herramienta requiere de experiencia, sobre todo en la calibración, es decir, en determinar la mutación, la población y el tipo de cruce.

En la misma línea del problema anterior es importante destacar el trabajo de Namoncura y Vásquez (2010), en el cual se programó un módulo alternativo a Galapagos, para probar la efectividad de este, consiguiendo establecer que hasta el momento del trabajo, al desarrollar el módulo directamente existe la posibilidad de controlar la forma de evolución cambiando los índices de calibración, como las mutaciones y el fitness, concluyendo finalmente que el módulo generado logra consumir menos recursos computacionales y por consiguiente menos tiempo que Galapagos.

1.2 Exposición Solar y el aporte de este trabajo

Hace ya algunos años el diseño arquitectónico considera la luz del sol como una variable importante, primero, por la necesidad de incluir iluminación natural, y segundo, para poder concentrar el calor que transmite.

Los motivos principales para incluir la iluminación natural dentro del diseño, hacen referencia al ahorro energético, relacionado con la

reducción de las necesidades de luz artificial en las edificaciones y la contribución para mejorar el confort lumínico.

La orientación de un edificio determina su exposición al sol y a los vientos. La orientación sur o norte de un edificio, por ejemplo, es más favorable en algunos climas o regiones del planeta.

En este artículo presentamos un estudio de “Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos” utilizando el módulo Galapagos que se incorpora en el sistema de programación Grasshopper sobre la herramienta de diseño Rhinoceros. Para lo cual se presentaran una serie de pruebas de la incidencia de factores globales en la forma, área v/s exposición solar.

2. Los Algoritmos Genéticos en las herramientas de diseño digital

La posibilidades que hoy proporcionan las herramientas de diseño digital de generar diseños acabados y precisos en poco tiempo, al tomar modelos anteriores y replicarlos, generando modelos más precisos y eficientes, llevan a la necesidad de considerar la incorporación de técnicas de IA, como los AG para la búsqueda de las mejores soluciones a un problema determinado.

Es así como una de las herramientas más conocidas de diseño “Rhinoceros”, ya incorpora a través del sistema de programación Grasshopper, un modulo llamado “galápagos”. Rhinoceros es una herramienta de software para modelado en tres dimensiones basado en NURBS, capaces de describir cualquier forma. Rhinoceros originalmente se desarrolló como un agregado para AutoCAD de Autodesk por Robert McNeel &

Associates. El programa es comúnmente usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño naval, el diseño de joyas, automotriz, CAD/CAM, prototipación rápida, ingeniería inversa, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia. Rhino es hoy una de las plataformas más utilizadas en arquitectura por la versatilidad y precisión de los modelos creados; éstos, además de generar una representación fotográfica (render), permiten imprimir un prototipo o maqueta de manera directa. Estos modelos pueden ser utilizados para la fabricación de las secciones correspondientes hablando por ejemplo de estructuras con base en acero, madera o concreto.

Rhinoceros originalmente se desarrolló como un agregado para AutoCAD de Autodesk por Robert McNeel & Associates. El programa es comúnmente usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño naval, el diseño de joyas, automotriz, CAD/CAM, prototipación rápida, ingeniería inversa, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia. Rhino es hoy una de las plataformas más utilizadas en arquitectura por la versatilidad y precisión de los modelos creados; éstos, además de generar una representación fotográfica (render), permiten imprimir un prototipo o maqueta de manera directa. Estos modelos pueden ser utilizados para la fabricación de las secciones correspondientes hablando por ejemplo de estructuras con base en acero, madera o concreto.

Por otro lado, Grasshopper es una herramienta complementaria a Rhinoceros para programación de las formas, que tiene la particularidad de ser amigable para el diseñador o arquitecto, y de poder expresar en forma gráfica una secuencia de pasos. Grasshopper contiene diversos componentes con funcionalidades que trabajan en base a parámetros de datos.

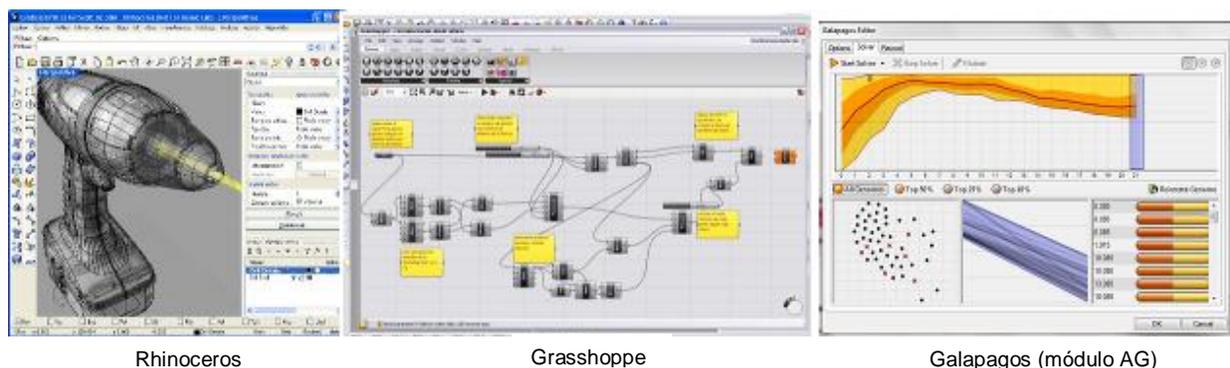


Figura 1: Herramienta de Diseño Rhinoceros, de programación Grasshopper y AG Galapagos. Fuente: Gatica, 2011
Figure 1: Rhinoceros design tool; Grasshopper programming tool, and Galapagos AG. Source: Gatica, 2011

En la Fig. 1 podemos observar de izquierda a derecha, a Rhinoceros, Grasshopper y Galapagos. Esta última herramienta es la que permite sobre Grasshopper (herramienta de programación) implementar un componente de AG, el cual requiere que el usuario proporcione la cantidad de generaciones y fitness para conseguir el mejor individuo luego de una serie de cruces y mutaciones.

3. Configuración de Volúmenes

La aplicación de diseño paramétrico en etapas intermedias del proyecto arquitectónico, combinando requerimientos espaciales y técnicos, puede ilustrarse con un análisis volumétrico por algoritmo genético. Este ejemplo fue implementado en la plataforma Grasshopper de Rhino con la utilidad Galapagos como procesador genético y Geco para análisis de radiación solar considerando inicialmente la conformación de un pabellón compuesto de dos o tres bloques contiguos con una superficie general aproximada, buscando la conformación que otorgue mayor exposición solar para reducir consumos energéticos, pero también una adecuada configuración estructural. Se definen estas condiciones, por cuanto la diversidad volumétrica expresa una capacidad funcional determinada con una amplia variedad espacial y expresiva (considerando su localización aislada en un sitio amplio. Mientras que los requerimientos técnicos

indicados son aspectos relevantes de un trabajo arquitectónico, y a la vez contrapuestos, por cuanto la exposición solar promueve disposiciones longitudinales, y la optimización estructural fomenta organizaciones centralizadas.

En ese sentido resulta difícilmente intuitivo poder encontrar una configuración que armonice ambos requerimientos y además permita evaluar otras condiciones arquitectónicas.

De este modo, se establece una programación general compuesta por cuatro partes principales; un generador geométrico, uno de exposición, un analizador resistente y una programación general compuesta por cuatro partes procesador genético. El generador de geometrías consiste en la programación de ejecución de paralelepípedos rectangulares contiguos que cumplan el rango de área total establecido. Esto se desarrolla trazando primeramente puntos y líneas centrales que compongan rectángulos, con una disposición aleatoria y un contabilizador y verificador de superficie total y también de diferencias dimensionales. Luego, se elabora la volumetría total con alturas regulares, considerando hasta tres bloques contiguos, incluyendo hasta uno sobrepuesto. En la configuración se establece además una rotación de base, para generar distintas alternativas de posición. En la programación se establecen entonces una docena de controladores numéricos, y luego,

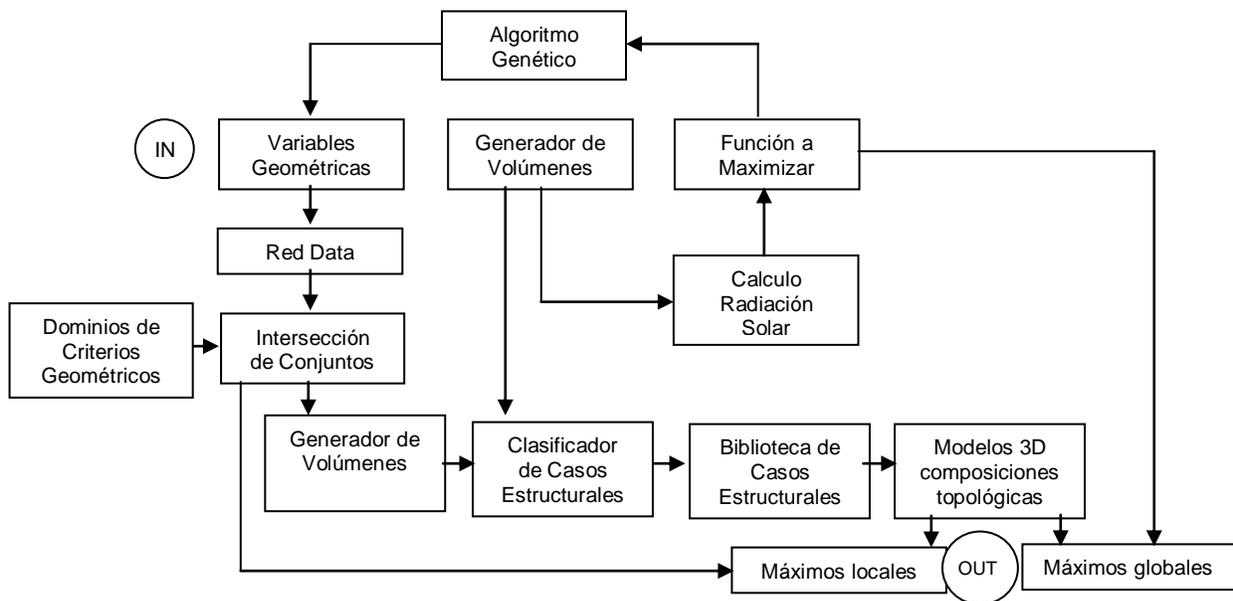


Figura 2: Diseño del proceso de optimización. Fuente: Gatica, 2011.
 Figure 2: Design of the optimization process. Source: Gatica, 2011.

diversos operadores matemáticos encadenados para producir la volumetría.

Luego, en el análisis de exposición se utiliza un modulo de posición solar, considerando como ubicación geográfica la ciudad de Concepción, en los solsticios durante 5 hrs. al día, efectuando el análisis para la malla de la volumetría generada y realizando una sumatoria total. Esto requiere una descomposición del volumen en superficies definiendo una normal.

Se realizó un estudio de los resultados arrojados por el optimizador genético Galapagos, que se baso en la recolección de datos en las distintas variables formales, logrando obtener un desglose de la evolución de los diversos factores que influyen en el fitness.

El estudio de estos datos nos permite obtener un estudio genoformal el cual nos permitirá indagar en una serie de resultados óptimos independientes del proceso evolutivo de galápagos.

Específicamente, el diagrama de flujo del proceso general para poder generar un desarrollo iterativo analizable, es el que se presenta en la Figura 2.

4. Desarrollo y programación en Grasshopper

La programación en Grasshopper, para dar solución a la experiencia, se centra en módulos paramétricos interconectados desde las variables métricas y de posición de los volúmenes a

estudiar hasta la forma topológicamente optimizada. Se consideran como variables a optimizar el factor de exposición solar en que se encuentran los volúmenes en lugar determinado. Estas se emplazan en dominios conocidos que alojan las dimensiones de parámetros desde 2.4 m hasta 12 m.

La geometría consiste en una grilla ortogonal que compone una malla variable en altura Z (dominios para el algoritmo genético).

Para el cálculo de radiación, se toma un motor solar de Ted Ngai (Ngai, 2012) y se modifica para la exposición solar de todo el año en muestras en los solsticios y 6 horas al día, la sumatoria de estos vectores se toma como fitness.

4.1 Programación de Grasshopper

Generador de volúmenes:

A través de este módulo se busca obtener una configuración de 2 volúmenes que puedan variar en sus dimensiones y la relación de posición, donde se reconocen dos configuraciones las cuales fueron comprimidas en cluster para su ocupación.

Volúmenes superpuestos: variables

- slider1: rotación general
- slider2: desfase "x"
- slider3: desfase "y"
- slider4: amplitud A(u)
- slider5: amplitud A(v)
- slider6: amplitud B(u)
- slider6: amplitud B(v)

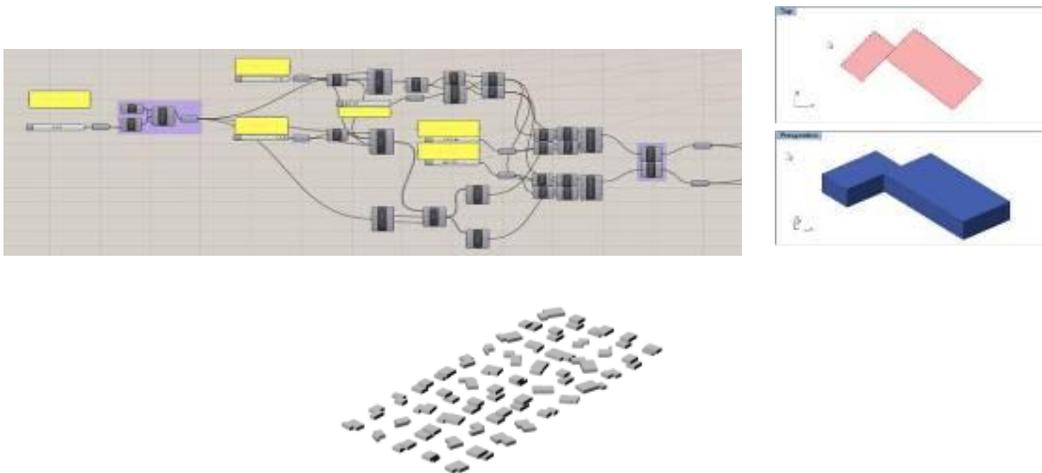


Figura 3: Formas aleatorias de volúmenes. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 3: Random forms. Source: B. Gatica, 2011.

Tomando las variaciones formales aleatorias de estos dos volúmenes se genera el conjunto de genotipos para estudiar mediante Galápagos.

El desarrollo del sistema sobre Grasshopper se puede observar en la Fig. 4, la cual explicaremos a continuación módulo a módulo en la Tabla 1.

Como mencionamos anteriormente, el sistema anterior permite dar solución al problema

de desarrollar un volumen arquitectónico en base a un análisis paramétrico, pero se requiere de otro módulo para poder encontrar la forma más óptima. Esto nos lleva a la incorporación de un módulo desarrollado sobre Galápagos que incorpore la tecnología de los AG. En la Fig. 5 se observa la configuración inicial de este módulo y en la Fig. 6 podemos observar una serie de casos desarrollados con este módulo genéticos.

