



Urbanización, Cambios Globales en el Ambiente y Desarrollo Sustentable en América Latina

Editores: Roberto Sanchez Rodriguez
y Adriana Bonilla



Urbanización,
Cambios Globales en el Ambiente y
Desarrollo Sustentable en América Latina



© Instituto Interamericano para la Investigación sobre Cambio Global - IAI
Av. dos Astronautas, 1758
12227-010, São José dos Campos, SP – Brasil
www.iai.int
Derechos Reservados

© Instituto Nacional de Ecología - INE
Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana,
Regional y Global
Av. Periferico Numero 5000, Piso 4, Col. Insurgentes Cuicuilco,
Delegación Coyoacán
Postcode 04530, Mexico, D.F. - Mexico
www.ine.gob.mx
Derechos Reservados

© United Nations Environment Programme - UNEP
Regional Office for Latin America and the Caribbean - ROLAC
Avenida Morse, Building 132 - Corregimiento de Ancon - Panama - Panama
www.unep.org
Derechos Reservados

Urbanización,
Cambios Globales en el Ambiente y
Desarrollo Sustentable en América Latina
IAI, INE, UNEP.
São José dos Campos, Brasil, 2007
220 p.; 19.05 x 26.7 cm.

ISBN 978-85-99875-03-2

1. Urbanización, 2. Cambio Ambiental Global, 3. Desarrollo
Sostenible, 4. Cambio Climático, 5. Cambio en el Uso de la Tierra
I. IAI II. INE III. UNEP

Expediente

Coordinador de la Publicación

Marcella Ohira
IAI Directorate

Design y Producción

Daniel Fachini y Marcus Toledo
Digital Graf Press

Traducción

Leticia Sáenz Fernández

Impresión

Digital Graf Press

Indice

P.	Preámbulo.....	01
	Holm Tiessen, Director, IAI y Ricardo Sánchez, Director, UNEP/ROLAC	
P.	Prólogo.....	03
	Marcella Ohira, Oficial de Capacitación, IAI	
1.	Urbanización, cambios globales en el ambiente y desarrollo sustentable en América Latina	07
	Roberto Sanchez Rodriguez	
2.	Varadero ante el cambio global medioambiental	33
	Bárbaro V. Moya, Alfredo Cabrera, Lorenzo Castillo y José Rojo	
3.	El fenómeno de la Isla de Calor Urbano en una ciudad tropical costera: Estudio de caso en el área metropolitana de San Juan, Puerto Rico.....	61
	Daniel E. Comarazamy, Jorge E. Gonzalez y Jeffrey C. Luvall	
4.	El efecto de Isla Seca en ciudades intermedias: El caso de Ciudad de Mendoza	81
	Fabián R. Bochaca y Enrique Puliafito	
5.	Crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del lago de Cuitzeo, México	113
	Erna Lopez, Manuel E. Mendoza, Gerardo Bocco y Alejandra Acosta	
6.	Urbanización, infraestructura y justicia socio-ambiental. Notas de la investigación sobre el caso de las áreas metropolitanas brasileñas	135
	Ricardo Toledo Silva	
7.	Modelización computacional y pronósticos de cambios del uso del suelo en áreas urbanas	177
	Cláudia Maria de Almeida	
8.	Reflexiones finales.....	201
	Roberto Sanchez Rodriguez	
9.	Biodatas de los autores.....	211



Preámbulo



Preámbulo

Desde el 2003, dos subregiones de América Latina, Mesoamérica y Suramérica, han sido las subregiones con la mayor concentración de población en áreas urbanas después de Australia y Nueva Zelanda, el Ártico, Norte América y Europa Occidental. La urbanización se ha convertido en un cambio ambiental importante en muchas partes del mundo con efectos significativos sobre el desarrollo regional.

La urbanización y el aumento en los niveles de actividad social interactúan con los procesos de cambio global tales como el cambio climático y el cambio en el uso del suelo. Entender estos vínculos requiere de conocimientos científicos confiables.

El Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI) busca proporcionar información científica del más alto calibre que sea útil para hacedores de política y tomadores de decisiones y mejore su comprensión del cambio ambiental global. La investigación del IAI es el resultado de la integración de múltiples disciplinas científicas (naturales y sociales) con el fin de lograr la sostenibilidad. Dicha integración se logró mediante el establecimiento y desarrollo de redes regionales de científicos e instituciones. La investigación del IAI va más allá del alcance de los programas nacionales. Ha promovido la colaboración multinacional e inter-hemisférica en la interfase ciencia-política en las Américas.

Por otra parte, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a través de su Oficina Regional para Latinoamérica y el Caribe (ORLAC) promueve el uso de conocimientos científicos generados en el mundo y especialmente dentro de la región por socios tales como el IAI. El PNUMA opina que un mejor acceso a datos e información significativa ayuda a aumentar la capacidad de los gobiernos y los tomadores de decisiones en general de usar el conocimiento para la toma de decisiones y la planificación de acciones para el desarrollo humano sostenible.

Este libro ofrece una mirada a nuestros esfuerzos para conectar el conocimiento acerca de la urbanización, el cambio ambiental global y el desarrollo sostenible en América Latina. Con la presentación de esta importante publicación estamos instando a las sociedades y a los gobiernos a involucrarse en traducir la comprensión y el conocimiento creado a decisiones y acciones para limitar los impactos potencialmente negativos de la urbanización y a explorar oportunidades para el desarrollo sostenible.



Holm Tiessen
Director IAI



Ricardo Sánchez
Director PNUMA/ORLAC



Prólogo



Prólogo

Este libro tiene sus raíces en el exitoso Instituto de Capacitación sobre Urbanización y Cambio Ambiental Global en América Latina, que se llevó a cabo en la Ciudad de México en el Octubre de 2004. El Instituto de Capacitación, organizado por el Instituto Interamericano para la Investigación sobre Cambio Global (IIA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE) de México, tenía como propósito servir de catalizador para fortalecer las interacciones entre académicos, interesados directos, diseñadores de políticas, y tomadores de decisiones de América Latina sobre teorías, modelos, métodos, políticas de estado e iniciativas locales relacionadas con urbanización y cambio ambiental global así como capturar los beneficios y mitigar los impactos negativos ambientales y socioeconómicos.

Otro objetivo del Instituto de Capacitación era proporcionar una mejor comprensión de las interacciones entre el cambio ambiental global y la urbanización a escala local, regional y global. El Instituto también pretendía permitir a los participantes una perspectiva integral e integrada del cambio ambiental global y la urbanización a través de puntos de vista multidisciplinarios y enfoques conceptuales y metodológicos innovadores. Enfatizó el cambio ambiental global como impulsor así como resultado de procesos humanos (económicos, políticos, culturales y sociales) y físicos (estructura urbana, expansión y uso del suelo) en áreas urbanas. De esta forma, la urbanización fue vista como algo endógeno así como exógeno al cambio ambiental global, algo que debe ser estudiado como un sistema estrechamente relacionado.

En la planificación del Instituto de Capacitación, el IIA también buscó desarrollar una red de cooperación entre profesionales de América Latina para intercambiar conocimientos y experiencias, compartir datos y promover el intercambio y la capacitación de profesionales locales y desarrollar alianzas entre gobiernos, industrias y comunidades. Además, el IIA pretendía conectar profesionales e instituciones locales y regionales — por ejemplo, el IIA, el Programa Internacional de las Dimensiones Humanas del Cambio Ambiental Global (IHDP) y otras instituciones — con iniciativas y redes de varias organizaciones involucradas en el mismo tema.

Veinticuatro personas de 13 países participaron en esta actividad y 29 expertos de varias naciones de la región colaboraron en el desarrollo del programa, compartiendo sus conocimientos, experiencia y los resultados de sus investigaciones con este grupo de participantes de alto nivel.

El libro incluye artículos escritos por varios oradores invitados y participantes del Instituto de Capacitación, reconocidos expertos y profesionales que trabajan en el tema de urbanización y cambio global en América Latina en muchos países de la región. Nuestro agradecimiento a los autores por sus contribuciones científicas y su aporte intelectual.

Esta actividad fue apoyada por el IAI a través de una donación para la investigación de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF). Apoyo adicional fue aportado por el INE, el IHDP, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) y la Universidad Autónoma Metropolitana hicieron importantes contribuciones en especie.

El Instituto de Capacitación y la publicación de este libro no habrían sido posibles sin el profundo compromiso y los esfuerzos de muchas personas e instituciones. En particular, quisiéramos agradecer a Roberto Sanchez Rodriguez (Profesor de Ciencias Ambientales de la Universidad de California en Riverside y Director del Instituto para México y Estados Unidos (UC MEXUS) de la Universidad de California, quien fue el motor intelectual que impulsó el Instituto de Capacitación y desarrolló y coordinó el programa; y a Adrián Fernández (Presidente del INE) y Julia Martínez (Coordinadora de Programa sobre Cambio Ambiental Global del INE), junto con el personal del INE, por su ardua labor en la organización del taller en México. Su compromiso y dedicación en los meses antes y después del Instituto de Capacitación fueron invaluable. Además, quisiéramos agradecerles por su aporte intelectual y compromiso con el IAI y con nuestro taller de capacitación.

Nuestro sincero agradecimiento a Ricardo Sánchez (Director del PNUMA) y a Kakuko Nagatani (Oficial de Programa de la División de Alerta Temprana y Evaluación del PNUMA/Oficina Regional para América Latina y el Caribe-ROLAC) por su apoyo en el copatrocinio de este libro en inglés; a Ana Rosa Moreno y Fernanda Guerrero (FUMEC) por la administración de los fondos; a Adriana Bonilla y María Marta Laplace por su incansable revisión de esta publicación en español; y a Leticia Sáenz Fernández por la traducción del libro. Finalmente, quisiéramos agradecer muy especialmente a Claudia Fernandes, a Céline Demaret (IAI) y Dione Nègre (IAI) por su excelente esfuerzo en la organización y seguimiento de esta actividad de capacitación, incluida la elaboración de esta importante publicación.

Estamos ilusionados con el establecimiento de esta red de profesionales en urbanización y cambio global en América Latina como resultado del Instituto de Capacitación del IAI, así como por el impacto de las discusiones entre la comunidad internacional de investigación sobre cambio global. Esperamos que esta sea la semilla inicial que conduzca a una mayor colaboración e investigación sobre las dinámicas de la urbanización y el cambio global en América Latina. El IAI continuará promoviendo el trabajo futuro en esta dirección y fomentando la colaboración en la investigación, la interfase entre la ciencia y la política, y la aplicación de la útil información de la comunidad científica a los procesos de elaboración de políticas y toma de decisiones.