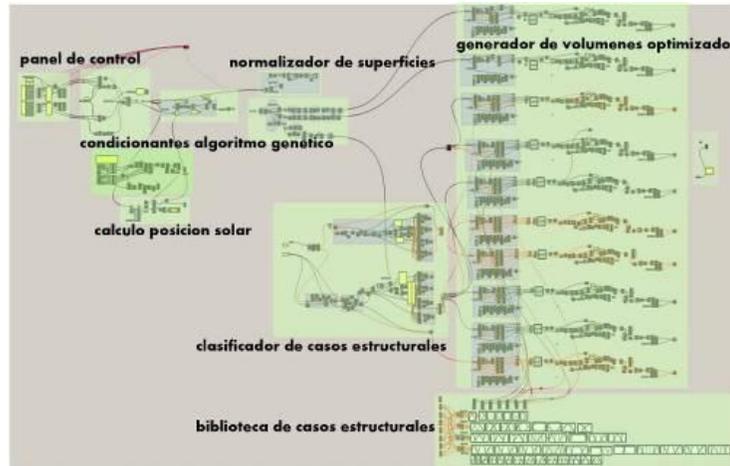


Figura 4: Programación en Grasshopper para la solución del problema en estudio. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 4: Programming with Grasshopper for the solution of the problem. Source: Gatica, 2011.

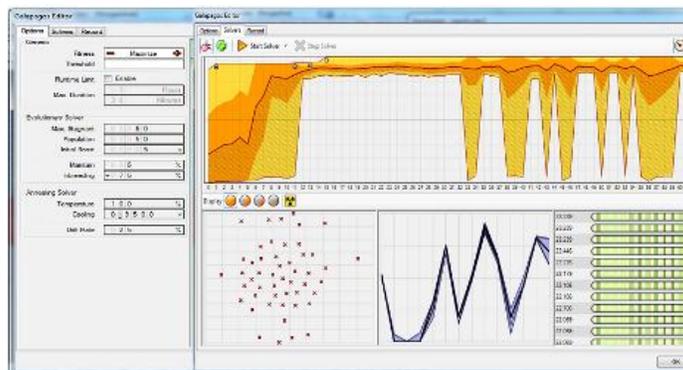


Figura 5: Configuración inicial del AG en Galapagos sobre Grasshopper. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 5: Initial configuration of AG in Galapagos over Grasshopper. Source: Gatica, 2011.

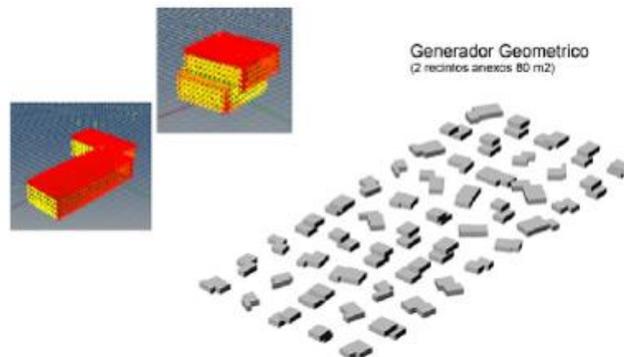
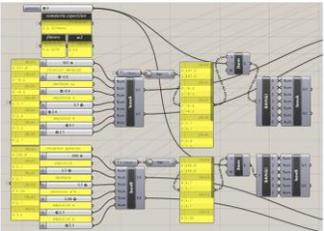
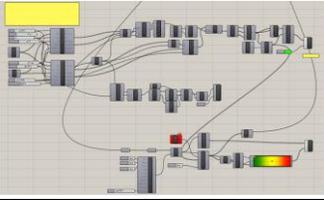
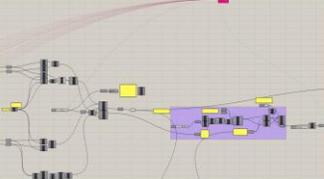
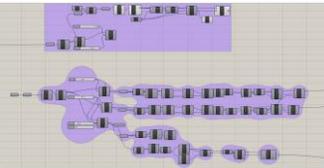
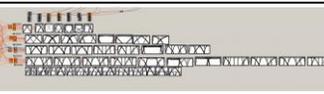


Figura 6: Casos desarrollados por el módulo genético. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 6: Cases developed by the genetic module. Source: Gatica, 2011.

Tabla 1: Explicación de cada módulo de la Figura 3. Fuente: Gatica, 2011.**Table 1:** Explanation of each module in Figure 3. Source Gatica, 2011.

	<p>Panel de control: desde él se tiene acceso y visualización de las variables que modifican los volúmenes las cuales servirán de dominios para Galapagos.</p> <p>Cluster de volúmenes: generador de volúmenes, se encuentran en dos etapas, una pre la cual genera las formas y una post la cual interpreta los resultados de Galapagos.</p> <p>Rec data: grabadores de datos los cuales registran los sucesos de Galapagos.</p>
	<p>Cálculo de posición solar: se toma un motor solar de Ted Ngai (Ngai, 2012), para la experiencia se utilizó como ubicación geográfica la ciudad de Concepción Chile.</p> <p>Cálculo de exposición solar: mide la exposición de una malla en los solsticios y durante 5h al día, da como resultado la sumatoria la cual ocuparemos para calcular el fitness.</p>
	<p>Condicionantes para el algoritmo genético: lugar donde se centran las variables del entorno y condiciones al calcular, se utilizó un criterio de premiaciones por porcentajes para inducir la experiencia a ciertos dominios áreas, como resultado se obtiene una geometría y el valor nominal del fitness.</p>
	<p>Normalizador de superficies. Convierten las superficies explotadas de los volúmenes a superficies regulares que comparten dirección y normales.</p>
	<p>Clasificador de casos. Asigna casos estructurales particulares a las superficies, comportándose como un filtro clasificador.</p>
	<p>Biblioteca de casos estructurales. Es una matriz la cual en un sentido tiene casos estructurales, y en el otro, proporciones. Funciona como base de datos para que los filtros elijan la topología más adecuada.</p>
	<p>Generadores de formas topológicas: miden cada superficie y la posicionan en un caso particular de la matriz, obteniendo como resultado una modelación del muro estructurado bajo optimización topológica.</p>

5. Análisis de los resultados

El proceso de análisis de los resultados consta de dos etapas: la primera, es un estudio de los factores globales que inciden en la forma: área v/s exposición. La segunda, explora factores formales que inciden en el desempeño estructural.

En la Fig. 7, se observa una serie de pruebas de forma v/s resultados, considerando los resultados del modulo de Galapagos de AG.

En él podemos observar cómo el módulo va presentando tanto la radiación como el fitness, lo que le permite ir seleccionando los individuos más aptos que en este caso son los que logran el mayor volumen según la radiación considerada.

Se realizó un estudio de los resultados arrojados por el optimizador genético Galapagos; éste se basó en la recolección de datos en las distintas variables formales logrando obtener un desglose de la evolución de los diversos factores que influyen en el fitness.

FORMA V/S RESULTADOS			
perimetro	excentricidad	proceso	
79.6m	3.7m	max	Ranking: 1 Factor radiacion: 2.3239e+4 Fitness: 23.239 Area: 85m2 Genoma: 1061
76.1m	3.6m	max	Ranking: 2 Factor radiacion: 2.1426e+4 Fitness: 2.1426 Area: 84m2 Genoma: 276
77.3m	3.8m	max	Ranking: 5 Factor radiacion: 2.0508e+4 Fitness: 2.0508 Area: 83m2 Genoma: 538
6.9.4m	4.3m	max	Ranking: 6 Factor radiacion: 1.9327e+4 Fitness: 1.9327 Area: 79m2 Genoma: 198
38.3m	1.1m	min	Ranking: 3 Factor radiacion: 1.6514e+4 Fitness: 16.514 Area: 78m2 Genoma: 155
33.2m	0.3m	min	Ranking: 4 Factor radiacion: 1.5506e+4 Fitness: 15.506 Area: 83m2 Genoma: 313
69.2m	1.5m	min	Ranking: 7 Factor radiacion: 1.7620e+4 Fitness: 1.762 Area: 72m2 Genoma: 342
40.1m	0.3m	min	Ranking: 8 Factor radiacion: 1.3727e+4 Fitness: 0.13727 Area: 75m2 Genoma: 13427

Figura 7: Casos de estudio que arroja el modulo de AG. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 7: Cases Studies developed by the AG module. Source: Gatica, 2011.

El estudio de estos datos nos permite obtener un estudio genoformal el cual nos permitirá indagar en una serie de resultados óptimos independientes del proceso evolutivo de galápagos.

Se experimento demostró que la forma obtenida responde a los parámetros de exposición solar, logrando criterios y resultados considerables con un arduo contraste en el máximo y mínimo fitness.

La tabla de gráficos v/s forma muestra el estudio de los genomas, los que se clasificaron mediante la intersección de conjuntos, ordenándolos como muestras, e indican el

conjunto de posibilidades alternativas a los máximos globales, las cuales llamamos "resultados locales", y fueron elegidos por variaciones formales en contraste con los resultados globales.

A continuación se tridimensionaliza este gráfico integrando el factor de área total de la forma, permitiendo indagar en dominios de áreas específicas.

Entre estos dos factores se producen dos conjuntos, los cuales interceptaremos determinado un subconjunto que llamaremos "subconjunto funcional."

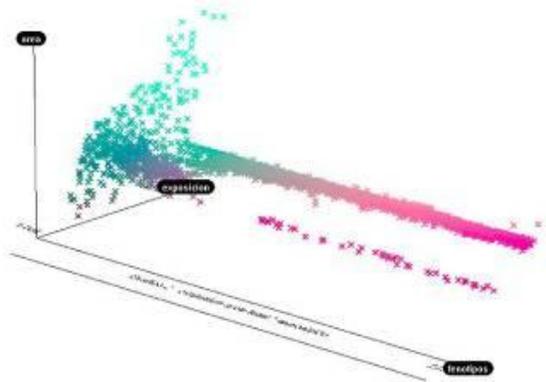


Figura 8: Gráfico Volúmenes Sobrepuestos. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 8: Graphic of superimposed volumes. Source: Gatica, 2011.

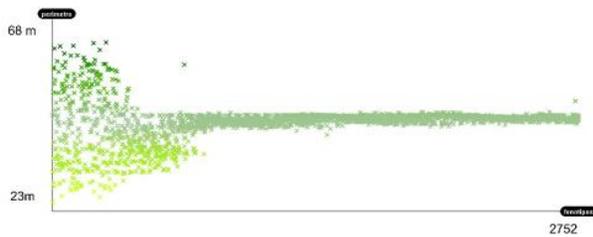


Figura 9: Gráfico Volúmenes Sobrepuestos. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 9: Graphic of superimposed volumes. Source: Gatica, 2011

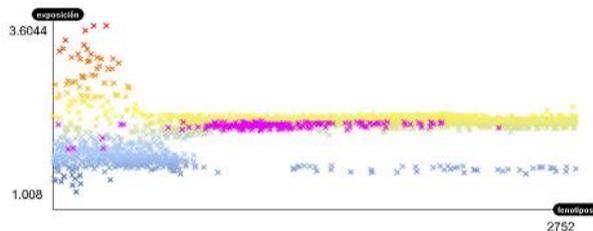


Figura 10: Conjunto de fenotipos más óptimo en relación a los dominios. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 10: Optimal set of phenotypes in relation to the domains. Source: Gatica, 2011.

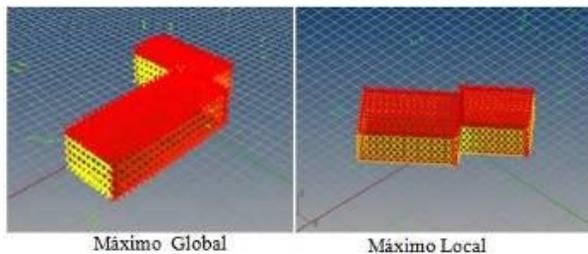


Figura 11: Máximos locales y líneas de fuerzas. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 11: Local maximum and lines of forces. Source: Gatica, 2011

En la segunda etapa se analizaran las propiedades geométricas de los volúmenes existiendo dos casos:

a) *Volúmenes sobrepuestos:* se considera el factor de excentricidad, en el cual la distancia entre los centros superpuestos evitan ciertos voladizos contraproducentes estructuralmente (Fig. 8).

b) *Volúmenes adyacentes:* se considerara el factor de forma, el cual se determinará calculando la relación entre el perímetro y el área (Fig. 9).

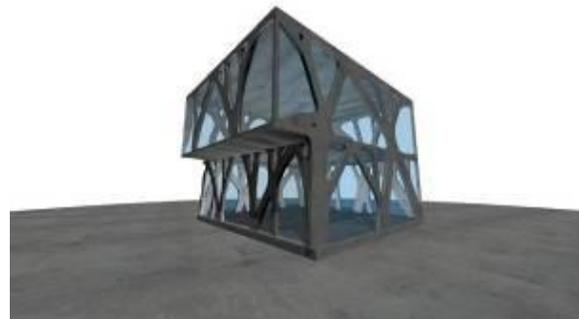
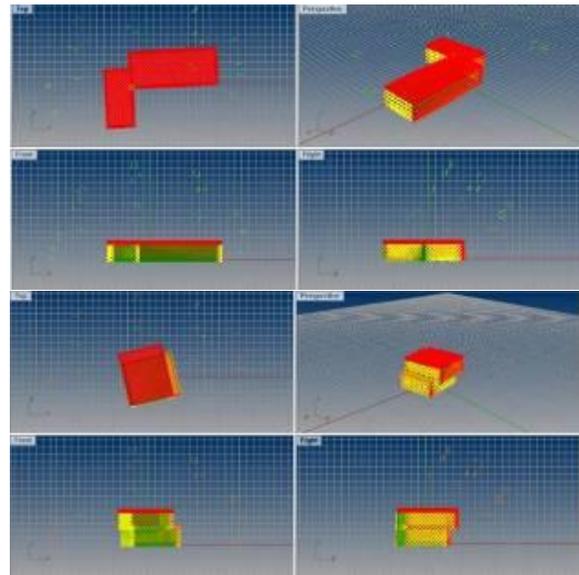


Figura 12: experiencias calibrando Galapagos. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 12: calibrating experiences with Galapagos. Source: Gatica, 2011.

La intersección de estos conjuntos generará un subconjunto, el cual denominaremos subconjunto estructural.

La intersección entre el subconjunto funcional y el subconjunto estructural nos dará el conjunto de fenotipos más óptimo en relación a los dominios determinados en el análisis (Fig. 10).

El análisis genoformal establecido nos permite indagar en lo profundo del proceso de optimización genética, logrando detectar por métodos estadísticos los casos denominados mutaciones, así como también algunos paradigmas formales, los cuales por tendencias minoritarias no lograron ser un máximo global.