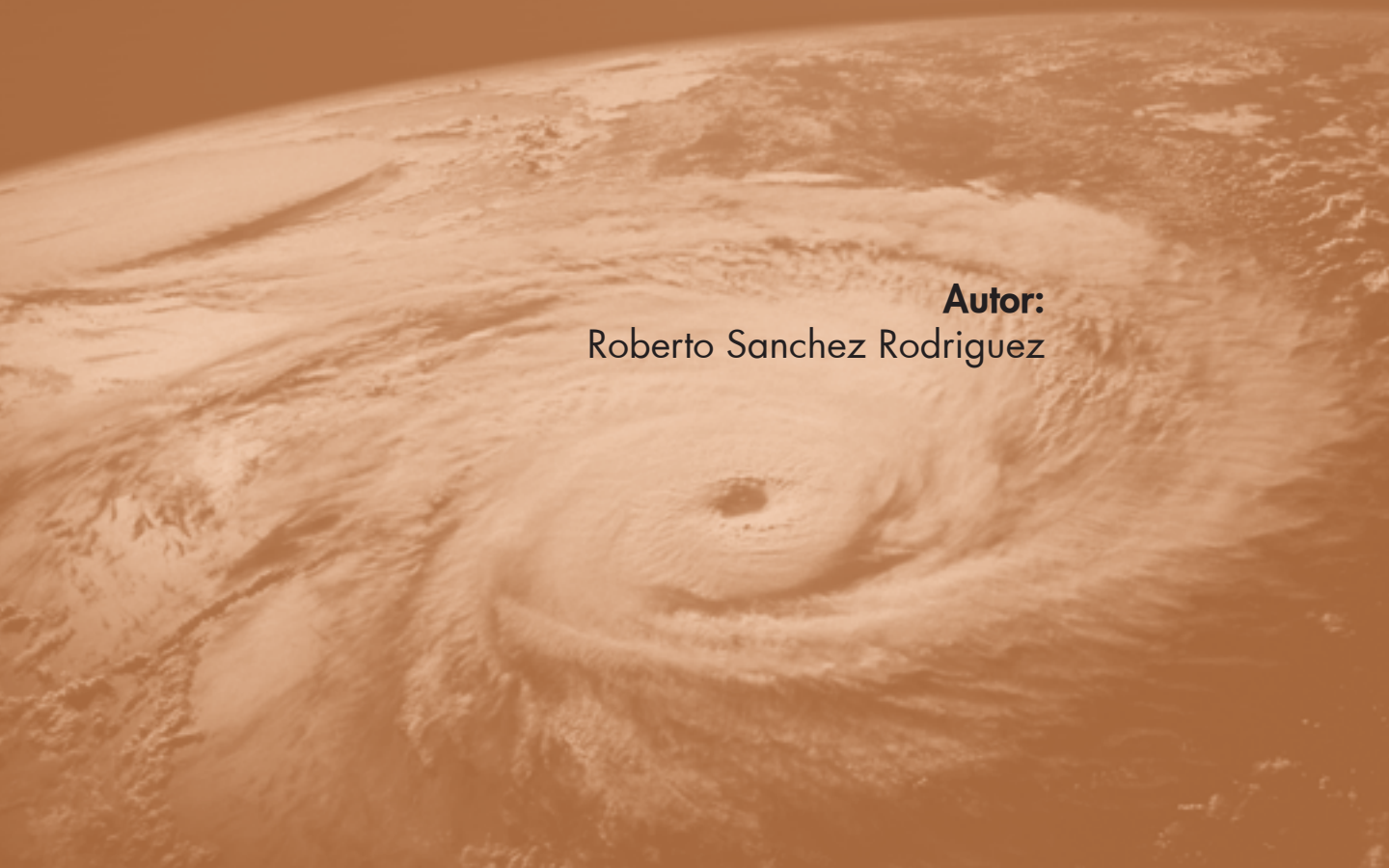


Marcella Ohira
Oficial de Capacitación del IAI

Urbanización, Cambios Globales en el Ambiente y Desarrollo Sustentable en América Latina

1

Autor:
Roberto Sanchez Rodriguez



A manera de Introducción

El presente y futuro de América Latina están intrínsecamente asociados con el crecimiento de sus áreas urbanas. Muchos de los cambios más significativos de la llamada globalización tienen lugar en espacios urbanos. Uno de los indicadores más claros es la población. Más de la mitad de la población total del planeta, aproximadamente 3.3 mil millones de personas, viven en áreas urbanas (*United Nations Centre for Human Settlements*). Las Naciones Unidas estiman que la población urbana del planeta llegará a más del 60 % en el año 2030. La discusión sobre el crecimiento urbano es particularmente importante en América Latina, ya que cuenta con una de las mayores tasas de urbanización en el mundo (Cohen 2004). Datos de las Naciones Unidas (UNCHS 2002) señalan que la población urbana en esa región creció de 176.4 millones en 1972 a 390.8 millones en el año 2000 y se espera se incremente a 604 millones para el año 2030. Durante el mismo periodo, el porcentaje de la población total viviendo en áreas urbanas se incrementó de 58.9% a 75.3% y se espera llegue a ser 83% de la población total en el año 2030, una proporción similar a la que existe en países altamente industrializados.

Las áreas urbanas son, además, un dinámico vínculo entre las sociedades latino-americanas y los procesos sociales, económicos, políticos y ambientales globales. Ellas concentran una enorme proporción del flujo en el capital financiero mundial, la inmensa mayoría de la manufactura de bienes de consumo y producción, y la gran mayoría del comercio y los servicios. Muchas de esas actividades económicas están asociadas, directa o indirectamente, a empresas transnacionales y a cadenas de producción internacionales.¹ Un claro ejemplo de la importancia de las áreas urbanas en el crecimiento y desarrollo de los países en América Latina es su alta participación en la generación del producto interno bruto de cada país. Las grandes ciudades en América Latina son un claro ejemplo de ese peso (36% del PIB en Brasil en 1999 fue generado en São Paulo y 43% en Lima, Perú).

La importancia de las áreas urbanas en el crecimiento económico y el bienestar social de la población les confiere un lugar central en la discusión de nuevos paradigmas de desarrollo para la región. La sustentabilidad urbana es sugerida con insistencia a nivel internacional y nacional como el mejor enfoque para orientar el crecimiento actual y futuro de las áreas urbanas (Drakakis-Smith 1995, Rees y Wackernagel 1996, Satterthwaite 1997, Spangenberg et. al. 2002, Whitehead 2003, Myllyla y Kuvaja 2005). Las Naciones Unidas, la Unión Europea, El Banco Mundial y otras organizaciones internacionales impulsan programas para promover el crecimiento urbano sustentable. Esfuerzos similares han sido adoptados por gobiernos nacionales y locales en diversas regiones del planeta, incluyendo América Latina. A pesar de la amplia aceptación del desarrollo sustentable para orientar el crecimiento urbano actual y futuro, poco se ha avanzado en trascender de lo normativo a esquemas operativos que promuevan el equilibrio deseado en el crecimiento urbano. La

¹ El Banco Mundial estima que más del 80% del crecimiento económico futuro en países pobres tendrá lugar en áreas urbanas (*World Bank 2002*).

discusión sobre desarrollo sustentable en áreas urbanas, en particular en América Latina, ha sido incompleta y limitada a una visión técnica de planeación y control de algunos problemas ambientales locales. El desarrollo sustentable no ha logrado trascender de la retórica a la práctica. Por el contrario, las áreas urbanas en América Latina reflejan las contradicciones y problemas característicos de las sociedades en la región y están sujetas a crisis periódicas. Son sistemas complejos y dinámicos que reproducen en su territorio la amplia gama de interacciones socioeconómicas, geopolíticas, y de procesos ambientales a nivel local, nacional, regional y global. Desempleo y subempleo, degradación ambiental, deficiencias en los servicios urbanos y en la vivienda, el deterioro de la infraestructura existente, problemas para garantizar el acceso a recursos naturales vitales para la vida urbana (agua, energía, alimento, materiales de construcción) y una alarmante expansión de la violencia asociada al crimen organizado, son algunos de los problemas comunes en las áreas urbanas de América Latina y otros países pobres en el mundo (Moser y McIlwaine 2005). Esos problemas son agravados por el rápido crecimiento de la población y del espacio urbano, los desequilibrios en la estructura urbana, el déficit acumulados en la construcción, la expansión y operación de servicios públicos y las crisis económicas y financieras en la región. El resultado ha sido la creación de espacios urbanos fragmentados, con alta segregación espacial que acrecienta la exclusión social característica en los países en la región (Lopes de Souza 2001, Pirez 2002) y severos problemas ambientales (Hardoy et al. 1992).

La situación arriba descrita ilustra las crisis de las áreas urbanas en América Latina. Contribuciones útiles para reducir esas crisis y abrir oportunidades al desarrollo sustentable son particularmente necesarias en dos campos. Por un lado, la creación de procesos de gobernabilidad, abiertos e inclusivos a la participación de la sociedad civil y del sector privado en el manejo del proceso de urbanización (Carley y Christie 1993, Abbott 1996, Pelling 2001). Demandas similares han aparecido en esfuerzos por actualizar, democratizar y hacer eficiente la planeación urbana (Friedemann 1987, Hull 1998, Radoki 2001, Healey 2002) y en propuestas para la descentralización política, tendientes a transferir el poder político y administrativo de los gobiernos federales a los gobiernos locales (Rebot y Larson 2005). Por otro, la necesidad de trascender las limitantes de enfoques actuales considerando la problemática urbana de manera fragmentada, en favor de perspectivas multidimensionales capaces de crear una perspectiva integrada de la compleja y dinámica realidad urbana. (Pelling 2003).

La visión fragmentada de la cuestión urbana es, con frecuencia, el resultado de la simplificación de la compleja realidad urbana, con el fin de facilitar el diseño y puesta en práctica de acciones tendientes a atender problemas inmediatos (servicios públicos, vivienda, transporte, economía urbana, contaminación ambiental, etc.) y el ejercicio técnico de planeación (Harvey 1989, Lefebvre 1991, Hull 1998). Desgraciadamente, esa visión fragmentada deja de lado la amplia gama de interacciones multidimensionales (sociales, económicas, políticas, culturales, físicas, ambientales y ecológicas) de cada problema urbano. El caso de las cuestiones ambientales en áreas urbanas es, particularmente, relevante para la discusión de desarrollo sustentable. Los problemas de abasto de recursos naturales,

servicios ecológicos, contaminación ambiental son considerados aislados de su contexto social, económico, político y cultural (Redclift 1994, Bryant y Wilson 1998, Gibbs y Jonas 2000) que permite identificar la gama de factores en la generación de esos problemas y de sus consecuencias. Esa visión multidimensional integrada de la cuestión urbana es fundamental para abrir oportunidades de desarrollo sustentable en América Latina.

Vale la pena resaltar que la visión fragmentada de las áreas urbanas no puede ser atribuida a la falta de conocimiento sobre sus diversas dimensiones. Los estudios urbanos tienen una larga tradición. La atención de la cuestión urbana en América Latina ha tenido avances sistemáticos a partir de la década de 1960. Las contribuciones de la vieja escuela de estudios urbanos sobre América Latina, desde fines de los años 1960 crearon una tradición en la atención de la dimensión social, económica y política en las áreas urbanas de la región (Quijano 1967, Urquide 1969, Hardoy 1972 y Geisse 1972). Estudios posteriores contribuyeron a entender las dramáticas transformaciones de las áreas urbanas en la región y sus consecuencias para el crecimiento económico y el bienestar social de los países en América Latina (Lomnitz 1972, Boisier 1973, Castells 1974 y 1981, Gilbert 1974, Singer 1975, Segre 1977, Unikel y Necochea 1975, Restrepo 1980, Gilbert y Guggler 1982, Ward 1982, Steinberg 2005). La dimensión ambiental es introducida en la discusión de la cuestión urbana de manera sistemática, en la década de los años 80 y ampliada, sustancialmente, en la década de los años 90, a partir de la creciente atención internacional al desarrollo sustentable, la agenda 21 y los problemas ambientales locales, regionales y globales (Sunkel y Giglio 1980, Leff 1998). A pesar del cúmulo de conocimiento creado sobre las diversas dimensiones del crecimiento de las áreas urbanas, poco se avanzó en la creación de perspectivas multidimensionales integradas de ese crecimiento.