En el gráfico se muestra en magenta el conjunto intersección de resultados más óptimos localmente (Fig. 11).

Estos casos encontrados se comportan como máximos locales que determinan las líneas de fuerza en la crucea genética.

Los resultados globales se enmarcan en 2 experiencias calibrando Galapagos a la maximización y minimización del factor de radiación, obteniendo los máximos y mínimos globales, lo que representa la mejor y peor solución al problema en estudio (Fig. 12).



Figura 13: Experiencia en la fabricación de la solución.
Fuente: Gatica, 2011.

Figure 13: Experience in the manufacture of the solution.
Source: Gatica, 2011

5.1 Incorporación de fabricación digital

Debido a la alta complejidad formal que arrojan los algoritmos de optimización topológica, se trabaja el modelado a escala en fabricación digital, la cual se centra en el trabajo con software CAD/CAM y el corte mediante maquina CNC router (Fig. 13).

Conclusiones

En este artículo, luego de evidenciar cómo la aparición de las técnicas digitales ha permitido la generación de geometrías a partir de definiciones de parámetros iniciales, y la programación de las relaciones formales entre ellos, permitiendo así en el proceso de diseño arquitectónico describir formas con capacidad de variar y adaptarse a requerimientos múltiples o a criterios de evaluación específico, surge la necesidad de escoger las mejores soluciones entre muchas, lo que es posible generar hoy en poco tiempo a través de algoritmos genéticos.

Se presentan los resultados de un estudio de análisis paramétrico de volúmenes arquitectónicos con algoritmos genéticos utilizando el módulo Galapagos que se incorpora en el sistema de programación Grasshopper sobre la herramienta de diseño Rhinoceros. Para lo cual se han presentado una serie de pruebas que demuestran la incidencia de condiciones funcionales, ambientales y resistentes en la configuración formal.

Esta experiencia demuestra la posibilidad de implementar la generación y selección de volúmenes arquitectónicos con algoritmos genéticos, logrando compatibilizar distintos requerimientos, intuitivamente incompatibles con un método de búsqueda efectivo para identificar soluciones adecuadas, entre la gran variedad que es posible hoy generar gracias a las tecnologías digitales.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada con apoyo del proyecto FONDECYT N° 1100374. Agradezco también a las Universidades Chilenas, Universidad del Bío-Bío y Universidad de Concepción.

Referencias Bibliográficas

COLLOWAY L. Using a Genetic Algorithm to Design Binary Phase-Only Filters for Pattern Recognition. R.K. Belew and L.K. Booker Editors, *ICGA91* Morgan Kaufmann, 1991. 422-424.

CHEN, J; FU, L; LIN, M. Y HUANG, A. Petri Net and GA-Based Approach to Modeling, Scheduling, and Performance Evaluation for Wafer Fabrication. IEEE transactions on robotics and automation 17(5): 619-636, 2001.

DE LA BARRERA, C. Algoritmos Genéticos como Estrategia de Diseño en Arquitectura, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2010. 206 p.

ESTUPIÑÁN, J. OÑATE E. y SUAREZ B.; Programación se establecen entonces una Optimización Topológica mediante Algoritmos Genéticos, estrategias evolutivas y el método de Baluja, Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería 14 (4): 427-438, 1998.

GATICA LAURIE, B; colaboración proyecto Fondecyt N°1100374, carrera de Arquitectura Universidad del Bío-Bío, 2011.

GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Mass., 1998. 412 p.

MARIN, P.; BIGNON, J-C.; LEQUAY, H. Integral Evolutionary Design, Integrated to Early Stage of Architectural, En: Architecture in Computro, 26th eCAADe Conference Proceedings, 2008, 19-26.

MEREDITH M; ARANDA-LASCH, S; MUTSURO. From Control to Design. Parametric / Algorithmic Architecture, Barcelona, Actar, 2008. 218p.

NAHARA T. Y TERZIDIS K. Multiple-constraint Genetic Algorithm in Housing Design. En: 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided

Design in Architecture, 2006, 418-425.

NAMONCURA, C. AND VASQUEZ M., Optimización de Formas Arquitectónicas con Algoritmos Genéticos, tesis de Grado en Ingeniería en Ejecución Informática, Instituto Profesional Virginio Gómez, Universidad de Concepción, 2010.

NGAI, Architecture Research Laboratory (atelier nGai) [En línea] [Citado el: 20 de mayo del 2012]. Disponible en <http://www.tedngai.net>

PAPAPAVLOU, A. TURNER, A. Structural Evolution: A Genetic Algorithm Method to Generate Structurally Optimal Delaunay Triangulated Space Frames for Dynamic Loads. En: 27th eCAADe Conference Proceedings, Istanbul, Turkey, 2009, 173-180.

SHEAA K, AISH, R, GOURTOVAIAA, M, Towards integrated performance driven generative design tools, Automation in Construction. Automation in Construction, 14(2). pp. 253-264.

TSANGRASSOULIS A., GEROS V. Y BOURDAKIS V. "Energy Conscious automated design of building façades using genetic algorithms", En: 24th eCAADe Conference Proceedings, Volos, Grecia, 2006, 898-902.

TURRIN, M.; R. STOUFFS AND S. SARIYILDIZ, Parametric Design of the Vela Roof. En: 5th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural, Fez, Morocco, 2010, 231-240.

Recibido: 13|03|2012
Aceptado: 25|04|2012



Feasibility of PassivHaus standards and alternative passive design on climatic zones of Chile - Determination of energy requirements with dynamic simulation.

Factibilidad de estándares PassivHaus y diseño pasivo alternativo en zonas térmicas de Chile – Determinación de requerimientos energéticos mediante simulación dinámica.

Javier Carrasco (a); Georgios Kokogiannakis (b)

(a) Agency of Energy Efficiency – AChEE – Chile – email: jcarrasco@acee.cl

(b) Centre for Sustainable Energy Technologies CSET, University of Nottingham – England – email: georgios.kokogiannakis@nottingham.edu.cn

ABSTRACT

Keywords:

Energy efficiency,
Building energy savings,
Envelope upgrades,
Constructive solutions,
PassivHaus standards,
Chilean building regulations

The current building envelope standards from Article 4.1.10 of the “General Law of Urban Planning and Construction” The current building envelope standards from Article 4.1.10 of the “General Law of Urban Planning and Construction” in Chile are applied on a typical residential building for the climate of Concepción (36° Latitude South, 73° Longitude West) and a detailed energy simulation program is used to assess the energy performance of this building. The simulation results of the Chilean standards are then compared with simulation results of PassivHaus standards upon the same building layout and with simulation results from the same typical building when applying alternative passive solar design and envelope upgrade techniques. The research aims to identify useful design strategies for achieving energy results comparable to those proposed by PassivHaus standards (i.e. less than 15kWh/m² annum for heating and cooling needs). This would demonstrate to designers, developers and clients how to incorporate cost-effective features and build beyond current regulations in order to achieve large energy savings. In addition, this study is expected to be of use for policy makers, providing suggestions on how future energy regulations of Chile can promote low energy building designs. This study also aims initiate a discussion regarding future methodologies for assessing climate-responsive design in the Chilean context, in a way that useful passive features can also be considered, since they may represent a cost-effective alternative to PassivHaus standards.

RESUMEN

Palabras clave:
Eficiencia energética,

Las normas actuales de construcción para envolvente térmica del artículo 4.1.10 de la "Ley General de Urbanismo y Construcción" en

Ahorro de energía en edificios,
Mejora de la envolvente,
Soluciones constructivas,
Estándar PassivHaus,
Normativa chilena de construcción

Chile son aplicadas sobre una unidad residencial típica, para el clima de Concepción (36 ° de latitud Sur, 73 ° Longitud Oeste). Se utiliza una simulación detallada para evaluar el desempeño energético de dicho edificio. Los resultados de la simulación de las normas chilenas se comparan luego, con resultados de simulación de las normas Passivhaus sobre el mismo diseño de edificio y con resultados de simulación al aplicar alternativas de diseño solar pasivo y mejoramiento intermedio de envolvente térmica. La investigación tiene como objetivo identificar estrategias de diseño útiles para el logro de resultados de desempeño energético comparables a los propuestos por las normas Passivhaus (es decir, menos de 15kWh/m² annum para calefacción). Esto demostraría a los diseñadores, desarrolladores y clientes la forma de incorporar características rentables y construir más allá de la normativa vigente a fin de lograr un gran ahorro energético. Además, se espera que el estudio sea de utilidad para los responsables de diseñar la reglamentación, ofreciendo sugerencias sobre cómo éstas pueden promover el diseño de edificios de baja demanda energética. Este estudio también tiene como objetivo iniciar un debate sobre futuras metodologías de evaluación de diseño bioclimático en el contexto climático Chileno, de manera que las características útiles de diseño pasivo también puedan ser consideradas, ya que pueden representar una alternativa rentable.

1. Introduction

The bioclimatic or passive architectural design has become a main stream for achieving energy savings in buildings. Key concepts involved in this approach of passive architectural design are optimal building orientation, solar exposure (in the case of passive solar systems), adequate levels of insulation and thermal storage strategies by the use of thermal mass. Constant research has been ongoing to study the suitability of these strategies to specific climates and their management against time dependence cycles (summer to winter, day to night). In terms of energy-efficiency, the passive design approach has traditionally promoted the use of natural ventilation.

On the other hand, another approach for energy efficient buildings arises from the ideas brought by the PassivHaus Institute of Germany. They suggest that the "bioclimatic" or "passive" design approach on its own is not enough to conceive energy-efficient buildings, because of its strong reliance upon orientation and shape of the building in order to obtain solar gains, plus its reliance on using natural ventilation, which may cause detrimental heat losses. According to the PassivHaus concept, buildings should be conceived through an "active approach" using heavily insulated envelopes achieving highly reduced air-tightness, so that the heating

requirements could be met by just pre-heating incoming air mechanically through heat exchangers. It is important to remark that this approach does not discard the use of building integrated renewable energy; however energy efficiency from a PassivHaus design would not rely on the use of such systems (BRE-PassivHaus, 2010).

PassivHaus standards have become popular throughout the central and northern European region where in general, heating requirements are the most important target for energy savings in buildings (Feist et al., 2007). These standards are focused mainly on achieving reduced envelope U-values, disregarding aspects such as strategic use of thermal inertia. In fact, experiences of PassivHaus in central Europe have shown that the effect of internal thermal mass to store solar direct gains is negligible in such regions (Schnieders, 2009). However, in Mediterranean zones from southern Europe where solar energy can become either beneficial in winter or lead to overheating in summer, passive strategies (such as effective use of solar direct gains by using sunspaces, thermal mass for cooling and heating, etc.), have proven to be of significance to ensure thermal comfort (Kolokotroni et al., 1990). The sole use of low U-values required by PassivHaus standards may therefore not be the only design approach to reach PassivHaus energy performance (defined

as 15 kWh/m²annum for heating and cooling needs) in more temperate climates, leaving the opportunity to merge PassivHaus standards with the more classic passive architectural approach in such regions.

Chile has committed to follow the path of energy-efficiency by looking towards the regulatory frameworks adopted by countries of the European Union and particularly United Kingdom, Germany and Spain. In a similar way as these European countries, a Thermal Qualification Procedure has been designed by the Chilean Ministry of Housing in association with the National Programme for Energy Efficiency during the past three years (Fissore et al., 2009). This Procedure is going to come into force in 2012 and it aims to implement energy rating labels to all future residential buildings. The Procedure also includes the implementation of its own Simplified Calculation Method, as well as its own alternative Dynamic Energy Design Tool (CTE_CL 2.0, Bustamante et al., 2007). Such procedures are an important first step to increase the interest of people in energy efficiency of buildings in Chile, and to encourage designers and real-estate developers to add the energy efficiency aspect in their services.

However, the current baseline for benchmarking the energy performance of residential buildings in the upcoming Thermal Qualification Procedure is going to be based on the current building requirements given by the existing General Law of Urban Planning and Construction as implemented in 2007 (OGUC, 2011). These requirements are mainly set by maximum U-values allowed for the different building components, and were a significant technical improvement in building regulations when they were initially released in 2007. However, these requirements may not be sufficiently challenging today to ensure further energy savings in current residential buildings.

Considering the future challenges on the Chilean energy scenario, and the global concern for adopting significant compromises to reduce the energy consumption in buildings, it is found highly relevant to study the potential benefits of implementing internationally recognised building standards such as PassivHaus in Chile. Conversely, it is found interesting to investigate other more flexible passive architectural solutions, as alternative ways for achieving considerable energy savings goals in housing projects.

Therefore, the following paper focuses on assessing the viability of applying PassivHaus standards on housing buildings located in a typical temperate climate (Concepcion, Chile. 36° Latitude South, 73° Longitude West) and comparing their energy performance against the current Chilean standards. In addition, alternative strategies of passive architecture will also be assessed (such as use of passive solar gains, thermal mass and natural ventilation) which, perhaps combined with intermediate envelope standards would minimize energy demand to a similar extent as the PassivHaus requirements but usually at lower cost.

2. Background

2.1 The current Chilean energy regulation

Chile aims to update their energy policies in the following years in order to support the efforts of the country for the reduction of CO₂ emissions and address the issue of the Security of Energy Supply. However the Chilean background would differ in many aspects from countries of the European Union, starting with the differences in climates, technical advancements in construction standards and of course, its economical situation. Fissore et al. (2009) states that in general terms, the average primary energy consumption from a house in Chile complying with the regulatory standards reach 192 kWh/m²annum, whereas an optimal energy consumption could be approximately from 88 kWh/m²annum (assuming generally affordable measures to improve thermal performance) to 40 kWh/m² year (assuming currently unaffordable measures for thermal improvements).

According to the Article N° 4.1.10 of the General Law of Urban Planning and Construction (OGUC, 2011), all new Houses would have to comply with requirements of thermal conditioning, according to the heating degree days from the classified seven climatic zones across the country. These requirements for thermal conditioning are given by maximum U-values allowed for the different envelope components, according to climatic zones.

Table 1 shows U-values for opaque components (walls, floors and roofs) whereas Table 2 presents the maximum window to wall ratios allowed by climatic zone. Both tables highlight the requirements for the climatic zone 4 that enclose the typical temperate climate of Concepción.