Una nueva gama de estudios en los últimos años ayuda a entender los beneficios de una perspectiva integrada del crecimiento urbano útil al desarrollo sustentable: el importante papel de los servicios ecológicos para la vida y función urbana que les permiten mejorar el equilibrio con la naturaleza y obtener de ella servicios que mejoran las condiciones de vida de la población (Hunhammar 1999, Madaleno 2000, Chiensura 2004); metabolismo urbano que documenta los flujos de energía y materiales en el sistema urbano (Newman 1999, Warren-rhodes y Koenig 2001); ecología urbana (Pickett et.al. 1997, Dow 2000, Schrijnen 2000); desastres naturales (Federovisk 1990, Blaikie et al 1994, Hamza y Zetter 1998, Smyth y Royle 2000); el papel de la cultura urbana y su vínculo con el espacio construido (García Canclini 1999); las consecuencias del espacio urbano forma y función en agravar la violencia del interior de las ciudades (Laws 1994, Moser y Mcilwaine 2005), problemas de salud mental (Sturm y Cohen 2004) o en crear obstáculos y falta de incentivos para la actividad física que acentúan problemas de obesidad y sus consecuencias en la salud de la población (diabetes, cáncer, hipertensión, etc.) (Jackson 2003); el impacto de la forma urbana y sus actividades económicas en la creación de microclimas al interior del área urbana; (Jáuregui 1971, Jáuregui y Morales 1996, Toyac y Yenigm 1997, Assis y Barros Frota 1999, Jazcilevich et. al. 2000) que afecta la distribución de lluvias y condiciones de confort de la población al interior del área urbana; la creciente vulnerabilidad urbana y social a las consecuencias negativas de desastres naturales asociadas a cambios estacionales y

globales en el clima (Kirshen y Fennessey 1995, Rosenzweig y Solecki 2001); la creación de corredores y espacios para fomentar *hábitats* para especies de flora y fauna regionales (Blair y Launer 1997 et. al. 2005); estrategias para facilitar la integración de zonas marginadas al resto de la estructura urbana (Benjamín 2004); la percepción de la población de problemas ambientales (Jacobi 1994).

Llama la atención que, a pesar de la tradición de estudios urbanos y la amplia gama de conocimiento existente sobre estos temas, pocos esfuerzos se hayan realizado para crear perspectivas integradas multidimensionales útiles al desarrollo sustentable.

Fig. 1. Esquema Multidimensional de las áreas urbanas.



Teoría y Métodos



Entender la crisis urbana en América Latina y proponer acciones para reducirla, dentro de un marco de desarrollo sustentable, requiere de una nueva manera de estudiar las áreas urbanas, a partir de esquemas multidimensionales integrados. Las dimensiones social, económica, cultural, política, ambiental, ecológica y física de la vida urbana ocurren e interactúan en diversas escalas geográficas (local, nacional, regional, global) y en el tiempo.²

La figura 1 muestra una forma de representar ese esquema multidimensional y la dinámica interacción entre dimensiones en el tiempo y en el espacio geográfico. Tener en cuenta esas interacciones contribuye a la construcción de nuevas teorías y métodos para el estudio de las áreas urbanas. El enfoque multidimensional coincide con los esfuerzos por impulsar estudios interdisciplinarios (Nissani 1997, Schoenberger 2001) y transdisciplinarios (Giri 2002, Ramadier 2004) en temas afines al desarrollo sustentable, y en el estudio de diversos aspectos

² La escala geográfica a nivel urbano debe considerarse como punto de enlace entre el nivel local y el nacional, regional y global. No obstante, el estudio de aspectos urbanos y ambientales requiere de un nivel de análisis más fino al interior de la ciudad. Jorge Hardoy (1992) señala que para entender los problemas ambientales en áreas urbanas es necesario cubrir un gradiente de escalas, desde el hogar, pasando por el barrio, el distrito o delegación (conjunto de barrios o colonias) y finalmente el nivel urbano. Por ejemplo, problemas asociados con procesos biofísicos globales (variabilidad climática en el caso de las inundaciones) tienen consecuencias diferentes en diversas partes de la ciudad. Incluso dentro del mismo barrio, algunos hogares pueden ser más vulnerables que otros a las consecuencias negativas causadas por precipitación extrema y el problema de inundaciones.

de los problemas ambientales globales. Romper con la cultura disciplinaria y de excesiva especialización a favor de esquemas de pensamiento interdisciplinario y transdisciplinario no es sencillo y requiere de tiempo, pero existe un creciente reconocimiento de la necesidad de complementar la visión disciplinaria con perspectivas integrales multidimensionales en el estudio y manejo de nuestra realidad cotidiana urbana.

En este sentido, han surgido avances interesantes en el estudio del paisaje como una unidad de análisis capaz de aglutinar esquemas multidimensionales integrados (Fry 2001, Matthews y Selman 2006). Esos estudios parten de la premisa de que el trabajo interdisciplinario es indispensable para entender la compleja relación que se establece entre procesos ecológicos, bioquímicos y sociales en el paisaje, incluyendo la compleja interacción de las áreas urbanas con su entorno ecológico. Los avances en esta área constituyen un estimulante área de conocimiento útil a programas de desarrollo sustentable.

Otra de las áreas en la cual se ha dado impulso al trabajo interdisciplinario es el estudio de los cambios globales en el ambiente (Adger et.al. 2005, Lambin 2005). Los diversos programas científicos internacionales han logrado avances durante las últimas dos décadas, tales como: en el estudio de una amplia gama de procesos biofísicos y químicos globales por el Programa Internacional la Biosfera y la Geósfera (IGBP) (<http://www.igbp.kva.se/cgibin/php/frameset.php>); en el estudio de las dimensiones humanas del cambio global por el Programa Internacional para el Estudio de las Dimensiones Humanas de los Cambios Global Ambientales (IHDP) (<http://www.ihdp.uni-bonn.de/>); en el estudio de la biodiversidad por el Programa Internacional DIVERSITAS (<http://www.diversitas-international.org/>); y en el estudio del clima por el Programa Mundial de Investigación sobre el Clima (WCRP) (<http://www.wmo.ch/web/wcrp/wcrp-home.html>).

A pesar de los importantes logros de esos programas en sus respectivas áreas de estudio, la investigación ha sido realizada con una base disciplinaria fragmentada. Ante la necesidad de crear perspectivas integradas que contribuyan a producir un mejor conocimiento de los procesos de cambios globales en el ambiente. Los cuatro programas internacionales arriba mencionados han creado un consorcio internacional, *Earth System Science Program* (ESSP) para crear proyectos conjuntos (<http://www.essp.org/>). En esta primera fase se han establecido cuatro temas prioritarios: agua, el ciclo del carbón, salud humana y sistemas alimentarios. Estos proyectos buscan desarrollar esquemas multidimensionales integrados a partir de las contribuciones de cada programa internacional. Es importante resaltar el reconocimiento de la comunidad científica internacional acerca de la necesidad de contar con esos esquemas integrados transdisciplinarios en el estudio de realidades complejas como los cambios globales en el ambiente.

Otros programas científicos internacionales procuran también crear perspectivas integrales de algunos de esos problemas. El Panel Internacional para el estudio del Cambio Climático (IPCC 2001) es un esfuerzo multigubernamental al que confluyen científicos de muy diversas disciplinas, en un esfuerzo común de ampliar el conocimiento sobre el cambio climático y sus posibles consecuencias para la humanidad (<http://www.ipcc.ch/>). El *Millenium Ecosystem*

Assessment es un impresionante esfuerzo internacional multidisciplinario enfocado a crear una perspectiva actualizada del estado de los ecosistemas (www.maweb.org/en/Article.aspx?id=58). A nivel regional, vale la pena destacar las contribuciones del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI por sus siglas en inglés) en el estudio de aspectos biofísicos, químicos y de la dimensión humana del cambio global en la región de las Américas (www.iai.int). Los estudios mencionados resaltan la importancia del trabajo multidimensional a nivel local, regional y global para el desarrollo sustentable, aunque es importante no perder de vista que esos estudios deben de considerarse como procesos de aprendizaje continuos.

Vale la pena destacar que, a pesar de la importancia de las áreas urbanas en los procesos socioeconómicos locales, regionales y globales y, de su enorme peso como factor de cambio en procesos biofísicos regionales y globales, los estudios de cambios globales en el ambiente han otorgado poca atención al papel de las áreas urbanas en los procesos de cambio global. Dentro de los programas arriba señalados, solo el IHDP ha realizado de manera continua algunos estudios y actividades sobre este tema. Esas actividades sentaron las bases para la creación de un nuevo proyecto internacional sobre las interacciones entre los procesos de urbanización y cambios globales en el ambiente en 2005 (<http://www.ugec.org>). El IHDP y el IAI han desarrollado talleres internacionales para la capacitación de científicos y tomadores de decisión jóvenes en estos temas.

El proyecto sobre el ciclo del carbón del ESSP ha iniciado también algunas actividades vinculadas con el papel de las áreas urbanas en los ciclos del carbón a nivel global (<http://www.gcp-urcm.org/urcm.html>). El IPCC ha incorporado en sus reportes de los impactos del cambio climático, una sección dedicada a los asentamientos humanos (IPCC 2001), pero la naturaleza de esos reportes que cubren una amplia gama de temas, no permite abordar, en detalle, el de las áreas urbanas. Una situación similar sucede con el *Millenium Ecosystem Assessment*. Otros programas nacionales e internacionales enfocados a temas de cambios globales en el ambiente han dedicado, también, poca atención a las cuestiones urbanas. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos desarrolló un programa para la creación de reportes nacionales (estudios de país) para el estudio de cambio climático en 52 países en la década de los años 1990 (<http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/ResourceCenterPublicationsInternational.html>). La metodología base de esos estudios contemplaba las contribuciones de una gama de sectores al cambio climático y el impacto de este último en esos sectores. Las áreas urbanas no formaron parte de esos sectores en la mayoría de los 52 estudios de país.

A pesar de papel central de las áreas urbanas en los procesos de cambio socioeconómico y geopolítico a nivel local, regional y global, como así también en los procesos biofísicos regionales y globales, resulta paradójicamente la poca atención prestada hasta ahora a nivel nacional, regional o internacional a las dinámicas y complejas interacciones entre las áreas urbanas y los procesos biofísicos y químicos de los cambios globales en el ambiente.