Table 1: U-values required per climatic zone – Chile. Source: OGUC, 2011
Tabla 1: Valores de U requeridos por zona climática – Chile. Fuente: OGUC, 2011

MINIMUM REQUIREMENTS FOR BUILDING ELEMENTS PER CLIMATIC ZONE ACCORDING TO THE CURRENT CHILEAN THERMAL REGULATION						
Climatic Zone	ROOFS		WALLS		VENTILATED FLOORS	
	U-Value W/m ² K	Resistance m ² K/W	U-Value W/m ² K	Resistance m ² K/W	U-Value W/m ² K	Resistance m ² K/W
1	0.84	1.19	4	0.25	3.6	0.28
2	0.6	1.67	3	0.33	0.87	1.15
3	0.47	2.13	1.9	0.53	0.7	1.43
4	0.38	2.63	1.7	0.59	0.6	1.67
5	0.33	3.03	1.6	0.63	0.5	2
6	0.28	3.57	1.1	0.91	0.39	2.56
7	0.25	4	0.6	1.67	0.32	3.13

Table 2: maximum window percentage per climatic zone – Chile. Source: OGUC, 2011

Tabla 2: porcentaje máximo de ventanas por zona climática – Chile. Fuente: OGUC, 2011

Climatic Zone	Maximum window glazing percentage areas		
	Single Glazing	Double Glazing with Gas Cavity	
		3.6W/m ² K ≥ U > 2.4W/m ² K	U ≤ 2.4W/m ² K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Regarding the maximum window-to-wall ratios stated in Table 2, it is important to observe that the Article 4.1.10 describes also an alternative method to comply with the requirements in climatic zones 3 to 7 (coldest zones). In order to account for the possibility of exceeding the maximum allowed window areas, professionals must certify a “Balanced U-Value” through the following equation:

$$\frac{(SW1 \times U1) + (SW2 \times U2) + (SW3 \times U3) + (SGL \times UGL)}{\text{Total Surface Area of external facade}} = \text{Balanced U Value}$$

Where:

SW1 to 3 the surface areas of each facade walls

U the correspondent thermal transmittance U-value of the walls

SGL the surface areas of windows

UGL the thermal transmittance U-value of the windows

Values of this balanced U-value must comply with the ones stated in Table 3 according to the specific climatic zone. It can be observed that this alternative methodology addresses to window-to-wall ratio limits in a simplified approach that can incur to unnecessary design restrictions.

Table 3: balanced U-values for the different climatic zones of Chile, alternative method to comply with regulation. Source: OGUC, 2011

Tabla 3: Valores de U balanceados par las diferentes zonas climáticas, método alternativo de cálculo para cumplir con la normativa. Fuente: OGUC, 2011

Zone	Balanced U value W/m ² K
3	2.88
4	2.56
5	2.36
6	1.76
7	1.22

2.2 The PassivHaus concept

The PassivHaus Institute during the last decade has helped defining the standards for ultra low-energy construction in buildings. These standards have been gradually introduced across the European community.

The main focus of PassivHaus design is to “dramatically reduce the requirement for space heating and cooling” (BRE-PassivHaus, 2010), which according to the approach of this institute can be achieved without relying on the use of renewable energy technologies and without risking optimal comfort levels.

To achieve the PassivHaus standard, the energy required for space heating must not exceed 15 kWh/m²annum, in order to be met by Heat Recovery technology that is integrated into a Mechanical Ventilation system. Thereby Feist et al. (2005) describe the PassivHaus concept as an integrated approach to achieve energy efficiency and indoor air quality with the controlled injection of pre-heated fresh air.

To ensure this dramatic reduction in the heating load, a PassivHaus building should comply with the following standards:

- Opaque U-Values such as walls, floors and roofs must be less than 0.15 W/m²K.

- U-Values for doors and windows (including frames) must be lower than $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, which in the case of windows can be achieved mainly by using triple glazing.
- Thermal bridges should be minimized or ideally eliminated.
- Air-tightness should be less than 0.6 ACH @ 50 Pa.
- The use of mechanical ventilation system integrated to a heat recovery unit with at least 75% efficiency.

In addition, the PassivHaus Institute has developed its own Energy Design tool called “PassivHaus Planning Package – PHPP Tool” (Feist, 2010), which is basically a spreadsheet that treats the whole building as one zone of energy calculation (i.e. modelling only the external envelope area, including floors, ignoring internal partitions) and it combines in its calculation methodology the monthly calculation method for heating and cooling energy requirements from the ISO 13790 Standard (2007) with PassivHaus utilization rate factors that have been systematically calibrated with dynamic simulations and with results obtained from monitoring built PassivHaus examples of the PassivHaus CEPHEUS project (Cost effective PassivHaus as European Union Standards. The building examples were mainly located in Austria, Germany, Switzerland and north of France) (Schnieders et al., 2006).

3. Methodology

In order to study the feasibility of applying PassivHaus standards and alternative passive design techniques for a typical Chilean climate, a detached, single level House layout is assessed (Fig. 1) by using the ESP-r simulation program (Aasem, et al., 1994; Strachan, et al., 2008) through a set of energy simulations in three stages (Fig. 2). The PassivHaus Planning Package is also used during the second stage of simulations (see figure 2) to support the theoretical assessment of PassivHaus cases, rather than to compare its calculation method with the detailed simulations.

On the other hand, the ESP-r program is used on all three stages (see figure 2) in order to allow comparisons between results of different stages and because of its flexibility and capabilities to simulate complex passive architecture techniques (such as natural

ventilation and energy calculation of solar radiation entering thermal zones).

The first stage of simulation sets the building layout in compliance with Chilean regulation for the 4th climatic zone of Chile and the calculations at this stage aim to identify the minimum energy performance allowed by regulation in that particular climate. Additional model inputs that should be mentioned are the levels of ventilation and infiltration assumed (0.95 ACH and 0.05 ACH respectively), which are based on CIBSE Guide A (2006), and the values assumed for thermal bridges, taken from the Chilean Norm (NCh 853 Of 91, 1991).

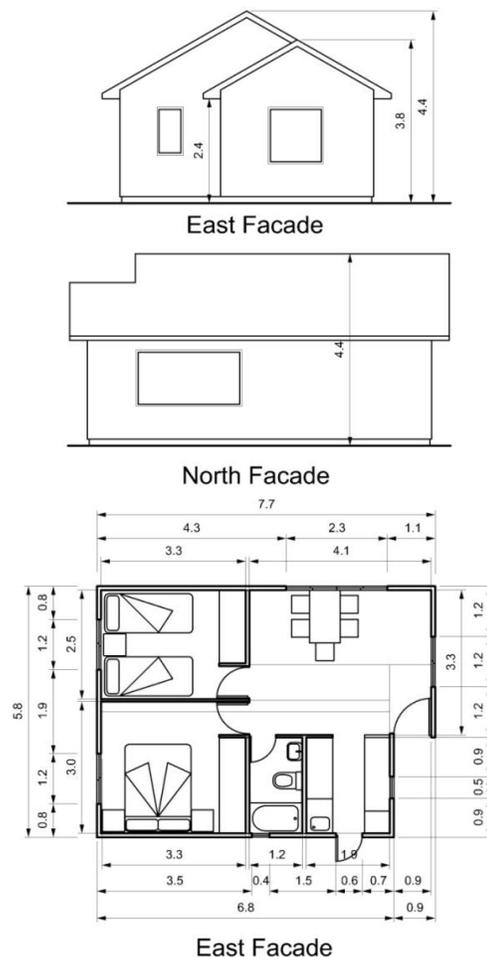


Figure 1: Detached single level Housing layout assessed through energy simulation. Source: Own Elaboration.

Figura 1: Planta de vivienda aislada de un piso evaluada a través de simulación energética. Fuente: Elaboración Propia.

More parameters are considered at this stage of simulations to analyse the effect of reversing the sequence of materials on walls for the typical

Chilean Standards building, where brick walls are commonly insulated (with materials such as expanded polystyrene and plaster) either on the internal or on the external face of the wall. Therefore, two additional case scenarios can be assessed at this stage with the purpose of identifying the importance of internal (or external) thermal mass in the energy performance of buildings that follow the Chilean standards. The

potential risk of condensation is not part of this study.

Moreover, the assessed building layout originally shows a window-to-wall ratio of 10%, however, if using the balanced U-Value method stated on the regulation, its window-to-wall ratio can be increased up to the maximum of 19% as the following calculation shows:

- Balanced U-Value for the building assessed – Window-to-Wall Ratio = 10%

$$\frac{\text{Glazing}(7.78\text{m}^2 \times 5.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}) + \text{Door}(2.89\text{m}^2 \times 3.48\text{W}/\text{m}^2\text{K}) + \text{Walls}(63.5\text{m}^2 \times 1.7\text{W}/\text{m}^2\text{K})}{\text{Total Facade Area} = 74.17\text{m}^2} = 2.2\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

- Balanced U-Value for the building assessed - Maximum Window-to-Wall Ratio = 19%

$$\frac{\text{Glazing} (14.3\text{m}^2 \times 5.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}) + \text{Door} (2.89\text{m}^2 \times 3.48\text{W}/\text{m}^2\text{K}) + \text{Walls} (56.9\text{m}^2 \times 1.7\text{W}/\text{m}^2\text{K})}{\text{Total Facade Area} = 74.17\text{m}^2} = 2.56\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

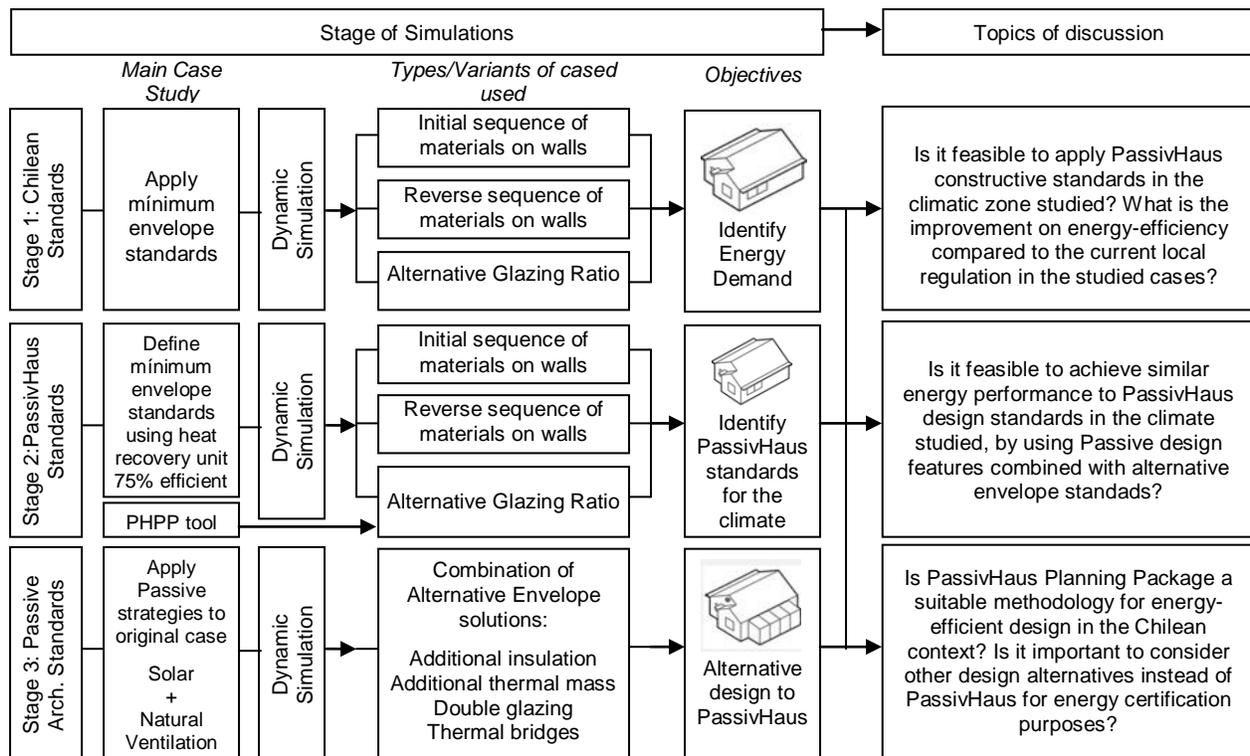


Figure 2: Stages of research and further topics of discussion. Source: Own Elaboration.
Figura 2: Esquema de la investigación y temas de discusión a futuro. Fuente: Elaboración Propia

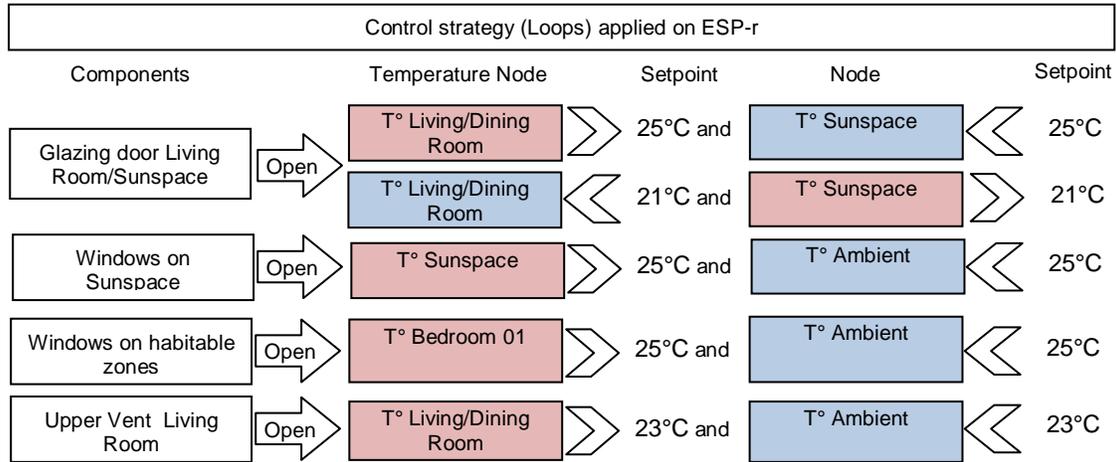


Figure 3: Control strategies applied on ESP-r for the Air Flow Network from stage 3. Source: Own Elaboration.
Figura 3: Estrategias de control aplicadas al modelo de flujo de aire en ESP-r del paso 3. Fuente: Elaboración Propia

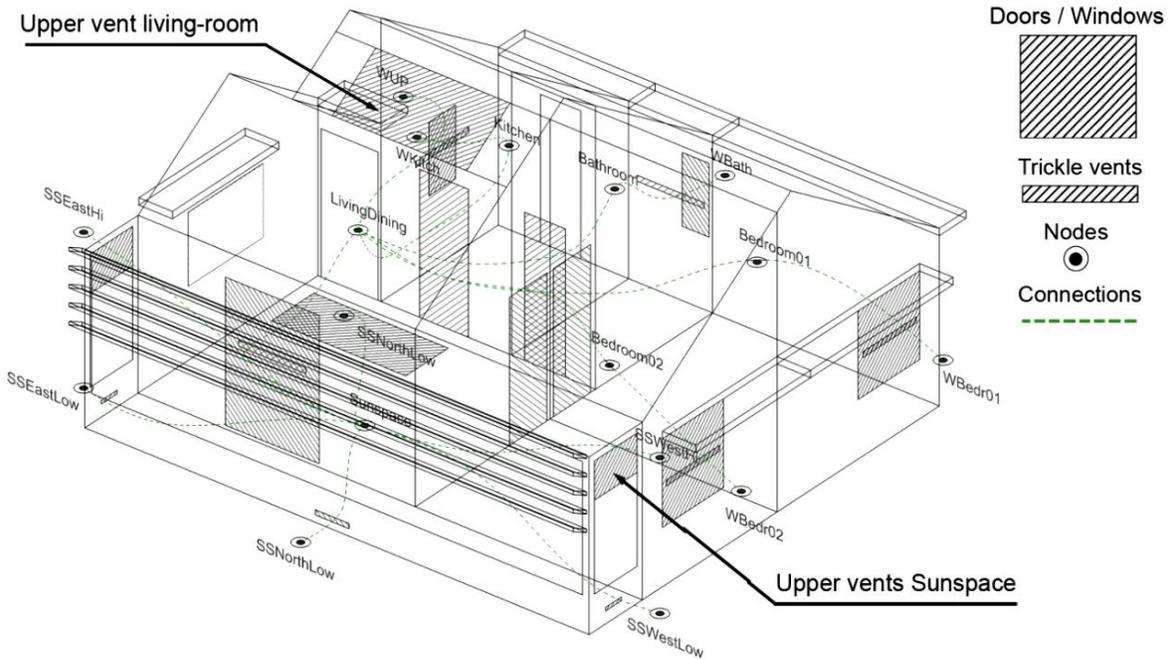


Figure 4: Air flow network components modelled in ESP-r. Source: Own Elaboration.
Figura 4: Componentes del modelo de flujo de aire en ESP-r. Fuente: Elaboración Propia

An additional case scenario with 19% of window-to-wall is included in the study, with the purpose of identifying the differences between the use of the balanced U-Value method and the elemental U-value method of the regulations.

For the second stage of simulations (see figure 2), an upgrade to PassivHaus levels is applied to the building layout. PassivHaus energy performance must not exceed 15 kWh/m²a for heating and cooling requirements, therefore, it is

the purpose of this stage to calculate the maximum U-values that must be used to meet this standard for the specific climatic zone of the study. There are several prescribed ways to achieve this and for this study it was assumed to keep two buildings variables as fixed: firstly, a U-value of 1.1W/m²K for all of the building's windows, and secondly, a fixed efficiency of 75% for the Heat Recovery Unit which is the minimum Heat Recovery Unit efficiency allowed by PassivHaus.

For this stage of simulations, thermal bridges are assumed eliminated in accordance with the requirements of the PassivHaus standard.

Finally, a third stage of energy simulations is performed to examine the application of a sunspace (typical passive solar system) combined with a natural ventilation scheme simulated on ESP-r through an Air Flow Network simulation while keeping the rest of the building envelope characteristics the same as for the original case (i.e. same as for the Chilean standards of stage 1). This simulation technique (Hand, 2008) enables to simulate window operation through detailed controlling parameters for the different Air Flow Network components (See figure 3). These control “rules” that were set for the simulations are representing sensitive use of the sunspace in order to gain maximise the heat gains from the sunspace during winter and to control any risk of overheating for all building spaces during summer.

Other air flow components such as trickle vents and building cracks are calibrated in the model to assimilate the uncontrolled heat losses due to ventilation. Figure 4 illustrates the different airflow components modelled in ESP-r to simulate the proposed alternative passive design.

In another case, the simulated passive solar building design is then improved by enhancing the applied U-value standards of the different building components. It is assumed that the current Chilean standards can be improved by simply reducing the thermal transmittance of walls and floors slightly below the maximum values allowed by the standards (e.g. in roofs, the current U-value requirement of $0.38 \text{ W/m}^2\text{K}$ can be easily changed to $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$, which is equivalent of 100mm Expanded Polystyrene insulation). This may represent a highly feasible technical improvement in the current regulation and consequently, a significant energy performance improvement in the building sector.

On the other hand, the relevance of thermal bridges is also investigated by running additional simulations of the same building in which the thermal bridges have been eliminated. The thermal bridge values that are stated in the Chilean Norm are not part of the current mandatory Chilean regulation, however, they are considered as default standards in the current national CTE.20 Energy Tool that is meant to be used for the Thermal Qualification Procedure.

The purpose of this third stage of simulations is to assess the possible energy benefits in terms

of heating and cooling requirements with the use of passive architecture design techniques that may represent an economic and cost-effective alternative against the design methods suggested by PassivHaus standards.

4. Discussion of results

Graphic 1 presents a summary of the main results obtained from the three stages of simulations, whereas a detailed description of the parameters of each simulation is given in Table 4. The cases have been enumerated according to their energy performance rather than stages of simulation.

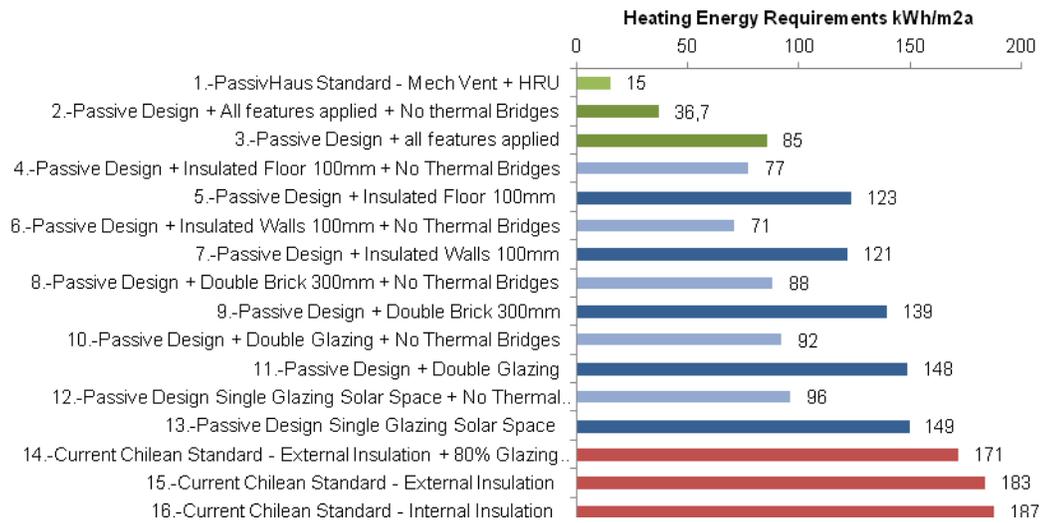
For the cases of the first stage of the study (case 14, 15 and 16), the results show that the current minimum Chilean standards ensure a maximum heating requirement of approximately $180 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

In addition, it can be seen that by increasing window-to-wall ratio to the limit allowed by the alternative balanced U-Value method, energy requirements would decrease by about 8% without causing issues of summer overheating (i.e. the cooling load is less than $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ in these cases). In all cases, an integrated calculation with dynamic energy simulation programs would be an appropriate method for investigating the different options that are allowed by the current Chilean standards for energy compliance purposes.

Case 15 presents a slight improvement on energy performance in comparison to case 16, which provides energy savings of less than 3% (this is approximately CLP\$20.000 annual savings from heating for the building of this study). However, this illustrates that from the passive design point of view, it is preferable to consider the use of internal thermal mass in the specific climate in order to store solar heat gains and reduce the energy demand. It could be suggested that if the future Chilean regulations will continue to provide prescribed design guidelines, such as for example glazing ratios and maximum U-values, it would be feasible to also recommend optimal levels of thermal mass for each climatic zone. Dynamic energy simulation could be a helpful tool for such a purpose.

For the second stage of simulations it was assumed that due to the early stage of development of highly efficient heat recovery equipment in Chile the minimum requirement of 75% efficiency constituted an acceptable fixed

Results from Case Studies on different Simulation Stages



Graphic 1: Results from Case Studies for the different Simulation Stages. Source: Own Elaboration.

Grafico 1: Resultados para los casos de estudio en las diferentes etapas de simulación. Fuente: Elaboración Propia

Table 4: Description of the simulated cases. Source: Own Elaboration.

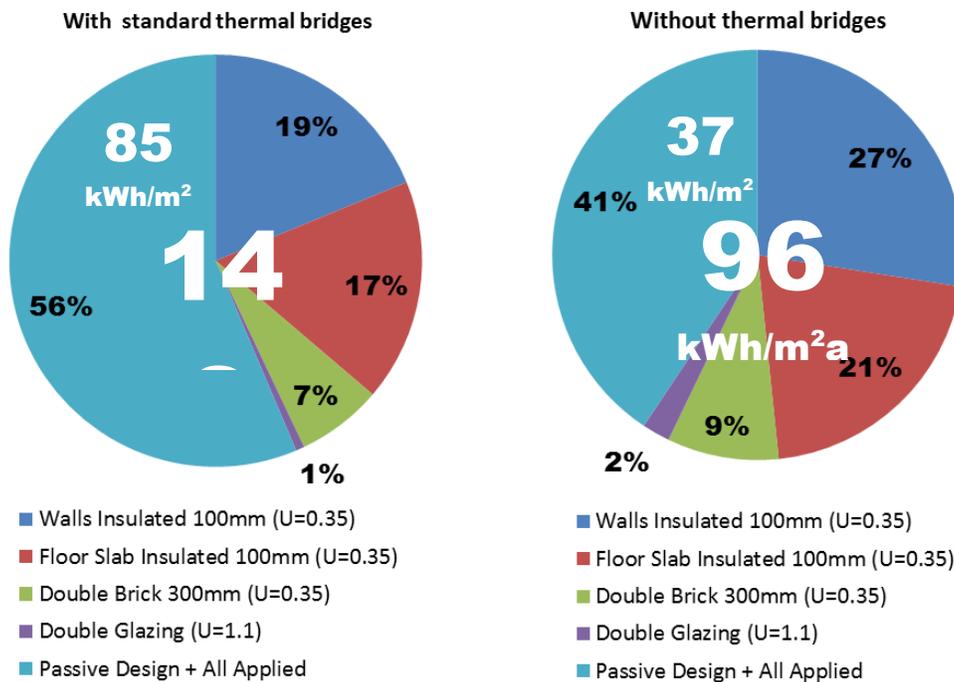
Tabla 4: Descripción de los casos simulados. Fuente: Elaboración Propia.

CASE	DESCRIPTION
1.-PassivHaus Standard - Mech Vent & HRU	Mechanical Ventilation + 75% efficient Heat Recovery Unit Envelope U-Values: Wall, roof and floor: 0.24W/m2K Glazing U-Value:1.1W/m2K Ventilation: Average Air flow Rate:120 m ³ /h - 0.95 ACH Air leakage level: 0.6 ACH @ 50Pa – near to 0.001 ACH at normal pressure conditions. internal heat gains: 2.1 W/m2 No thermal bridges
2.-Passive Design + All features applied + No thermal Bridges	7.7m2 Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m3/h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall, roof and floor: 0.35W/m2K Glazing U-value: 1.1W/m2K Windows increased 80% in north, east and west facades No thermal bridges
3.-Passive Design + all features applied	7.7m2 Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m3/h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall, roof and floor: 0.35W/m2K Glazing U-value: 1.1W/m2K Windows increased 80% in north, east and west facades Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91
4.-Passive Design + Insulated Floor 100mm + No Thermal Bridges	7.7m2 Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m3/h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 1.7W/m2K - Roof: 0.35 W/m2K - Floor: 0.35 W/m2K Glazing U-value: 5.8W/m2K Windows increased 80% in north, east and west facades No thermal bridges
5.-Passive Design + Insulated Floor 100mm	7.7m2 Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m3/h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 1.7W/m2K - Roof: 0.35 W/m2K - Floor: 0.35 W/m2K Glazing U-value: 5.8W/m2K Windows increased 80% in north, east and west facades Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91

6.-Passive Design + Insulated Walls 100mm + No Thermal Bridges	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 0.35W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades No thermal bridges
7.-Passive Design + Insulated Walls 100mm	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 0.35W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91
8.-Passive Design + Double Brick 300mm + No Thermal Bridges.	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 0.345W/m ² K (additional thermal mass)- Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades No thermal bridges
9.-Passive Design + Double Brick 300mm	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 0.345W/m ² K (additional thermal mass)- Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91
10.-Passive Design + Double Glazing + No Thermal Bridges	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-values: Wall: 1.7W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 1.1W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades No thermal bridges
11.-Passive Design + Double Glazing	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-values: Wall: 1.7W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 1.1W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91
12.-Passive Design Single Glazing Sunspace + No Thermal Bridges	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-values: Wall: 1.7W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades T No thermal bridges
13.-Passive Design Single Glazing Sunspace	7.7m ² Single-glazing sunspace Natural ventilation - Average Airflow rate: 145.5 m ³ /h – near to 0.95 ACH on winter period Envelope U-Values: Wall: 1.7W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91
14.-Current Chilean Standard - External Insulation + 80% Glazing Increased	Ventilation - Average Airflow rate: 120m ³ /h – near to 0.95 ACH Infiltration: 30 m ³ /m ² *h @ 50Pa – near to 0.5 ACH Envelope U-Values: Wall: 1.7W/m ² K - Roof: 0.35 W/m ² K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m ² K Windows increased 80% in north, east and west facades Insulation on external face of walls Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91

15.-Current Chilean Standard - External Insulation	Ventilation - Average Airflow rate: 120m ³ /h – near to 0.95 ACH Infiltration: 30 m ³ /m ² *h @ 50Pa – near to 0.5 ACH Envelope U-Values: Wall: 1.7W/m2K - Roof: 0.35 W/m2K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m2K Insulation on external face of walls Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91
16.-Current Chilean Standard - Internal Insulation	Ventilation - Average Airflow rate: 120m ³ /h – near to 0.95 ACH Infiltration: 30 m ³ /m ² *h @ 50Pa – near to 0.5 ACH Envelope U-Values: Wall: 1.7W/m2K - Roof: 0.35 W/m2K - Floor: Concrete Slab Uninsulated Glazing U-value: 5.8W/m2K Insulation on internal face of walls Thermal bridges: According to linear thermal transmittances NCH 853Of91

Contribution from improving building components in Passive



Graphic 2: Contribution from improving building components in passive design (with standard thermal bridges and without thermal bridges). Source: Own Elaboration.

Grafico 2: Contribución de mejoras en la envolvente en el diseño pasivo (con puentes térmicos estándar y sin puentes térmicos). Fuente: Elaboración Propia

assumption for the analysis. In addition, a minimum standard for glazing properties was established by using the PHPP tool in a way that wall and roof thicknesses remained within reasonably affordable levels. The resultant U-value of the window that was used was 1.1W/m²K and the solar transmittance (g-Value) was 0.56.

The results obtained using the PHPP calculation tool show that in order to meet the PassivHaus certification target (i.e.15kWh/m²a for heating and cooling requirements) the U-values for roof, floor and walls had to be 0.11W/m²K.

However, ESP-r results for the same building case show that PassivHaus certification is achievable with even lower construction standards than those estimated by the PHPP tool, i.e. a U-value of 0.24W/m²K on all opaque components is satisfactory for meeting the PassivHaus target (case 1 in Table 4). These results demonstrate an interesting opportunity to introduce the PassivHaus building concept into milder climates such as the one for this study by using considerably lower insulation levels than those required to meet the PassivHaus target for the colder climates of Northern Europe.