Este libro es una contribución para ampliar el conocimiento sobre esas interacciones.

Surgió de la preocupación por parte de los autores, del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Oficina Regional para América Latina y el Caribe, para promover la atención a este tipo de problemas en la región, así como contribuir a un mejor conocimiento de sus efectos. Uno de sus objetivos es ayudar a las autoridades locales y nacionales y a la amplia gama de actores que inciden en la formulación de políticas y en la construcción del espacio urbano, a tener en cuenta las acciones y los programas que cumplan con las necesidades actuales de las ciudades y, a su vez, permitan reducir los efectos negativos de los cambios globales en el ambiente. Muchas de esas acciones no implican un costo adicional para los programas actuales de crecimiento urbano. Por el contrario, pueden contribuir a reducir el alto costo de los impactos negativos de procesos biofísicos regionales y globales asociados a cambios globales en el ambiente en áreas urbanas en el corto y en el largo plazo.

Nos interesa cambiar la percepción de que los cambios globales en el ambiente tendrán lugar en 25, 50 o 100 años y por lo tanto su atención puede ser diferida a futuro para concentrarse en atender problemas inmediatos. Existen dos problemas con esta percepción: (1) los procesos locales que inciden en cambios ambientales regionales y globales son contemporáneos y su mitigación y la adaptación para reducir sus consecuencias negativas requiere de acciones de corto plazo; (2) esas acciones de mitigación y adaptación están vinculadas, directa e indirectamente, a problemas urbanos y ambientales actuales. La inversión de recursos que requiere atender esos problemas actuales tendría mayores beneficios a corto y largo plazo si se toman en cuenta el vínculo entre problemas locales y procesos regionales y globales.

El libro introduce en la discusión de la sustentabilidad urbana y algunos de los aspectos ambientales y urbanos vinculados con los procesos biofísicos en lo que se conoce como cambios globales en el medio ambiente. Es un esfuerzo por ampliar la dimensión ambiental de la sustentabilidad urbana, más allá de la visión local. Muchos de los problemas urbanos locales y, en particular los ambientales, impactan y son impactados por esos procesos biofísicos regionales y globales. Los mismos problemas juegan también un papel importante en las interacciones entre las áreas urbanas y los cambios ambientales globales en el medio ambiente.

Los impactos de esas interacciones pueden ser reunidos en dos grandes grupos: aquellos que se originan en las áreas urbanas y tienen efectos negativos sobre el medio ambiente global; aquellas cuyo origen está en los procesos biofísicos y químicos asociados con los cambios globales en el medio ambiente que tienen efectos negativos en las áreas urbanas. La atención a esa relación bidireccional se ha centrado en los impactos de las áreas urbanas en el ambiente global (Parikh y Shukla 1995, Smith y Lazo 2001, IPCC 2001), en particular, los efectos de las emisiones en los gases de invernadero y el llamado efecto de isla de calor en los cambios globales del clima. Una gama de iniciativas internacionales, regionales y locales han priorizado la reducción de los gases de invernadero en áreas urbanas, en un esfuerzo por contrarrestar el retaso y reticencia de algunos países de aprobar los acuerdos de la 'Convención de las Naciones Unidas para el control del Cambio Climático', más

conocida como el Protocolo de Kyoto. Algunas de esas iniciativas son apoyadas por el Fondo Global Ambiental del Banco Mundial (GEF) y por el Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales (ICLEI)³ con apoyo del Banco Mundial y el programa Hábitat de las Naciones Unidas en ciudades de países ricos y pobres⁴.

Los impactos de cambios globales en el clima y la variabilidad climática en las áreas urbanas y sus habitantes han recibido menos atención que la reducción de gases de invernadero dentro de las áreas urbanas. Una de las consecuencias negativas más evidentes de los impactos de cambios en el ambiente es el creciente número y magnitud de los desastres en áreas urbanas vinculados con el clima durante la última década. Los daños ocasionados por huracanes y otros eventos extremos relacionados con la variabilidad climática en la región tienen un elevado costo social, económico y ambiental para las áreas urbanas. El número de desastres naturales de las últimas décadas está asociado a una conjunción de factores, entre los que sobresale el incremento en los desequilibrios sociales en el crecimiento de población, desequilibrios y desigualdades en el crecimiento fuera de control en asentamientos humanos y fuertes modificaciones al paisaje natural (Federovisk 1990, Smith 1992, Cross 2001, Pelling 2003). Ese conjunto de factores ha incrementado el número de habitantes vulnerables de ser afectados negativamente por las consecuencias de fenómenos naturales asociados con el clima (huracanes y tormentas tropicales, sequías, deslizamientos, inundaciones, etc.). Un informe reciente del programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) reporta que entre 1980 y el año 2000, el 75% de la población mundial habitaba en zonas afectadas por algún desastre natural. Tan solo en 1999 se registraron en el mundo más de 700 desastres naturales de considerables dimensiones, con pérdidas superiores a los US\$100 billón. El 90% de las víctimas de los desastres naturales en el mundo en ese año vivían en países pobres.

América Latina es una de las regiones del mundo más susceptibles a sufrir fuertes pérdidas económicas y de vidas humanas por desastres naturales (Vargas 2002, UNDP 2002). Varios de los mayores desastres naturales asociados al clima en los últimos años han tenido lugar en esa región. El huracán *Mitch*, en 1998 en su paso por Honduras, Nicaragua y Guatemala, dejó un saldo de aproximadamente 10.000 muertos. Las inundaciones y deslizamientos en Venezuela en 1999 ocasionaron pérdidas millonarias y la muerte de cerca de 30.000 personas. Los deslizamientos ocasionados por el terremoto en El Salvador en 2001 ocasionaron la muerte de 1.500 personas. Las inundaciones anuales ocasionadas por tormentas tropicales y huracanes en varias partes de México, América Central y el Caribe dejan cuantiosos daños materiales y la pérdida de vidas humanas. Las consecuencias negativas de esos desastres son particularmente evidentes en áreas urbanas y peri-urbanas.

Sin embargo, los desastres naturales sólo son una parte de las consecuencias negativas de la variabilidad y el cambio climático en áreas urbanas. Existe una amplia gama de

³ ICLEI menciona que 650 municipios en 30 países participan en su campaña de ciudades por la protección climática (<http://www.iclei.org/index.php?id=800>). Revisado 30 de enero 2006).

⁴ Un número importante de ciudades en Estados Unidos han iniciado programas voluntarios de reducción de gases de invernadero en respuesta a la negativa del gobierno federal de en país para ratificar el protocolo de Kyoto que busca reducir las emisiones de gases de invernadero a nivel global.

consecuencias negativas en la vida urbana cotidiana: el crecimiento y rentabilidad de actividades económicas (turismo, comercio, servicios), la productividad de la mano de obra, la vida social de la población, la salud de los habitantes y el medio ambiente.



Fig. 2. Esquema conceptual de las interacciones entre áreas urbanas y cambios globales en el ambiente.

La figura 2 presenta, en forma gráfica, un esquema conceptual para el estudio de las interacciones entre las áreas urbanas y los cambios globales en el ambiente (Sanchez et al 2005). El esquema parte de reconocer dos premisas importantes. La primera es que el sistema urbano es el resultado de alteraciones al paisaje a través de procesos sociales expresados en el espacio físico por el ambiente construido. Los impactos del el sistema urbano sobre el sistema biofísico, o los ocasionados por el sistema biofísico sobre el espacio urbano son diferenciados dependiendo del tipo de espacio creado (por ejemplo, una zona de alta urbanización comparada con una zona marginada de urbanización incompleta). De igual forma, es importante distinguir que el sistema biofísico es, en realidad, el resultado de las interacciones entre procesos biofísicos y químicos regionales y globales y procesos socioeconómicos y políticos locales, regionales y globales. Las alteraciones en los ciclos del agua o el carbón, responsable del cambio climático y de otros aspectos de los que se conoce en cambios globales en el ambiente, son el resultado de esas interacciones.

La segunda premisa es reconocer que existe una relación bidireccional entre los sistemas

urbanos⁵ y los sistemas biofísicos. El esquema muestra, a través de las flechas cortas en tono de gris claro, esa relación bidireccional. Por un lado, la forma de cómo el sistema urbano impacta al sistema biofísico. Las emisiones de gases de invernadero de origen urbano – transporte, industria, servicios – y la emisión de calor – islas de calor – son claros factores de impacto. Otros factores que han recibido menor atención son los cambios en el uso y la cobertura del suelo inducidos, directa e indirectamente, por el sistema urbano que impactan al sistema biofísico. La demanda de materiales de construcción, alimentos, energía, agua y otros recursos naturales ilustran ese tipo de factores. Por ejemplo, la alta demanda de madera y alimento en áreas urbanas ha provocado la deforestación con consecuentes incrementos en las emisiones de gases de CO₂ o de alteraciones en el ciclo hidráulico de amplias zonas en el caso de la demanda de agua. La flecha corta ilustra como el sistema biofísico impacta en el área urbana. El caso de los desastres naturales arriba señalado es una clara ilustración de esos impactos con enormes consecuencias sociales, económicas y ambientales para América Latina.

El esquema presenta un segundo flujo bidireccional (flechas gris oscuro) entre el sistema urbano y el sistema biofísico. Este segundo grupo de impactos se produce como consecuencia del primero. Por ejemplo, una consecuencia de un desastre natural, una inundación o sequía, puede producir una migración significativa hacia otras zonas (incluyendo zonas urbanas) que ocasionan cambios en el uso y cobertura del suelo. Esos cambios, a su vez, producen una nueva gama de impactos sobre el sistema biofísico. Ese segundo grupo de impactos bidireccionales constituye una nueva área de estudio, útil para ampliar el conocimiento de las interacciones entre áreas urbanas y procesos biofísicos.

La figura 2 presenta un esquema conceptual, por el cual es posible considerar las contribuciones presentadas en este libro. Esta compilación reúne los trabajos de un grupo de investigadores de América Latina acerca de diversas disciplinas, enfocados al estudio de las interacciones entre cambio globales y regionales en el ambiente y las áreas urbanas. Esas interacciones pueden agruparse en dos grandes áreas: las asociadas con cambios en la variabilidad y el cambio climático y las asociadas con cambios en el uso y la cobertura del suelo.

Los capítulos de este libro cubren esos dos grupos: los tres primeros capítulos del libro abordan diversos aspectos de las interacciones entre el clima y las áreas urbanas. Los tres siguientes presentan casos de estudio sobre cambios en el uso y la cobertura del suelo. El último capítulo del libro presenta una serie de reflexiones finales que pueden orientar futuras áreas de investigación sobre este tema y mejorar la relación entre investigación científica y la práctica en el manejo de las áreas urbanas de América Latina.

Bárbaro Moya y coautores plantean el tema de la variabilidad climática y los cambios en el uso del suelo urbano en la zona turística de Varadero, Cuba. El capítulo presenta un interesante estudio del crecimiento histórico del área urbana de Varadero, de su

⁵ Sistema urbano se utiliza aquí en el sentido de que el área urbana es un sistema complejo y dinámico. Es decir, es una sola área urbana. Vale la pena distinguir esta interpretación de la usada en algunos estudios urbanos que consideran un sistema urbano como el conjunto de varias ciudades.

vulnerabilidad física a la variabilidad climática y de los posibles escenarios ante el cambio climático y sus consecuencias en el incremento en el nivel del mar y eventos climáticos extremos. El caso de Varadero en Cuba ilustra una amplia gama de interacciones entre clima y áreas urbanas, y ayuda a entender la importancia de incluir acciones en la ordenación del crecimiento urbano para reducir sus consecuencias negativas. Este ejemplo ilustra también como las consecuencias negativas de esas interacciones trascienden el ámbito local. En el caso de Varadero, uno de los principales centros turísticos en Cuba e importante generador de divisas extranjeras para ese país, esos daños pueden tener consecuencias significativas para la economía nacional. El caso de Varadero es un ejemplo útil para otros centros urbanos en América Latina.

Daniel Comarazamy y coautores estudian lo que se conoce como islas de calor generadas por áreas urbanas. Éste es uno de los fenómenos más características de las interacciones entre las áreas urbanas y el clima con mayores implicaciones para las propias áreas urbanas y sus habitantes, y los procesos biofísicos regionales y globales. El trabajo contiene una interesante descripción de este fenómeno a partir del caso de estudio en San Juan, Puerto Rico. Vale la pena resaltar la importancia de este tema, el que con frecuencia no es tomado en cuenta en la plantación y manejo de las áreas urbanas. Por un lado, la estructura y extensión del área urbana, la actividad urbana (transporte, economía urbana, etc.) y sus efectos en la generación de calor y emisión de gases de invernadero son objeto de preocupación por la alta tasa de crecimiento urbano a nivel global y de América Latina. Buena parte de las acciones tendientes a mitigar la emisión de gases de invernadero se orientan a reducir esos efectos. Por el otro lado, la forma como se ha realizado el crecimiento urbano (forma, estructura y actividad) sin tomar en cuenta las condiciones climáticas de la zona donde se ubica el asentamiento humano incrementa los costos de adaptación y reduce las opciones para disminuir los efectos negativos del clima sobre el centro urbano (Evans y Schiller 1991, Golany 1996). El estudio de la isla de calor aporta información válida de las diferencias de temperatura en diversas partes de la ciudad. Esa información es particularmente útil para la identificación de zonas vulnerables a temperaturas extremas y las alternativas para reducir sus consecuencias negativas.

Precisamente en este sentido, el capítulo de Fabián Bochaca y Enrique Puliafito ofrece un estudio complementario a la discusión de las islas de calor. Ellos presentan el caso del fenómeno de la isla fría al interior del área urbana. Como los autores explican, ese fenómeno se debe a las variaciones en temperatura y humedad causadas por la vegetación (áreas verdes) dentro del espacio urbano. Bochaca y Puliafito estudian en detalle el caso de Mendoza – Argentina – y calculan la extensión de la isla fría en dos de sus parques urbanos. La caída en la temperatura y el incremento de la humedad en los bordes de esas áreas urbanas se extiende por algunos cientos de metros en la ciudad. La temperatura y la humedad relativa del aire son dos variables importantes en los índices de confort de la población al interior del espacio urbano, en particular, en zonas del trópico seco (Svensson y Eliasson 2002, Wong y Yu 2005). Los autores resaltan la importancia de considerar las áreas verdes más allá de su función como espacio recreativo o de sus beneficios psicológicos e incorporar los servicios ecológicos. El estudio de caso de Mendoza ayuda a ilustrar la

importancia de considerar ese conocimiento a la planeación urbana y el diseño de las ciudades (Chiesura 2004).

Las interacciones entre clima y áreas urbanas presentadas en los tres primeros capítulos del libro abordan algunos de los aspectos relevantes de esas interacciones. Llama la atención que a pesar de la rica gama de estudios sobre clima urbano en varias regiones del mundo (Jazcilevich et.al. 2000, Gomez et.al. 2001, Baker et.al. 2002, Svensson y Eliasson 2002, Ahmed 2003), se utilice poco ese conocimiento en la planeación urbana. Este es un aspecto particularmente relevante en el caso de América Latina, dada su acelerada tasa de urbanización y la escasez de recursos para mejorar la función urbana.

El ser humano ha tenido siempre una íntima relación con el clima. El desarrollo y colapso de las civilizaciones tienen un fuerte vínculo con el manejo del medio ambiente y, en particular, del clima (Manzanilla 1992, Diamond 2005)⁶ el que a través de la historia, ha sido un elemento importante en la disponibilidad de recursos naturales vitales para la función urbana, en las condiciones de confort de la población y en, prácticamente, casi todas las actividades en la vida urbana cotidiana. La humanidad ha pasado por diversas condiciones de adaptación al clima, con particular evidencia en los asentamientos humanos (vivienda y el espacio urbano). A partir de la edad media, los avances tecnológicos transformaron de manera paulatina la capacidad de adaptación a las condiciones climáticas adversas en las áreas urbanas. Particularmente dramáticos han sido los cambios durante el último siglo en los que la adopción de medios mecánicos ha facilitado priorizar aspectos estéticos por encima de aspectos funcionales para el diseño urbano y su adaptación al clima. La transformación de patrones culturales influidos por nuevas formas de operación en la sociedad de consumo capitalista, y su rápida difusión en lo que se ha dado en llamar 'la sociedad global' ha dejado de lado parte del conocimiento tradicional de cómo adaptarse a las condiciones climáticas locales.

La figura 3 presenta, a manera de ilustración de la amplia gama de interacciones entre el clima y las áreas urbanas, así como algunas de las consecuencias en la salud causadas por modificaciones en la temperatura y la precipitación originadas por la variabilidad y el cambio climático (McMichael 1993, Patz y Balhbus 1996, Ziska et al. 2002).

⁶ Existe abundante e interesante número de publicaciones sobre la historia ambiental de la humanidad. Entre los trabajos mas recientes sobresale el de Diamond (2005) sobre el colapso de civilizaciones, el Devereil y Hise (2005) a nivel urbano sobre el caso de Los Ángeles. Otras compilaciones interesantes sobre este tema está disponibles en el Internet (<http://www.ericademon.co.uk/EH/EHsite.html>) y en (<http://www.stanford.edu/group/LAEH/>) para el caso particular de América Latina.

Condiciones urbanas y en la vivienda

La urbanización incompleta y deficiencias sanitarias facilitan la reproducción de organismos patógenos y vectores transmisores

Factores agravantes

- Deficiencias en servicios públicos
 - Aguas negras
 - Residuos sólidos
 - Agua potable
- Crecimiento urbano en zonas de riesgo

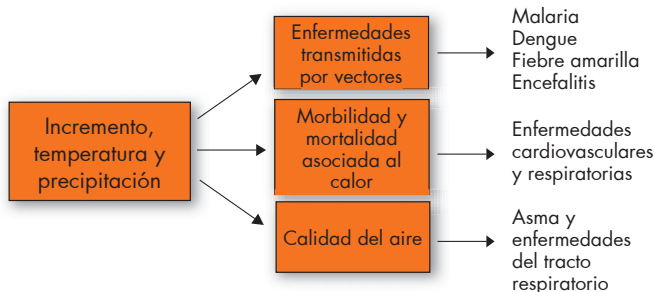


Fig. 3. Cambios en la temperatura y la precipitación y sus consecuencias en la salud.

Fuente: Adaptado de Patz y Balhbus 1996.

El incremento de temperatura asociado a la isla de calor en las áreas urbanas es agravado por las ondas de calor que acompañan a la variabilidad climática con importantes consecuencias en la morbilidad y mortalidad (enfermedades cardiovasculares y respiratorias). La onda de calor en Chicago en 1995 produjo cerca de 437 muertes (Semenza et.al. 1999) y las cerca de 30.000 de 2003 en Europa son una clara manifestación de su importancia. El incremento de temperatura puede también agravar problemas de calidad del aire ya existentes, incrementando los problemas de asma y enfermedades del tracto respiratorio. Este es un problema particularmente serio para un número significativo de ciudades grandes en América Latina que cuentan con fuertes problemas de calidad del aire (ozono troposférico o *smog*). El incremento en la temperatura también es vinculado a las enfermedades transmitidas por vectores (dengue, malaria, fiebre amarilla, encefalitis). Estudios recientes han documentado una reproducción más rápida de los patógenos con un incremento de dos grados en la temperatura. También existen reportes de modificaciones en la frontera, afectadas por esas enfermedades comunes en las zonas tropicales como consecuencia de la variabilidad climática (Epstein 1994, Patz y Balbaus 1996).

Las consecuencias en la salud provocadas por los cambios de temperatura y por la precipitación arriba mencionadas son agravadas por deficientes condiciones en la salud y la vivienda características de amplias zonas en las áreas urbanas de América Latina. Deficiencias en la recolección de residuos sólidos, uno de los problemas ambientales más comunes y visibles en las ciudades de América Latina, favorece los focos de reproducción de patógenos y de sus vectores transmisores. Problemas similares son ocasionados por deficiencias en el drenaje pluvial municipal o en la recolección de aguas negras. El estancamiento de agua

ocasionado por frecuentes fallas en esos servicios (fugas), en particular en zonas marginadas de urbanización incompleta o en zonas de bajos ingresos, crean focos reproductores de vectores. Los incrementos de la temperatura acortan el tiempo de reproducción de vectores.

La segunda parte del libro se concentra en los cambios en el uso y cobertura del suelo.

Erna López y coautores estudian el crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México. A partir de la reconstrucción histórica de cambios de uso del suelo en la cuenca de Cuitzeo, el segundo lago más grande en México, el trabajo detalla el peso del crecimiento urbano en la cuenca. Los autores resaltan la incidencia de la ciudad de Morelia (capital del estado de Michoacán) en los cambios del uso del suelo en la cuenca (un crecimiento de 600% entre 1975 y el año 2000), los problemas urbanos y ambientales que acompañan ese crecimiento y su impacto en el lago y su cuenca. El estudio de la cuenca de Cuitzeo presenta un caso de estudio útil para un amplio número de áreas urbanas en América Latina. La inmensa mayoría de las ciudades en esa región tienen problemas en el abastecimiento de agua y garantizar su acceso a ese recurso tiene, con frecuencia, un impacto significativo en los cuerpos de agua usados como fuentes de abasto (superficiales como ríos y lagos o subterráneas) (Antón 1993). El uso de la cuenca hidrológica como unidad de análisis ofrece las ventajas de establecer un marco regional en el cual ubicar el impacto del crecimiento urbano a partir de cambios en el uso y la cobertura del suelo y las alternativas disponibles para establecer un mejor balance entre el paisaje y las áreas urbanas.