The third stage of simulations (cases 2 to 13 in Table 4) revise energy performance improvements through the application of passive design solutions as an alternative to PassivHaus standards. Results show that implementing a single-glazing sunspace in the north facade of 7.7m^2 to the building can contribute to an energy saving of 22 to 34 kWh/m²a compared with the base cases of the current Chilean building standards (these energy savings are equivalent to annual savings of approximately CLP\$118800 to CLP\$183300). On the other hand, if construction practices improve in a way that the thermal bridges of the building are eliminated (case 12 against case 13 in Table 4) the energy requirements for heating purposes are reduced by approximately 35% (thermal bridges account for approximately 53 kWh/m²a out of the total heat losses in the base case).

The simulation results for the different upgrades on the building components are summarised in Graphic 2, the percentages in the chart should be considered only concerning the case study and its scale. However, these percentages illustrate the importance of improving the thermal envelope and energy performance of housing of similar characteristics through passive design strategies.

With regards to the improvements of building envelope components, it is found that the best choices in terms of energy savings are to increase the insulation levels on walls or beneath the floor slab. In particular, it is found that including insulation below the floor slab is an important design recommendation when taking into consideration that the current Chilean regulation does not require any mandatory insulation layers on floor components that are in contact with the ground, and that it is not possible to improve this part of the building after the construction stage.

Moreover, it can be observed from the results that the alternative proposed building standards combined with passive solar strategies represent a feasible alternative to PassivHaus standards (see Graphic 1, cases 2 and 3). Implementing all of the passive design strategies that were investigated in this study would result in a reduction of heating requirements of the studied case, of approximately 53% compared with those required by the current Chilean standard (see Graphic 1, cases 15 and 16).

On the other hand, PassivHaus standards applied to the case study, represent a reduction of energy consumption of around 92% in comparison

to Chilean standards. This high-efficiency performance is clearly due to the reduction of heat losses caused by integrating a mechanical ventilation system with the heat recovery unit. This key feature of the PassivHaus configuration may also be applicable to alternative building standards such as the ones studied in cases 2 and 3, taking in consideration that these building standards represent more affordable envelope solutions than PassivHaus envelope requirements.

Conclusions

Energy efficiency opportunities from passive design strategies were demonstrated by using detailed simulation tools such as ESP-r and it was shown that such tools could offer additional opportunities for low energy building designs if they are allowed to be introduced as methods of building energy certification.

It has been also highlighted that the current technical aspects of regulation should be enhanced in the future, as exemplified by other regulations and Standards such as the Passivhaus standard, in a way that could guide professionals on considering important aspects of energy efficiency, for example the air leakage and the avoidance of thermal bridges.

Dynamic simulation results using ESP-r suggest that Passivhaus energy performance can be achieved with more affordable construction standards than those prescribed by the PassivHaus tool (PPPT). The ESP-r output shows that applying opaque U-values of $0.24\text{ W/m}^2\text{K}$ was enough to meet the PassivHaus target of 15 kWh/m²a for space heating and cooling. This suggests that PassivHaus standards could be implemented on the climate in a less restrictive and more economic way than that prescribed by the PassivHaus tool.

Cases of passive solar designs that incorporate natural ventilation were also analysed as an alternative to the prescribed PassivHaus standards in order to quantify the potential of such passive design techniques in reducing energy requirements. The passive design was studied in combination with better envelope standards than those currently prescribed by Chilean regulations. From the results of the simulations it was concluded that passive design could also significantly reduce the heating energy requirements of the building (controlling cooling demands by effective natural ventilation) and it

constitutes a feasible alternative to PassivHaus standards option for the climate of the study.

The passive design approach should not be omitted by the future regulations of Chile since passive design strategies can be cost-effective and have lower costs of maintenance than the PassivHaus active approach. However, passive solar systems such as the one studied (attached sunspace for passive heating) may require significant levels of control that may compromise their acceptance by the local public and conversely their energy performance when implemented in buildings. Therefore, it is found important to assess passive design through dynamic simulation tools, in order to study in detail its energy performance and operation required.

Acknowledgements

The authors would like to thank the support of the professors and staff at the Centre for Sustainable Energy Technologies of the University of Nottingham, Ningbo Campus, as well as to the National Commission for Science and Technology (CONICYT) from the Government of Chile.

References

- AASEM, E; CLARKE, J; HENSEN, J; KELLY, N; MACQUEEN, J. y NEGRAO, C. Current system modelling potential of ESP-r. Energy Simulation Research Unit University of Strathclyde, Glasgow G1 1XJ, UK, 1994. 15p. Available at: <www.esru.strath.ac.uk/Documents/status_esp-r.pdf> [accessed: July 2010]
- BRE-PASSIVHAUS. PassivHaus Primer [online]. 2010. Available at: <www.passivhaus.org.uk/filelibrary/BRE-PassivHaus-Primer.pdf> [accessed: July 2010]
- BUSTAMANTE, W., ENCINAS, F, ROZAS, Y. Y VICTORERO, F. Desarrollo de la herramienta de certificación de comportamiento térmico de edificios en Chile: Manuales de Referencias Técnicas: fundamentos técnicos. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007.
- CIBSE. Guide A - Environmental Design. London, the Chartered Institution of Building Services Engineers, 2006.
- FEIST, W; SCHNIEDERS, J; DORER, V. y HAAS, A. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings* 37:1186-1203, 2005.
- FEIST, W. PHPP: far more than just an energy tool [online]. 2010. Available at: <http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/PHPP.html> [accessed: July 2010]
- FISSORE, A. y COLONELLI, P. Sistema de certificación energética de viviendas para Ministerio de Vivienda y Urbanismo Chile. Informe final. Concepción, Instituto de Investigaciones Tecnológicas y Asistencia Técnica, Universidad de Concepción, Chile, 2009.
- HAND, J.W. The ESP-r Cookbook; Strategies for Deploying Virtual Representations of the Build Environment [online]. 2008. Available at: <http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/ESP-r_cookbook_exercises_sep2008.pdf> [accessed: July 2010]
- KOLOKOTRONI, M. y YOUNG, N. Guidelines for Bioclimatic Housing Design in Greece. *Building and Environment* 25(4):297-307, 1990.
- NORMA CHILENA OFICIAL. Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. NCh853.Of91, Santiago, Chile, 1991.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). Santiago, Chile, 2011.
- SCHNIEDERS, J. y HERMELINK, A. Cepheus results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy* 34:151-171, 2006.
- STRACHAN, P.A., KOKOGIANNAKIS, G. y MACDONALD, I.A. History and development of validation with the ESP-r simulation program. *Building and Environment* 43:601-609, 2008.
- SCHNIEDERS, J., Passive houses in Mediterranean climates, 2009 [online]. Available at http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/PH_MedClim.html [accessed July 2010]

Recibido: 05|05|2012
Aceptado: 18|06|2012



Análisis y Diagnóstico Ambiental del Hábitat Rural en Zonas Áridas de la Provincia de San Juan, Argentina.

Analysis and environmental diagnosis of rural habitat in arid zones of the province of San Juan, Argentina

Maria Guillermina Re (a)

(a) *Becaria Doctoral PFDT-PRH26. FONCYT-UNSJ. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan – Argentina – email: guillerminare@gmail.com*

RESUMEN

Palabras clave:
Hábitat rural
Análisis territorial
Diagnóstico ambiental

Este trabajo presenta el análisis llevado a cabo sobre comunidades rurales que habitan las zonas áridas de la provincia de San Juan, con el objetivo de obtener un diagnóstico que permita elaborar propuestas de mejoramiento en futuras actividades a realizar. El análisis se efectúa en dos diferentes escalas de aproximación, una de ellas sobre el medio ambiente natural (macro escala), y otra sobre el medio ambiente antropizado (micro escala), que representan los puestos ganaderos, como núcleo familiar y productivo del hábitat rural. El trabajo permite obtener una caracterización ambiental y el conocimiento de las leyes que los estructuran, a la vez que efectuar su evaluación y diagnóstico.

ABSTRACT

Keywords:
Rural habitat
Territorial analysis
Environmental diagnosis

This paper presents the environmental analysis on rural communities on arid zones of the province of San Juan. The objective of this research is to perform a diagnosis and to develop proposals for future improvements on this region. The analysis was carried out at two different scales: one on the natural environment (macro scale), and another one, on the humanized environment (micro scale), represented by the productive farms, considered as the core of the rural domestic and productive habitat. This research allowed a characterization of the environment and an understanding of the rules that structure the rural habitat in San Juan, and also to perform an evaluation and diagnosis of this type of rural habitat.

1. Introducción

Se presenta el análisis realizado en el marco de la tesis de maestría (Re, 2007), dirigida por la Msc. Arq. Irene Blasco Lucas. El área de estudio

considerada, es la zona rural árido-sísmica ubicada al sureste de la provincia de San Juan, en los departamentos de Caucete y 25 de Mayo. Este ambiente natural se encuentra determinado, por una muy importante aridez que condiciona el

desarrollo de la vida humana, animal y vegetal, requiriendo de un esfuerzo continuo para su subsistencia, y de una racionalización de los recursos, especialmente del agua, debido a las situaciones límites que muchas veces se presentan.

El hábitat rural de puestos ganaderos, se ha caracterizado a lo largo de la historia por ser un sector vulnerable, con elevada marginalidad y frecuentemente inatendido por las políticas de estado. La gran mayoría, se localiza en forma dispersa en el territorio, generalmente en terrenos fiscales de difícil accesibilidad vehicular y sin el abastecimiento de servicios de red (agua, electricidad y gas natural). Sus economías de subsistencia se basan principalmente en las actividades ganaderas de tipo caprino, y en menor escala en la elaboración de artesanías. La problemática de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), se evidencia en las viviendas precarias construidas con materiales que no son sismoresistentes, en las malas condiciones de habitabilidad y de salubridad, en los problemas de hacinamiento y en la educación deficiente (INDEC, 2003). La vulnerabilidad que afecta al sector rural condiciona la calidad de vida del 14% de la población total de la provincia que vive en éstas áreas. En los departamentos de Cauce y 25 de Mayo, los hogares con NBI, representan el 20,4% y el 27,8% respectivamente (INDEC, 2001).

El presente trabajo persigue los objetivos de caracterizar el hábitat rural y de conocer las leyes que lo estructuran, considerando que su entendimiento contribuirá favorablemente en el proceso de diseño de una arquitectura apropiada a la región, que utilice los recursos disponibles, y que cuente con un desarrollo tecnológico adecuado al lugar de implantación y en diálogo con el medio ambiente.

2. Marco de referencia

A lo largo de la historia, han sido los mismos habitantes de zonas rurales, los que han tenido que afrontar la construcción de su hábitat de manera espontánea, utilizando para ello los materiales disponibles en el medio ambiente (Blasco, 2002; Pastor et al., 2004). Los métodos de construcción con tierra en Iberoamérica existieron desde épocas remotas, principalmente en aquellas regiones con clima cálido y seco (Neves, 2007; Roux Gutiérrez, 2003).

En este marco, se entiende al medio ambiente como una totalidad de relaciones

complejas entre los elementos que lo estructuran. Éste, se encuentra conformado por el Medio Natural que actúa como soporte y representa el conjunto de elementos y sus interacciones tal como se manifiestan en la realidad, y por el Medio Antropizado, resultado de la combinación del ámbito social-cultural, constituido por los aspectos relacionados al hombre, y con el ámbito físico-artificial como su forma de expresión tangible (Papparelli et al., 2001; CEPAL, 1990).

Distintos autores, además, consideran que el hábitat o medio ambiente total, se encuentra compuesto por una serie de dimensiones concurrentes; para Cejka, (1999), la construcción del hábitat está determinada por la presencia de: los objetos, los edificios, la ciudad y el territorio; mientras que para Doberti y Giordano (1999), está representado por los conjuntos de elementos artificiales y naturales que integran el ambiente, en tres escalas diferenciadas: la objetual, la edilicia y la urbana.

Dentro del presente trabajo, se denomina al hábitat rural familiar constituido a modo de puesto ganadero, como Unidad Productiva (UP). Ésta es definida por Blasco (2002, p.3) como aquel *“espacio físico adaptado a la producción ganadera, artesanal o agrícola, de manera que permita el autoabastecimiento de alimentos para el consumo del grupo humano y la producción de excedentes para su comercialización en la muy pequeña escala”*.

Teniendo en cuenta los conceptos expuestos, se considera al hábitat rural de UP, como aquel espacio territorial conformado por tres dimensiones: *la edilicia, la objetual y el entorno*, donde cada una de ellas es representada por elementos que posibilitan su funcionamiento: la vivienda, el equipamiento y el entorno inmediato respectivamente.

3. Metodología

Se realiza el análisis de la realidad actual del hábitat rural, a través de un recorte témporo-espacial y con distintas escalas de estudio (macro y micro escala). Para ello se utiliza una metodología cuali-cuantitativa, que consiste en el relevamiento de 28 puestos ganaderos del secano sanjuanino y el procesamiento de datos primarios, buscando caracterizar la realidad física y social, para llegar al diagnóstico ambiental (Blasco et al., 2004-2007; Montero et al., 2000; Barros et al., 2010).

El análisis sistemático y técnico, se lleva a cabo para la *macro escala*, que comprende la zona árida del sureste sanjuanino, definida como secano. Éste persigue el objetivo de caracterizar los elementos que configuran el ambiente natural, estudiando las variables que le otorgan carácter a la zona: territorio, factores climáticos y sismo.

La *micro escala*, se centra en el análisis de las unidades productivas, como representación del hábitat rural familiar. Aquí se analizan aquellos elementos que componen el ambiente antropizado, dividido en ámbito social/ cultural y ámbito físico/artificial. Durante el análisis se aplican técnicas de observación y entrevistas en el trabajo de campo, y se utilizan fichas de relevamiento previamente diseñadas (Re, 2003). Los datos obtenidos, de carácter cuantitativo y cualitativo, son procesados posteriormente con la construcción de tablas comparativas, cuadros estadísticos y gráficos ilustrativos de la realidad.

Al poseer el trabajo un enfoque tecnológico, el relevamiento físico / artificial se desarrolla en forma más extensa y detallada que el social / cultural, buscando profundizar en el estudio de la configuración espacial de la Unidad Productiva, en la materialización y tipologías predominantes en las viviendas, en el equipamiento e infraestructura de servicios y en el entorno.

Como segunda instancia se confecciona un diagnóstico ambiental de la realidad del sector en estudio, que suministra la información necesaria para efectuar futuras propuestas de mejoramiento del hábitat. Se realiza la evaluación de las UP, resaltando aspectos negativos, referidos a problemáticas y disfunciones; y aspectos positivos que sirvan como recursos.

4. Análisis Territorial

Macro escala: zona árida del sureste sanjuanino.

En este análisis se realiza la caracterización del medio ambiente natural, a partir de una lectura sistemática y técnica sobre el territorio.