Ricardo Silva Toledo aborda uno de los temas medulares de la cuestión urbana en América Latina: la gestión de cuencas hidrológicas para garantizar el abastecimiento de agua en áreas urbanas y la asimetría en el acceso a la red de agua potable. Aprovechando como caso de estudio la región metropolitana de São Paulo en Brasil, Ricardo Silva estudia la gestión integrada de la cuenca del Alto Tietê, una zona densamente urbanizada. El trabajo introduce novedosos instrumentos gerenciales y administrativos útiles para otras zonas en América Latina. El problema de la asimetría en el acceso a la red de infraestructura de agua es una realidad metropolitana compleja común en América Latina y en el resto de los países pobres del mundo. El capítulo realiza una serie de reflexiones relevantes de la discusión sobre la privatización de los recursos de agua en la América Latina (Trawick 2003). Los aspectos abordados en este capítulo son particularmente relevantes a la discusión de los impactos de procesos regionales y globales en el clima y sus consecuencias sociales, económicas y ambientales de uno de los recursos vitales para la vida humana y la actividad urbana: el agua.

Claudia Almeida estudia el uso de modelos computacionales en la simulación y pronóstico de cambios de uso del suelo urbano como una herramienta útil a los gestores locales del crecimiento urbano. Esos modelos ayudan a los tomadores de decisión y a la amplia gama de actores urbanos a visualizar tendencias de crecimiento físico de la ciudad, así como los conflictos que pueden generar de acuerdo con la capacidad de soporte ambiental de la zona. Esa herramienta es también útil para el desarrollo de escenarios de adaptación a

los impactos negativos de cambios globales en el ambiente a nivel local. Por ejemplo, la extensión de la isla de calor y posibles diferencias de temperatura al interior de la ciudad, el papel de servicios ecológicos (áreas verdes, cuerpos de agua, etc.) para mitigar efectos negativos de la isla de calor o en reducir riesgos de inundaciones. Éstos son solo algunos de los beneficios del uso de esta herramienta. A partir de una breve introducción del proceso de urbanización en Brasil, Almeida utiliza como caso de estudio la ciudad de Bauru en el estado de São Paulo, Brasil. Bauru tuvo un crecimiento explosivo de 500% entre 1970 y el año 2000. Ese crecimiento y las deficiencias en el proceso de urbanización que lo acompañaron (problemas para cubrir la demanda de infraestructura y servicios urbanos, problemas ambientales, problemas de transporte, etc.) son similares a los de otras ciudades en América Latina. El capítulo muestra el desarrollo con éxito de un modelo de autómatas celulares en la construcción de escenarios del crecimiento urbano de Bauru y su uso en apoyo a la planeación urbana y el manejo del crecimiento urbano. Los autores remarcen al final de su trabajo, la importancia de concebir y usar los modelos urbanos en forma crítica (reconocer sus beneficios y sus límites) como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre el crecimiento urbano, incluyendo la adaptación a los efectos negativos de cambios globales en el ambiente.

El último capítulo del libro presenta una serie de reflexiones finales que pueden orientar futuras áreas de investigación sobre este tema y mejorar la relación entre la investigación científica y la práctica en el manejo de las áreas urbanas de América Latina. Enfatiza la importancia de hacer accesible la información y el conocimiento disponible sobre los impactos de los cambios en los procesos biofísicos regionales y globales en las áreas urbanas de América Latina de la amplia gama de actores que inciden el crecimiento urbano. Se exploran alternativas para incluir esa información y conocimiento en los vastos programas internacionales, regionales y nacionales existentes para la capacitación de tomadores de decisión sobre el crecimiento urbano y sus problemas ambientales.

Los responsables de la edición de este libro, agradecemos las contribuciones de cada uno de los autores. La variedad de casos de estudio presentados en este trabajo ofrece una sucesión de conocimiento y experiencias útiles para otras áreas urbanas de América Latina. Agradecemos también al Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global y al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Oficina Regional para América Latina y el Caribe por su interés y apoyo en resaltar la importancia de atender el crecimiento urbano y su vínculo con procesos de cambios globales en el ambiente. Estamos convencidos de que este tipo de contribuciones son vitales para abrir oportunidades de desarrollo sustentable en la región. Por último, deseamos agradecer el apoyo y paciencia de Marcella Ohira y Céline Demaret del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global que hicieron posible la elaboración de este libro, así como la cuidadosa revisión de los textos por parte de María Marta Laplace.

Referencias

Abbott, J. 1996. *Sharing the City. Community Participation in Urban Management*. Earthscan Publications Ltd., London, England. 272 pp.

Adger, W. N. 1999. "Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam." *World Development* 27(2):249–269.

Adger, W. N., Brown, K., y Hulme, M. 2005. "Redefining global environmental change." *Global Environmental Change* 15:1–4.

Ahmed, K. S. 2003. "Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments." *Energy and Buildings* 35:103–110.

Anton, D. 1993. "Thirsty Cities. Urban Environments and Water Supply in Latin America". *International Development Research Center*, Ottawa, Canada. 180 pp.

Assis, E. y Barros Frota, A. 1999. "Urban bioclimatic design strategies for a tropical city." *Atmospheric Environment* 33:4135–4142.

Baker, L, Brazel, A., Selover, N., Martin, Ch., McIntyre, N., Steiner, F., Nelson, A. y Musacchio, L. 2002. "Urbanization and warming in Phoenix (Arizona, USA): Impacts, feedbacks and mitigation." *Urban Ecosystems* 6:183–203.

Bakker, K. 2003. "Archipelagos y networks: urbanization and water privatization in the South." *The Geographical Journal* 169(4):328–341.

Batterbury, S. y Fernando, J. 2006. "Rescaling governance and the impacts of political and environmental decentralization." *World Development* 34(11):1851–1863.

Benjamin, S. 2004. "Urban land transformations for pro-poor economies." *Geoforum* 35:177–187.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B. 1994. *At Risk. Natural Hazards, Vulnerability, and Disasters*. Routledge, London, England. 277 pp.

Blair, R. y Launer, A. 1997. "Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient." *Biological Conservation* 80(1):113–125.

Boisier, S. 1973. "Industrialización, urbanización y polarización." *El Trimestre Económico* XI(1):1–44.

Bolay, J.-C., Pedrazzini, Y., Rabinovich, A., Catenazzi, A. y García Pleyan, C. 2005. "Urban environment, spatial fragmentation and social segregation in Latin America: Where does innovation lie?" *Habitat International* 29:627–645.

Bouland, P. y Hunhammar, S. 1999. "Ecosystem services in urban areas." *Ecological Economics* 29:293–301.

Bryant, R. y Wilson, G. 1998. "Rethinking Environmental Management." *Progress in Human Geography* 22 (3):321–343.

Carley, M. y Christie, I. 2001. *Managing Sustainable Development*. Segunda Edición. Earthscan, London, England. 304 pp.

Castells, M. 1974. *La Cuestión Urbana*. Siglo Veintiuno Editores, Mexico City, Mexico. 544 pp.

Castells, M. 1981. *Capital Multinacional, Estados Nacionales y Comunidades Locales*. Siglo Veintiuno Editores, Mexico City, Mexico. 12 pp.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2003. *Manual para la estimación de los efectos socio-economicos y ambientales de los desastres*. CEPAL/ World Bank.

CEPAL-BID (Comisión Económica para América Latina y el Caribe–Banco Interamericano de Desarrollo). 2000. "Un tema de desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres." *Enfrentando Desastres Naturales, una Cuestion de Desarrollo* — Seminar, New Orleans, Louisiana, Marza 25–26.

Chiesura, A. 2004. "The role of urban parks for the sustainable city." *Landscape and Urban Planning* 68:129–138.

Cohen, B. 2004. "Urban growth in developing countries: A review of current trends y a caution regarding existing forecasts." *World Development* 32(1): 23–51.

Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C. y Perini, L. 2005. "Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy." *Environmental Research* 98:390–399.

Cross, J. 2001. "Mega-cities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability." *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 3(1):63–80.

Diamond, J. 2005. *"Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed"*. Viking Penguin, New York, NY. 592 pp.

Dow, K. 2000. "Social dimensions of gradients in urban ecosystems." *Urban Ecosystems* 4:255–275.

Drakakis-Smith, D. 1995. "Third World cities: sustainable urban development 1." *Urban Studies* 32(4&5):659–677.

Epstein, P. 1994. "Emerging diseases and ecosystem instability: New threats to public health." *American Journal of Public Health* 85:168–172.

Er, K. B. H., Innes, J. L., Martin, K. y Klinkenburg, B. 2005. "Forest loss with urbanization predicts bird extirpations in Vancouver." *Biological Conservation* 126:410–419.

Evans, J. M. y de Schiller, S. 1991. "Climate and urban planning: The example of the planning code for Vicente Lopez, Buenos Aires." *Energy and Buildings* 15(16):35–41.

Federovisk, S. 1990. "Influencias de la urbanización en un desastre: El caso del área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires." *Medio Ambiente y Urbanismo* 8(30):31–49.

Fiszbein, A. 1997. The emergence of local capacity: Lessons from Colombia." *World Development* 25(7):1029–1043.

Friedmann, J. 1987. "Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action". *Princeton University Press*, Princeton, NJ. 501 pp.

Fry, G. 2001. "Multifunctional landscapes — towards transdisciplinary research." *Landscape and Urban Planning* 57:159–168.

García Canclini, N. 1999. *Imaginario Urbanos*. 2a Edición. Ediciones Eudeba, Buenos Aires, Argentina. 149 pp.

Gibbs, A. y Jonas, A. 2000. "Governance and Regulation in Local Environmental Policy: The Utility of a Regime Approach." *Geoforum* 31:299–313.

Gilbert, A. 1974. "Latin American Development. A Geographical Perspective". *Penguin Books*, London, England. 368 pp.

Gilbert, A., y Guggler, J. 1992. "Cities, Poverty and Development: Urbanization in the Third World". *Oxford University Press*, Oxford, England. 352 pp.

Giri, A. 2002. "The calling of a creative transdisciplinarity." *Futures* 34:103–115.

Golany, G. 1996. "Urban design morphology and thermal performance." *Atmospheric Environment* 30(3):455–465.

Gomez, F., Tamarit, N. y Jabaloyes, J. 2001. "Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning." *Landscape and Urban Planning* 55:151–161.

Hamza, M. y Zetter, R. 1998. "Structural adjustment, urban systems and disaster vulnerability in developing countries." *Cities* 15(4):291–299.

Hardoy, J. y Geisse, G. (comp.). 1972. *Políticas de Desarrollo Urbano y Regional en América Latina*. Editorial SIAP, Buenos Aires, Argentina. 374 pp.

Hardoy, J. E., Mitlin, D. y Satterthwaite, D. 1992. *Environmental Problems in Third World Cities*. Earthscan, London, England. 285 pp.

Harvey, D. 1989. *Geografisker Annaler B*. Vol. 71, pp. 3–17. Quoted in Hull (1998).

Healey, P. 2002. "On creating the 'city' as a collective resource." *Urban Studies* 39(10):1777–1792.

Hull, A. 1998. "Spatial Planning. The development plan as a vehicle to unlock development potential." *Cities* 15(5):327–335.

IPPC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policy Makers and Technical Summary of the Working Group II Report*. IPCC, Geneva, Switzerland. 1005 pp.

Jackson, L. 2003. "The relationship of urban design and human health and condition." *Landscape and Urban Planning* 64(4):191–200.

Jacobi, P. 1994. "Households and environment in the city of São Paulo: problems, perceptions and solutions." *Environment and Urbanization* 6(2):87–110.

Jáuregui, E. y Morales, E. 1996. "Urban effects on convective precipitation in Mexico City." *Atmospheric Environment*. 30(20):3383–3389.

Jazcilevich, A., Fuentes, V., Jáuregui, E. y Luna, E. 2000. "Simulated urban climate response to historical land use modification in the Basin of Mexico." *Climatic Change* 44:515–536.

Kirshen, P. y Fennessey, N. 1995. "Possible climate-change impacts on water supply of metropolitan Boston." *Journal of Water Resources Planning and Management* 121(1):61–70.

Kohl, B. 2002. "Stabilizing neoliberalism in Bolivia: popular participation and privatization." *Political Geography* 21:449–472.

Lambin, E. 2005. "Conditions for sustainability of human–environment systems: information, motivation, and capacity." *Global Environmental Change* 15:177–180.

Laws, G. 1994. "Oppression, knowledge and the built environment." *Political Geography* 13(1):7–32.

Lefebvre, H. 1991. *The Production of Space*. Blackwell, Oxford, England. 464 pp.

Leff, E. 1998. *Saber Ambiental: Sustentabilidad, Racionalidad, Complejidad, Poder*. Siglo XXI y PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), Mexico City, Mexico. 414 pp.

Lomnitz, L. 1972. *Como Sobreviven los Marginados*. Siglo Veintiuno Editores, Mexico City, Mexico. 232 pp.

Lopes de Souza, M. 2001. "Metropolitan decentralization, socio-political fragmentation and extended suburbanization: Brazilian urbanization in the 1980s and 1990s." *Geoforum* 32:437–447.

Madaleno, I. 2000. "Urban agriculture in Belém, Brazil." *Cities* 17(1):73–77.

Manzanilla, L. 1997. "Early urban societies: challenges and perspectives." *Emergence and Change in Early Urban Societies* (L. Manzanilla, Ed.), Springer, New York, NY. 316 pp.

Martinez-Vazquez, J. y McNab, R. 2003. "Fiscal decentralization and economic growth." *World Development* 31(9):1597–1616.

Mattews, R. y Selman, P. 2006. "Landscape as a focus integrating human and environmental processes." *Journal of Agricultural Economics* 57(2):199–212.

McMichael, A. 1993. "Planetary Overload. Global Environmental Change and Health of the Human Species". *Cambridge University Press*, Cambridge, England. 370 pp.

Moser, C. 1998. "The Asset Vulnerability Framework: Reassessing urban poverty reduction strategies." *World Development* 26(1):1–19.

Moser, C. y McIlwaine, C. 2006. "Latin American urban violence as a development concern: Towards a framework for violence reduction." *World Development* 34 (1):89–112.

Myllyla, S. y Kuvaja, K. 2005. "Societal premises for sustainable development in large southern cities." *Global Environmental Change* 15:224–237.

Newman, P. 1999. "Sustainability and cities: Extending the metabolism model." *Landscape and Urban Planning* 44:219–226.

Nissani, M. 1997. "Ten cheers for interdisciplinarity: The case for interdisciplinarity in knowledge and research." *The Social Science Journal* 34(2):201–216.

Parikh, J. y Shukla V. 1995. "Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development." *Global Environmental Change* 5(2):87–103.

Patz, J. y Balbus, J. 1996. "Methods for assessing public health vulnerability to global climate change." *Climate Research* 6:113–125.

Pelling, M. 2001. "Natural disasters?" *Social Nature: Theory, Practice, and Development* (Castree, N., y Braun, B., Eds.), Blackwell, Oxford, England. 272 pp.

Pelling, M. 2003. *The Vulnerability of Cities. Natural Disasters and Social Resilience*. Earthscan Publications Ltd., London, England. 212 pp.

Pickett, S., Burch, W., Dalton, S. y Foresman, T. 1997. "A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas." *Urban Ecosystems* 1:185–199.

Pirez, P. 2002. "Buenos Aires: fragmentation and privatization of the metropolitan city." *Environment and Urbanization* 14(1):145–158.

Quijano, A. 1967. "La urbanización de la sociedad en América Latina." *Revista Mexicana de Sociología* XIX(4):1–35.

Radoki, C. 2001. "Forget planning, put politics first. Priorities for urban management in developing countries." *Journal of American Geographers* 3(3):209–223.

Ramadier, T. 2004. "Transdisciplinarity and its challenges: the case of urban studies." *Futures* 36:423–439.

Redclift, M. 1994. "Development and the environment: managing the contradictions?" *Capitalism and Development* (Sklair, L., Ed.). Routledge, London, England. Pp. 123–137.

Rees, W. y Wackernagel, M. 1996. "Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable — and why they are a key to sustainability." *Environmental Impact Assessment Review* 16:223–248.

Restrepo, I. 1980. *Conflictos entre ciudad y campo en América Latina*. Editorial Nueva Imagen, Mexico City, Mexico. 377 pp.

Ribot, J. y Larson, A. 2005. *A Democratic Decentralization through a Natural Resource Lens*. Routledge, New York, NY. 260 pp.

Rosenzweig, C. y Solecki, W. 2001. "Climate change and a global city: Learning from New York." *Environment* 43(3):3–12.

Sanchez, R., Seto, K., Simon, D., Solecki, W., Krass, F. y Laumann, G. 2005. *Urbanization and Global Environmental Change. Science Plan*. International Human Dimensions Program. Bonn, Germany. 60 pp.

Satterthwaite, D. 1997. "Sustainable cities or cities that contribute to sustainable development?" *Urban Studies* 34(10):1667–1997.

Schreider, S., Smith, D. y Jakeman, A. 2000. "Climate change impacts on urban flooding." *Climatic Change* 47:91–115.

Schoenberger, E. 2001. "Interdisciplinarity and social power." *Progress in Human Geography* 25(3):365–382.

Schrijnen, P. 2000. "Infrastructure networks and red-green patterns in city regions." *Landscape and Urban Planning* 48:191–204.

Segre, R. 1977. *Las Unidades Ambientales en América Latina*. Siglo XXI Editores, Mexico City, Mexico. 384 pp.

Semenza, J., McCullough, J., Flanders, W., McGeehin, M. y Lumpkin, J. 1999. "Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago." *American Journal of Preventive Medicine* 16(4):269–277.

Singer, P. 1975. *Economía Política de la Urbanización*. Siglo XXI Editores, Mexico City, Mexico. 184 pp.

Smith, K. 1992. *Environmental Hazards. Assessing Risk & Reducing Disaster*. Routledge, London, England. 324 pp.

Smith, J. y Lazo, J. 2001. "A summary of climate change impact assessments from the US Country Studies Program." *Climatic Change* 50(1&2):1–29.

Smyth., C. y Royle, S. 2000. "Urban landslide hazards: incidence and causative factors in Niterói, Rio de Janeiro State, Brazil." *Applied Geography* 20:95–117.

Spangenberg, J., Pfahl, S. y Deller, K. 2002. "Towards indicators for institutional sustainability: lessons from an analysis of Agenda 21." *Ecological Indicators* 2(1&2):61–77.

Steinberg, F. 2005. "Strategic urban planning in Latin America: experiences of building and managing the future." *Habitat International* 29(1):69–93.

Sturm, R. y Cohen, D. 2004. "Suburban sprawl and physical and mental health." *Public Health* 118(7):488–496.

Sunkel, O. y Giglio, N. 1980. *Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina I*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. 663 pp.

Svensson, M. y Eliasson, I. 2002. "Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning." *Landscape and Urban Planning* 61:37–54.

Tayanc, M., Karaca, M. y Yenigun, O. 1997. "Annual and seasonal air temperature trend patterns of climate change and urbanization effects in relation to air pollutants in Turkey." *Journal of Geophysical Research* 102(132): 1909–1919.

Trawick, P. 2003. "Against the privatization of water: An indigenous model for improving existing laws and successfully governing the commons." *World Development* 31(6):977–996.

UNCHS (United Nations Commission on Human Settlements) 2002. *The State of the World Cities Report 2001*. United Nations Publications, New York, NY.

UNDP (United Nations Development Program). 2002. "Climate Risk Management Approach to Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change". *Draft summary of the UNDP Expert Group Meeting on Integrating Disaster Reduction with Adaptation to Climate Change*, Havana, Cuba, Junio 19–21.

Unikel, L. y Necochea, V. (Eds.). 1975. *Desarrollo Urbano y Regional en América Latina. Problemas y Políticas*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, Mexico. 732 pp.

Urquidí, V. 1969. "La Ciudad Subdesarrollada." *Demografía y Economía* III(2): 1–19.

Valleron, A. y Boumendil, A. 2004. "Epidemiologie et canicules: analyses de la vague de chaleur 2003 en France." *C.R. Biologies* 327:1125–1141.

Vargas, J. 2002. *Políticas Públicas para la Reducción de la Vulnerabilidad Frente a los Desastres Naturales y Socio-naturales*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, no. 50. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, CEPAL, Santiago, Chile.

Ward, P. 1982. *Self-help Housing. A Critique*. Routledge, London, England. 296 pp.

Warren-Rhodes, K. y Koenig, A. 2001. "Escalating trends in the urban metabolism of Hong Kong: 1971–1997." *Ambio* 30(7):429–438.

Wong, N. y Yu, C. 2005. "Study of green areas and urban heat island in a tropical city." *Habitat International* 29:547–558.

World Bank. 2002. *World Bank Urban Development* (<http://www.worldbank.org/html/fdp/urban/>).