- *Terreno y localización*

El área considerada como la escala macro, comprende la región árida y desértica que se desarrolla al SE de la provincia de San Juan, entre las latitudes 32°20' y 33°30' Sur, y longitudes 67°15' y 68°15' Oeste. Los límites de esta zona no se encuentran dispuestos por divisiones políticas sino que están dados por las características geofísicas del terreno natural, abarcando porciones de los departamentos de 25

de Mayo y Caucete en San Juan, y extendiéndose hacia el norte de la provincia de Mendoza.

La zona árida en referencia, es un área extensa con terreno plano, y suelo arcilloso y compacto; aunque también existen sectores con un alto grado de salinidad, terrenos quebradizos y con la presencia de grietas a nivel superficial, y lugares con dunas de arenas, que contribuyen con la imagen desértica del sector.

- *Factores Climáticos*

El clima del lugar se caracteriza por ser seco, con alta irradiancia y heliofanía solar a lo largo de todo el año, grandes amplitudes térmicas diarias y estacionarias, períodos cálidos extensos con elevadas temperaturas, inviernos cortos y rigurosos, lluvias escasas pero torrenciales en verano. El viento más frecuente es el que proviene del sur y sureste, con una intensidad variable por temporadas. El viento Zonda, es característico de la zona; éste proviene del oeste, es cálido, seco y está cargado de tierra y arenilla.

Según la clasificación de las diferentes zonas bioambientales (ZB) del país, realizada por la Norma IRAM 11603 (1996), la región se encuentra en el límite entre la ZB-III (clima templado cálido) y la ZB-II (clima cálido), ambos correspondientes a la subzona "a", que indica amplitudes térmicas mayores que 14°C. Los gráficos que caracterizan el clima del lugar (Fig. 1) fueron realizados con un software específico (Evans, de Schiller, 2002), al cual se le cargaron los datos meteorológicos suministrados por la estación INTA en las Casuarinas y por Pontoriero y Blasco (1993- 1998).

- *Sismo*

La región se encuentra en una zona sometida a fuertes movimientos tectónicos de carácter impredecible y está definida por la norma INPRES CIRSOC N° 103 con los valores 3 y 4, los que indican una peligrosidad sísmica elevada y muy elevada respectivamente (Blasco, 2002). Este hecho ha de ser tenido en cuenta en futuras propuestas de construcción de cualquier obra. La planificación y el estudio, son decisivos a la hora de responder adecuadamente ante el sismo, disminuyendo la vulnerabilidad de las estructuras resistentes.

5. Análisis Ambiental

Micro escala: hábitat rural de unidades productivas.

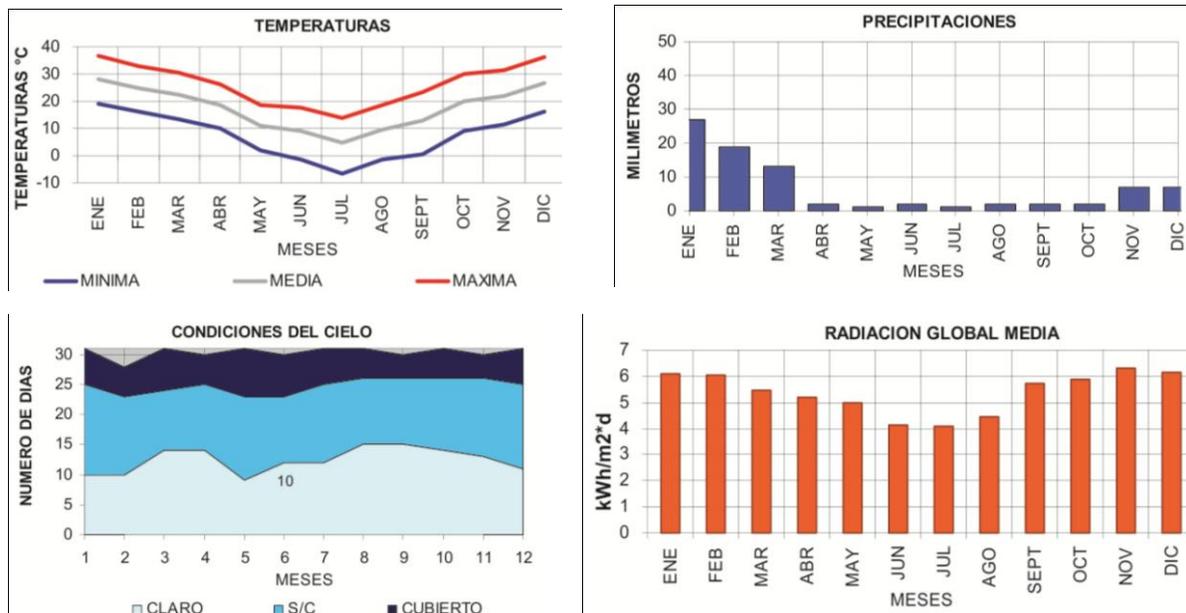


Figura 1: Características climáticas del secano sanjuanino. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 1: Weather characteristics of the dry zone of San Juan. Source: Own Elaboration.

Para este análisis se tomaron como casos de estudio 28 Unidades Productivas localizadas en el secano sanjuanino, y pertenecientes a las comunidades de Balde de Leyes, Ramblón Largo, Camarico y El Rincón- Punta del Agua. El trabajo de campo fue realizado por el equipo de investigación en sucesivos viajes, dentro del proyecto "Unidades Productivas Sustentables en Zonas Rurales Árido-Sísmicas" (Blasco et al., 2004-2007) y los datos que se manejan en este trabajo fueron recogidos por los distintos integrantes del equipo, entre los cuales participó la autora. Cada unidad productiva fue relevada en profundidad por medio de fotografías, gráficos a escala y entrevistas personales previamente diseñadas por la Dr. Lic Elena Hidalgo y la MSc. Arq. Irene Blasco.

Una vez organizadas las cinco fichas de relevamiento (Re, 2004), se procesaron los datos primarios en tablas comparativas (TC). Las mismas sintetizan la información más relevante y permiten la elaboración de gráficos de los aspectos analizados. Las cuatro TC se diseñaron respetando la estructura de análisis de las fichas de relevamiento.

- TC-Nº 1: *Localización y Entorno*
- TC-Nº 2: *Infraestructura de Servicios*
- TC-Nº 3: *Vivienda: Aspecto Espacial y Constructivo*

- TC-Nº 4: *Aspectos Sociales y Costumbres*

5.1 Ámbito Social-Cultural

Respecto a la constitución familiar, el 71% de los jefes de hogar son de sexo masculino con edad promedio de 55 años. La cantidad de habitantes censados en las 28 UP es de 138 personas. En 10 de las viviendas encuestadas, los integrantes del grupo familiar ascienden a 6 personas o más, y habitan viviendas de uno o dos dormitorios y un comedor. Este tipo de situación de hacinamiento es típica de las zonas rurales, que muchas veces recae en agravantes como la promiscuidad.

Las actividades productivas realizadas en los puestos (Fig. 2), son: la cría de animales como actividad principal y la producción de artesanías como secundaria. La actividad agropecuaria no está explotada, solo en el 29% de los casos se han detectado sectores con huertas destinadas al autoabastecimiento de verduras y hortalizas.

La tenencia de la Unidad Productiva, en el 86% de los casos, es la de ocupantes gratuitos, con un tiempo de permanencia en las tierras mayor a 40 años en el 36% de los casos. Las personas adultas, que llevan viviendo en el lugar un promedio de 30 años, manifestaron un fuerte sentimiento de pertenencia al sitio.

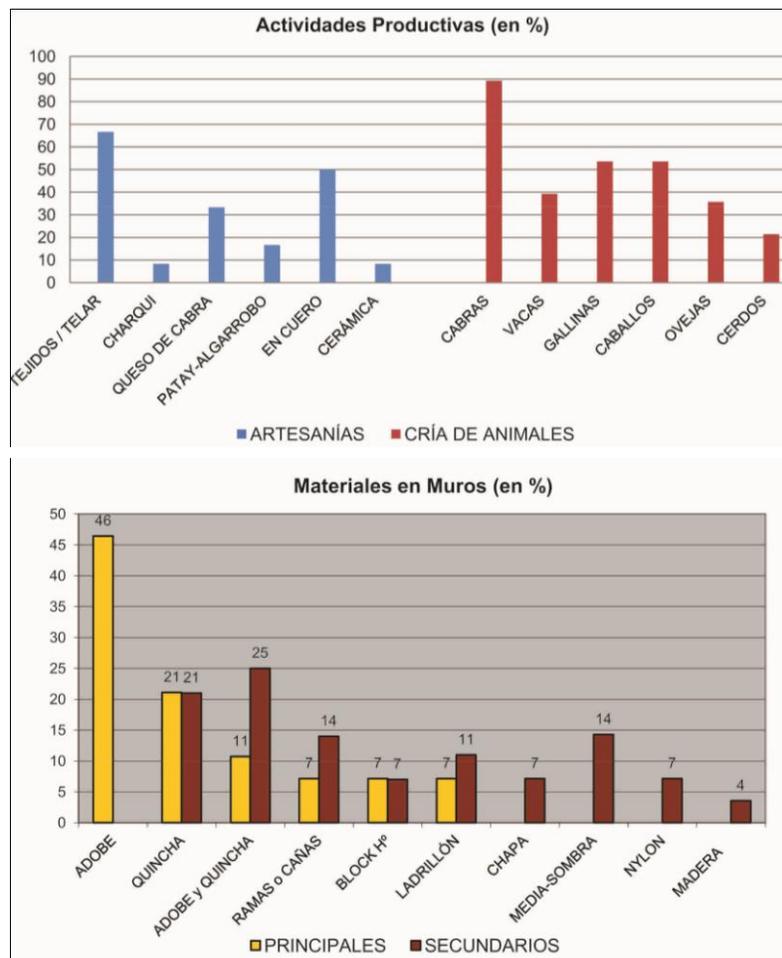


Figura 2: Gráficos del procesamiento de datos. Superior: actividades productivas. Inferior: materiales utilizados en muros de viviendas. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 2: Graphics from processed data. Top: productive activities. Bottom: materials used in walls of houses. Source: Own Elaboration

5.2 Ámbito Físico/ Artificial

- *Entorno:* localización y configuración del entorno.

Al espacio abierto que circunda la vivienda se lo denomina *entorno inmediato*; éste se encuentra delimitado perimetralmente con un alambrado o cerco de ramas y es allí donde se desarrollan las actividades domésticas y de producción. Este espacio representa el área antropizada ante la extensión del paisaje árido circundante, y está provisto de cierta arboleda autóctona en un intento por obtener mejores cualidades ambientales.

De acuerdo a los datos procesados en la TC-Nº 1 (*localización y entorno*) existe una distancia promedio de 10 Km entre las UP y la ruta principal. Los caminos conectores son de tierra en

el 89% de los casos, y el 68% presenta una situación de mala accesibilidad.

En el entorno de las UP se distinguen ciertos elementos constantes que se ubican alrededor de la vivienda con una distancia variable entre 5 y 25 metros; los más cercanos suelen ser el horno de barro (presente en el 93% de los casos), y la cisterna (57%). En una zona más retirada se ubican los corrales (96% de los casos), la huerta (54%), el gallinero (46%) y depósitos (89%).

- *Objetual:* equipamiento e infraestructura de servicios.

Lo objetual se refiere a la infraestructura de servicios y al *equipamiento* general (TC-Nº 2) con el que cuentan las UP. El abastecimiento de agua, se realiza a través de camiones en el 60% de los casos. Del total de UP, el 57% almacena el

agua en cisternas o piletas, el 18% utiliza tanques de 1000 litros. El agua para bebederos de animales, proviene de las lluvias o aguadas en el 79% de los casos. La evacuación de efluentes de aguas duras provenientes de letrinas y sanitarios, van a pozo absorbente en el 64% de las UP, y las aguas blandas generadas por la ducha y el lavado de cocina o ropa se dirigen directamente al terreno exterior en el 75% de las oportunidades.

De las 28 UP relevadas, el 50% posee panel fotovoltaico para la provisión de energía eléctrica tanto para iluminación como para el funcionamiento de artefactos, (TV o radio). Como energía térmica, la fuente más común en el 100% de los casos es la leña, utilizada para la preparación de alimentos y para calefaccionar ambientes por medio del brasero. Solo el 18% de los casos posee cocina a gas para complementar la cocción.

- *Edificio:* vivienda y sistemas constructivos.

Las viviendas son precarias y se materializan con elementos que provee la naturaleza, como tierra y madera (Fig. 3 y 4). La tipología de vivienda se encuentra condicionada por la intensa relación entre interior y exterior. La tipología disgregada es la más frecuente (36%), mientras que el resto de las viviendas responden a una configuración compacta, siendo la planta rectangular usual en un 29%, seguida de la tipología cuadrada y en L. Las viviendas rurales están compuestas por espacios cerrados y espacios de transición, galerías, que constituyen el elemento constante y con mayor importancia. La orientación más usual de las galerías es al norte (33%), luego le sigue el este con el 26% y el noreste con el 19%. Se identifica como hábito de utilización de espacios, la intensidad con la que viven el espacio exterior. Solamente en épocas muy frías, la familia se ubica en aquel lugar en donde está el fuego, como la cocina-comedor.

El eje de desarrollo más habitual es el E-O (41%). Dicho eje es el recomendable para una correcta resolución bioclimática en zonas cálidas debido a que favorece la ventilación cruzada norte-sur y el buen asolamiento. La orientación oeste es negada por la mayoría de las viviendas para protegerse del viento Zonda y controlar las altas temperaturas en verano.

En muros, el sistema constructivo más frecuente es el adobe (46%), seguido por la quincha (21%) y la combinación entre adobe y quincha. El gráfico inferior de la Fig. 2 muestra los materiales utilizados en la viviendas relevadas,

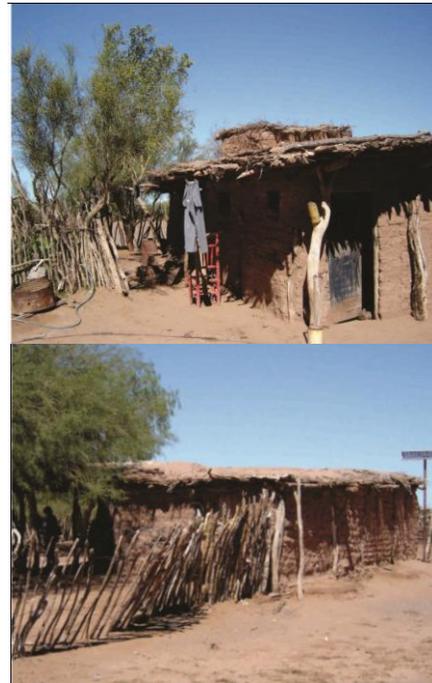


Figura 3: Viviendas y su entorno inmediato. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 3: Dwellings and their surroundings. Source: Own Elaboration



Figura 4: Materiales comúnmente utilizados en las viviendas rurales. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 4: Commonly used Building materials. Source: Own Elaboration

diferenciados en principales y secundarios. En techos, los materiales más repetidos son: cubierta de caña y barro (75% para ambientes interiores de la vivienda y 39% para galerías), seguido de

las ramas y barro. Como aislación hidrófuga se utiliza polietileno negro en el 46% de los casos, ocasionando inconvenientes por la falta de adherencia entre este material y el barro. El piso de las viviendas es de tierra (86%); y las aberturas suelen resolverse en madera de diferentes procedencias (93%).

6. Diagnóstico Ambiental del Hábitat Rural

El diagnóstico ambiental (DA) que se desarrolla es de tipo analítico-descriptivo, y se lleva a cabo en base al análisis de datos cualitativos de las UP. Su finalidad es lograr reconocer disfunciones, problemáticas y aspectos que requieren intervención; asimismo poner en valor las potencialidades que presenta el sector, que sirvan como recursos para las propuestas de mejoramiento que se elaboren. El DA busca constatar de manera clara y completa la situación presente del lugar, y realizar la caracterización de su realidad.

Para la elaboración de la Tabla de Calidad Ambiental (Tabla 1), se tomó como referencia la propuesta de caracterización ambiental diseñada por Papparelli et al. (2003). A la información cualitativa del análisis de las UP, se la dividió en ítems y se le asignó un valor a cada uno de ellos. De este modo, se pudo representar la calidad ambiental en forma cuantitativa. En el procedimiento no se tuvo en cuenta situaciones específicas detectadas, sino las características generales de los 28 puestos relevados, bajo la forma de datos porcentuales y totales.

El rango utilizado para la evaluación ambiental es el siguiente: *muy malo* (de 00 a 19), *malo* (de 20 a 39), *regular* (de 40 a 59), *bueno* (de 60 a 79), *muy bueno* (de 80 a 100). Una vez asignados los valores a cada aspecto avaluado, se promedian para obtener el resultado final del proceso, que no es otra cosa que la síntesis de la *calidad ambiental* del sector en estudio. Para el hábitat rural de UP, se obtuvo un valor promedio de 42 puntos, que corresponde a una calidad ambiental regular.

El diagnóstico deja ver que el entorno natural de las UP representa una importante condicionante para el desarrollo de la vida en ese lugar, tanto por la difícil accesibilidad como por el tipo de suelo que dificulta plantaciones y forestación. Mientras tanto, el entorno construido se encuentra en condiciones de mantenimiento y precariedad regulares.

Tabla 1: Evaluación de calidad ambiental. Fuente: Elaboración Propia.

Table 1: Assessment of environmental quality. Source: Own Elaboration.

	CALIFICACIÓN	VALOR
ENTORNO		
Accesibilidad	Malo	25
Caminos	Malo	35
Forestación	Regular	55
Tipo de Suelo	Regular	50
Conformación del Entorno	Regular	50
EQUIPAMIENTO; SERVICIOS		
Agua		
Obtención	Malo	30
Almacenamiento	Regular	45
Calidad	Regular	45
Disposición	Malo	25
Evacuación de Efluentes		
Presencia de Letrinas	Regular	50
Energía Eléctrica		
Iluminación	Regular	55
Artefactos	Regular	55
Energía Térmica		
Cocción	Malo	30
Calefacción	Malo	30
Equipamiento de Vivienda	Malo	25
EDIFICIO		
Tipología	Regular	50
Eje de Desarrollo	Regular	55
Orientación de Galería	Bueno	70
Materiales		
Resistencia	Regular	45
Terminaciones	Regular	40
Estado de Conservación	Malo	30
Revoques	Regular	50
Pisos	Malo	30
Asoleamiento	Regular	45
Sanidad	Malo	30
Ventilaciones	Regular	45
SOCIAL Y PRODUCTIVO		
Tenencia del Terreno		
Título de Propiedad	Malo	20
Tiempo	Bueno	75
Arraigo	Muy Bueno	90
Actividades Productivas		
Ganaderas	Bueno	75
Agrícolas	Malo	35
Artesanales	Regular	50
Participación Comunal	Muy Bueno	90
Nociones de Construcción	Bueno	75
	REGULAR	42

En cuanto a los servicios, la falta de agua de red representa una necesidad básica insatisfecha. La ausencia del servicio y la constante sensación de escasez los obliga a racionalizar de forma extrema el uso del agua almacenada para cubrir las necesidades más importantes, hecho que les impide realizar tareas de cultivos de hortalizas o de higiene personal. La evacuación de efluentes, no se encuentra resuelta correctamente, con ausencia de baños o letrinas, que se traduce

como una deficiencia en la conformación del hábitat.

La mitad de los casos relevados no cuenta con energía eléctrica, y en la mayoría se detecta la ausencia del servicio de gas. En consecuencia, las viviendas se encuentren desprovistas de equipamientos (heladera, TV, cocinas) lo que hace que se vean disminuidas y/o limitadas las actividades domésticas, productivas y de recreación.

Las viviendas se construyen de manera espontánea, y no todas responden favorablemente a las exigencias climáticas y sísmicas de la zona. La tipología dispersa o disgregada, frecuente usada, no responde eficientemente al clima del lugar, al poseer gran superficie de intercambio térmico entre el interior y el exterior. Por su parte, la tipología en L posee una importante debilidad sísmica en el vértice que vincula ambas partes.

La resistencia y el comportamiento de los materiales de construcción de las viviendas (adobe y quincha) frente a los movimientos sísmicos, es regular a mala, dependiendo de cómo estén contruidos. El análisis de casos ha dejado entrever que los problemas y/o disfunciones que presentan la mayoría de las viviendas se relacionan comúnmente con las patologías típicas causadas por la falta de mantenimiento y por las agresiones de los factores climáticos, principalmente las lluvias y los vientos, sobre las construcciones con tierra.

Respecto al aspecto social y productivo, un hecho que afecta negativamente a los habitantes de las UP es la ilegitimidad en la tenencia del terreno. El no poseer títulos de propiedad sobre las tierras tiene repercusiones desfavorables, no solo de índole legal, sino también a nivel productivo y de aspiraciones para el mejoramiento del lugar.

La falta de desarrollo de la actividad agrícola imposibilita el autoabastecimiento de verduras y hortalizas, y con ello el mejoramiento de la calidad de la dieta diaria. Ha quedado demostrado en el análisis, que en los casos que disponen de agua por red, existen sectores destinados a cultivos. La producción artesanal, tampoco se encuentra explotada de acuerdo al potencial que presenta, siendo posible que los motivos de este problema sean la falta de incentivo por la ausencia de clientes y puntos de venta.

Conclusiones

El estilo de desarrollo que ha tenido primacía en la región latinoamericana ha provocado efectos negativos sobre la comunidad rural incitando a los habitantes más jóvenes a abandonar el campo para trasladarse a centros urbanos en búsqueda de mejoras en la calidad de vida. La despoblación del sector rural es un factor alarmante a nivel de estabilidad productiva y social (Rivadeneira, 2000).

Las debilidades que se detectan a partir del diagnóstico, si bien están advertidas desde un prisma cultural urbano-occidental, consideran de manera objetiva la situación de pobreza y la identificación de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), que deberían ser atendidas por programas de asistencia.

Como potencialidades a tener en cuenta en futuras propuestas de mejoramiento, se reconoce un claro conocimiento del hábitat natural por parte de los pobladores. Esto se evidencia en varias viviendas relevadas, construidas espontáneamente, y que responden favorablemente al clima del lugar: eje de desarrollo este-oeste; galería orientada al NE o E para aprovechar las brisas del sur, la buena iluminación y protegerse del viento Zonda del oeste. También el sentimiento de arraigo y la constante participación comunal, son considerados como aspectos positivos que pueden ayudar a sustentar propuestas de mejoramiento. La trayectoria familiar en tareas de cría de ganado caprino, representa otro aspecto favorable a tener en cuenta en futuras acciones tendientes a explotar esta actividad con el desarrollo de la producción. Asimismo, los conocimientos del oficio de la construcción representan un potencial para la realización de trabajos de autoconstrucción de viviendas.

La caracterización ambiental logada a partir del análisis y diagnóstico, sientan las bases para la elaboración de pautas de mejoramiento desarrolladas desde un planteamiento consiente que considere las verdaderas condicionantes de los aspectos evaluados. La aridez y el sismo confieren mayor complejidad a la búsqueda de soluciones que ayuden a mejorar la calidad del hábitat rural, constituyendo un desafío que debe ser superado a partir de propuestas integrales que además contemplen el uso de tecnologías apropiadas, la frágil situación economía, la escasez de recursos y la posibilidad de optimizar los existentes.

A modo de cierre del trabajo, se cita una reflexión de Roux Gutiérrez (2003, p.187), que dice: *“comprender la vivienda rural puede ser complejo si no se concibe a la arquitectura habitacional como un ente cambiante, que se va modificando conforme va evolucionando el sitio, percibiéndose la paulatina influencia de la industrialización, no solo en los procesos constructivos, sino también en los cambios de los patrones conductuales de quienes se han asentado en este medio”*.

Agradecimientos

El proceso de investigación de la tesis de maestría (Re, 2007), de la que forma parte el presente trabajo, fue realizado en el marco de la beca de Iniciación, en el Proyecto ANPCYT-FONCYT PICT 13059 (2004-2007). Tanto la tesis como la beca contaron con la dirección de la Msc. Arq. Irene Blasco Lucas.

Referencias Bibliográficas

- BARROS, V; ARTEAGA, A; GARGANTA, L. y SAN JUAN, G. Relevamiento y diagnóstico del hábitat rural, orientado al desarrollo de tecnologías apropiadas y transferencia tecnológica. Productores hortícolas familiares del Parque Pereyra Iraola (PPI). AVERMA - Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. INENCO, 14: 12.01-12.08, 2012
- BLASCO, I. Unidades Productivas Sustentables en Zonas Rurales Árido-Sísmicas. Descripción Técnica del Proyecto. PICT 13-13059-FonCyT-ANPCyT, convocatoria 2002. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño, UNSJ.
- BLASCO, I. Unidades Productivas Sustentables en Zonas Rurales Árido-Sísmicas. Informe inédito. PICT 13-13059-FonCyT-ANPCyT. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño, UNSJ. 2004-2007.
- CEJKA, J. Tendencias de la Arquitectura Contemporánea. 3º Edición. México, G. Gili, 1999. 136p.
- CEPAL, PNUMA. El Reto Ambiental del Desarrollo en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Santiago de Chile, Publicidad Medusa S.A, 1990. 123p.
- DOBERTI, R. y GIORDANO, L. De la Descripción de Costumbres a una Teoría del Habitar. En: Actas del II congreso internacional: Ámbito Latinoamericano, El habitar, una orientación para la investigación proyectual: 1999. Argentina, Laboratorio de Morfología, FADU, UBA.
- EVANS, JM. y DE SCHILLER, S. [CD-ROM] Software para graficar propiedades climáticas. Versión 2002. Arquitectura Sustentable de la Maestría en Arquitectura en Zona Áridas y Sísmicas. San Juan. UNSJ. Programa Computacional.
- INDEC. Tablas del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 [en línea]. Argentina. Instituto Nacional de Estadística y Censo de la República Argentina. Disponible en :< www.indec.mecon.ar.> [consulta: 14 de abril de 2007]
- IRAM (Argentina). Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de República Argentina. 11603 Instituto Argentino de Normalización. Corresponde a la revisión de la norma IRAM 11603:1981. Argentina, 1996. ICS: 91.120.10
- MONTERO, M; TORRES DELUIGI M; ROBREDO, P. y QUIROGA, M. Mejoras en la Calidad de Vida de Pobladores de un Caserío en la Localidad de Cafayate Mediante el Uso de Energía Solar. AVERMA - Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. 4: 2.75-2.78, 2000.
- NEVES, C. Arquitectura y construcción con tierra en Iberoamérica: pasado, hoy y futuro. Anuario de Investigación de Construcción con Tierra y del Diseño Sustentable. SIACOT - SIIDS. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tampico, México, Septiembre 2007. p.120-126.
- PAPPARELLI A. DE ROSA, C. KURBAN, A. LELIO, G. CÚNSULO, M.; SOLANES, F. y VILAPRIÑO, R. Arquitectura y Clima en Zonas Áridas. 2ª Ed. Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan, San Juan: 2001. 602p.
- PAPPARELLI, A. KURBAN, A. y CUNSULO, M. Diagnóstico Ambiental de Ecosistemas Humanos. 2ª Ed. Área Arquitectura Ambiental. FAUD. UNSJ. Editorial Nobuko, Buenos Aires: 2003. 111p.
- PASTOR, G; ABRAHAM, E; TORRES, L; MONTAÑA, E. y TORRES, E. La tierra cruda y la construcción del hábitat en el desierto del noreste mendocino: estrategias para el desarrollo local sustentable. En: Memorias del III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, *La tierra cruda en la construcción del hábitat*: 2004. Tucumán, Argentina.
- PONTORIERO, D. y BLASCO I. Pequeñas Aplicaciones Fotovoltaicas en Zonas Áridas. Proyecto de Cooperación Internacional con Alemania. Participación de Recursos Energéticos de la Provincia e INTA. (SECYT-CONICET-BMFT). Informe inédito, Instituto de Energía Eléctrica. Facultad de Ingeniería. UNSJ, 1993-1998.
- RE, G. Vivienda Rural y Tecnologías Apropiadas en Unidades Productivas. Informe inédito. Secretararía de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional de San Juan, 2003. Informe final de beca interna de investigación categoría estudiantes avanzados.
- RE, G. BLASCO, I. y ALBARRACÍN, O. Análisis de Arquitectura de Tierra Construida por Puesteros Ganaderos en el Árido Sanjuanino. En: Memorias del III

Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, La tierra cruda en la construcción del hábitat: 2004. Tucumán, Argetina. 10p.

RE, M.G. y BLASCO, I. Evaluación de variantes constructivas con tierra para vivienda rural en zona árida. En: Anuario de Investigación de Construcción con Tierra y del Diseño Sustentable. SIACOT – SIIDS: Septiembre 2007. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tampico, México. 16p.

REVISTA Informativa del Censo 2001. Aquí se Cuenta. Censo nacional de población, hogares y viviendas 2001. Buenos Aires. 7, 2003.

RIVADENEIRA, L. América Latina y el Caribe:

crecimiento económico sostenido, población y desarrollo. Población y Desarrollo. Proyecto Regional Chile: Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía CELADE y Naciones Unidas, 2000 de Población CELEDE - FNUAP. Serie N°2. Santiago.

ROUX GUTIÉRREZ, R. Tipología de la Arquitectura de Tierra en la Zona Semi – Árida del Estado de Tamaulipas, México. En: Memorias del III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, La tierra cruda en la construcción del hábitat: 2004. Tucumán, Argentina. 9p.

Recibido: 30|04|2012
Aceptado: 28|05|2012