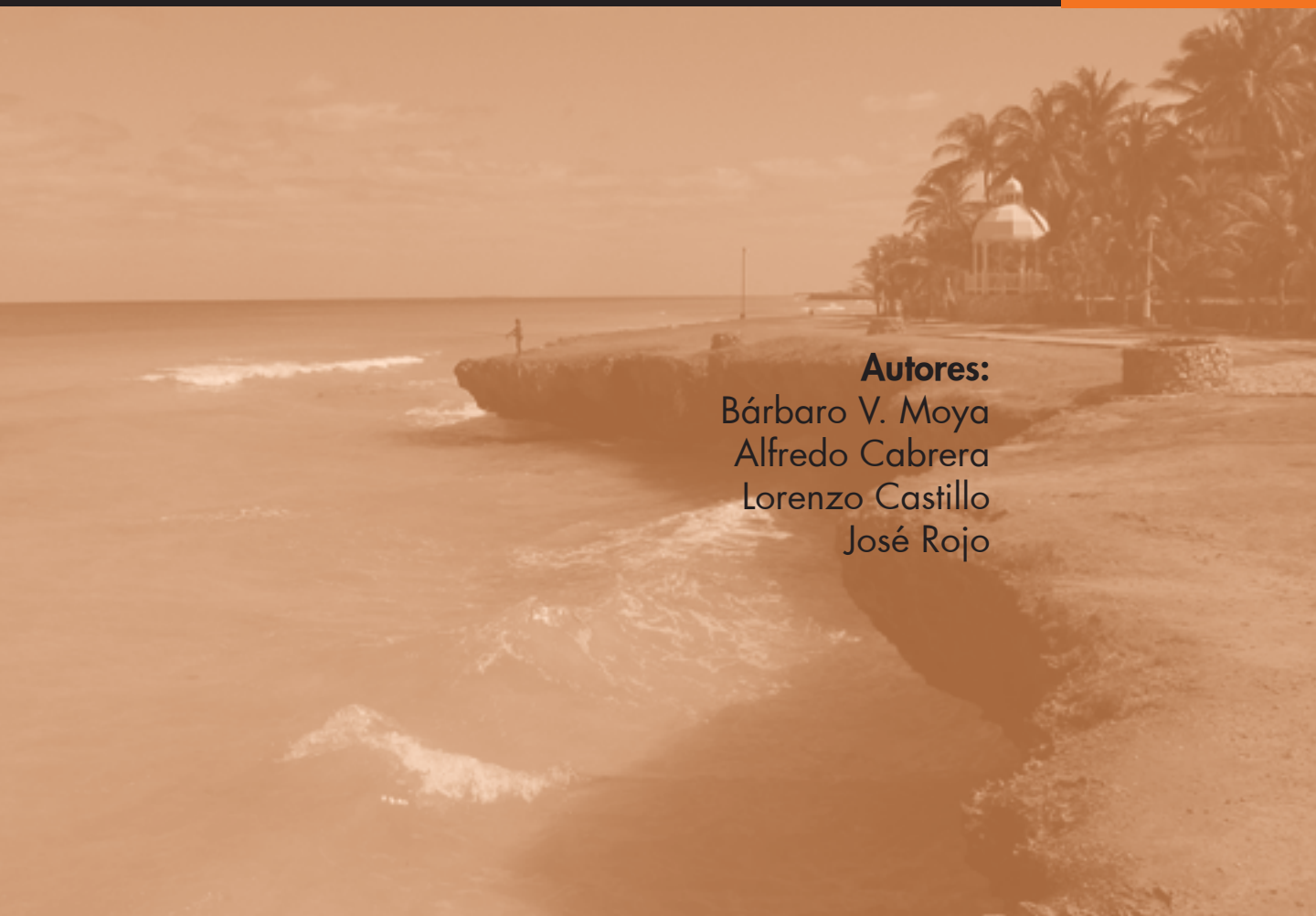
Ziska, L., Gebhard, D., Frenz, D., Faulkner, S., Singer, B. y Str, J. 2003. "Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 111(2):290–295.

Varadero Ante el Cambio Global Medio Ambiental

2

Autores:

Bárbaro V. Moya
Alfredo Cabrera
Lorenzo Castillo
José Rojo



Resumen

Varadero constituye el principal polo turístico de sol y playa en Cuba y uno de los destinos más apreciados del Caribe. Es una ciudad balnearia que se ha desarrollado sobre la península de Hicacos, provincia de Matanzas. Desde hace décadas, esta península ha estado sujeta a un intenso proceso de transformación expresado en la urbanización y explotación turística, al que se une la natural vulnerabilidad de este sistema.

La situación actual del cambio global medioambiental, conceptualizado para este caso como el cambio y la variabilidad del clima y el cambio de uso del suelo, provoca impactos y efectos negativos sobre Varadero.

Este estudio parte de la caracterización físico-geográfica y socio-económica, así como del análisis del proceso de urbanización y explotación turística en Varadero. El trabajo revisa las etapas históricas del desarrollo turístico, así como sus perspectivas futuras, todo ello, considerando la variabilidad del clima y los escenarios climáticos a distintos plazos. Se plantean formas de vulnerabilidad, impactos y efectos ante el cambio global medioambiental y se recomiendan medidas de adaptación reunidas en un programa integral y multidisciplinario en el ámbito de la adaptación.

Introducción

El cambio climático es real e irreversible. El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, derivado del moderno estilo de vida industrializado, ha provocado el incremento sostenido de la concentración de estos gases y la retención del calor en la atmósfera que, entre otras cosas, se manifiesta a través del aumento de la temperatura media global. La década de 1991-2000 reportó ocho de los diez años más calientes del siglo pasado y el período 2001-2005 corresponde a cuatro de los siete años más calientes desde que existen registros confiables de temperatura, lo que data de finales del siglo XIX. Este es el proceso que hoy se conoce como el “calentamiento global”.

El cambio climático ocurre en un mundo dinámico, de transformación constante e incluye la modificación de la cobertura y uso de suelo, el crecimiento acelerado de la urbanización, el aumento de la industrialización y del transporte, todas ellas actividades que, directa o indirectamente, son emisoras de GEI con tendencia al aumento, en tanto que los sumideros de esos mismo gases tienden a disminuir y, a su vez, tiene implicaciones en el calentamiento global, el cambio climático y la sociedad y la economía.

Los modelos de escenarios futuros muestran los cambios de clima que ocurrirán a una velocidad mayor que la que aporta la variabilidad natural del sistema. Entre ellos se identifican el aumento de los valores de temperaturas; cambios en la distribución de precipitación, con zonas donde se incrementan los acumulados de lluvia y otras donde disminuirán, pero además, cambios en la distribución anual de la precipitación, aumento del nivel del mar y mayor ocurrencia de eventos meteorológicos extremos.

La variabilidad natural del clima, el aporte antrópico a ésta, el cambio de uso del suelo y su expresión en el medioambiente son aspectos que suelen considerarse cuando se habla de cambio global medioambiental. Los eventos dañinos extremos tendrán un efecto negativo sobre el medioambiente, la sociedad y la economía, que será mayor en la medida en que el proceso de transformación climática se agudice. Se trata de un problema de máxima prioridad y un reto para la comunidad científica internacional, para los tomadores de decisión y para la población en general.

Entre las regiones más susceptibles a los efectos por el cambio climático tenemos los pequeños estados insulares y las zonas costeras. El aumento del nivel del mar y sus posibles penetraciones tierra adentro, devastando vidas y propiedades, se ha convertido en estos casos, en una amenaza real a mediano plazo. A ese panorama se une el impacto acumulado de otros eventos probables, como inundaciones y tormentas, sequías y una salinización que progresa campalmente en muchas áreas de costa y que, junto a las anteriores, reducen la resiliencia de los ecosistemas y la capacidad para reponerse de impactos severos.

Para Varadero, el establecimiento de la industria turística implicó que durante el proceso de urbanización se practicasen acciones que agudizaban la fragilidad natural del sistema. La deforestación de las dunas, la construcción de casas y hoteles en puntos inadecuados, la extracción de arena, la disecación de manglares, son todos ejemplos de esta degradación. El aumento de la vulnerabilidad, acompañado de la reducción de la resiliencia del medio, agrava la exposición de personas e intereses económicos a riesgos diversos, así como los riesgos ante los escenarios futuros de cambio climático para esta playa.

Todo este marco evidencia la necesidad de desarrollar una estrategia de adaptación que permita, en primer lugar, preservar el territorio y proceder con la mitigación de los impactos y la disminución de actividades que refuerzan el calentamiento global. Un programa de adaptación al cambio climático resultará una herramienta adecuada para el manejo de las situaciones extremas asociadas al comportamiento del clima y desarrollarlo con la óptica del análisis de las vulnerabilidades del territorio, los escenarios climáticos y los impactos potenciales, se constituirá en la metodología adecuada, brindando un medio óptimo para el impulso de un estudio integrado.

El presente trabajo pretende exponer un programa de adaptación al cambio climático de Varadero, cuya implementación permita trabajar también para los fenómenos de variabilidad climática. Ello supone la aplicación de medidas tanto para el futuro como para los fenómenos meteorológicos extremos y el comportamiento anómalo del clima que puedan presentarse en cualquier momento.

Un programa de adaptación implica un conjunto de evaluaciones que sirven de base para la toma de medidas e incluye una caracterización físico-geográfica y socio-económica del área. Ésta se complementa con un análisis de la evolución de la urbanización y de la explotación turística, así como con una proyección socio-económica para los próximos años y de cambio futuro de uso de suelo en el territorio. Se hace hincapié en el análisis del proceso evolutivo y de las perspectivas futuras y su implicación en la vulnerabilidad del territorio, lo que facilita el desarrollo de la propuesta de adaptación.

De esta forma, se cumple el objetivo general de trabajo: esbozar una primera serie de medidas de adaptación que permita asesorar a los tomadores de decisión y a la población en general, acerca de cómo enfrentar el cambio climático y cambio global medioambiental.

Método

Este estudio busca cumplir con una serie de objetivos dirigidos a la presentación de un diagnóstico, la determinación y análisis de las vulnerabilidades e impactos, así como el desarrollo de medidas de adaptación. La filosofía de trabajo se fundamenta en un análisis holístico de los componentes del medio en cuestión y su relación con unidades medioambientales adyacentes en diferentes escalas temporales y espaciales.

En un primer paso, se realiza la caracterización físico - geográfica del territorio a partir de la información existente, levantamientos propios y las experiencias reflejadas por estudios ya efectuados en Varadero. El análisis de las condiciones físico-geográficas plantea la forma en la cual éstas contribuyen a la vulnerabilidad de la península por eventos meteorológicos extremos y otras afectaciones climáticas.

El estudio continúa con la caracterización socio-económica de Varadero, y se detallan las principales actividades económicas del territorio y las perspectivas futuras de desarrollo. Esta parte del estudio se complementa con un análisis de la evolución del proceso urbanización y explotación del polo donde las fronteras, muchas veces rígidas, socialmente establecidas entre lo social y lo natural se flexibilizan para facilitar el análisis integrado de esos procesos en el medio antro-po-natural. También se complementa con el análisis de las perspectivas futuras de desarrollo y el cambio de suelo previsto para los próximos años.

La información acerca de los escenarios climáticos futuros, considerando la variabilidad y el cambio climático, brinda la posibilidad de inferir – con las reservas propias de todo ejercicio de modelación – la situación futura en este polo turístico. Para el análisis de la variabilidad y el del clima, se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Varadero, con 10 años de servicio, así como la cronología de huracanes (desde 1796) y la de eventos ENOS con más de 100 años. También se utilizó la serie de datos del *Climate Research Unit of the University of East Anglia* (CRU, UEA) desde el año 1901, lo que permitió estimar, para algunos meses, el comportamiento de las temperaturas desde el comienzo del siglo pasado. Esa estimación utiliza métodos de correlación lineal y análisis cronológicos de series interrumpidas, que de esta forma podrán completarse. En los análisis de cambio climático futuro se aplicaron modelos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), IS92a, KYOTOA1, GSA2 para la generación de los escenarios.

El análisis de la vulnerabilidad social de los eventos climáticos extremos en Varadero, en el contexto y en sus expresiones temporal y espacial aportan a la búsqueda de un análisis integrado. Para su revisión se recurrió a criterios de expertos e información originada en experiencias internacionales (aplicando Delphi) además de análisis estadísticos como la determinación probabilística de exposición. También se contó con cálculos desarrollados sobre la base de metodologías para la determinación de pérdidas de espacios y de análisis estadísticos cronológicos, evaluando parámetros desde la escala local hasta la global, recogidos en el índice Buldo (Ortiz et al. 1998). Esto permitió apreciar la magnitud de los

impactos sobre el espacio que puede calificarse como vulnerable a los eventos climáticos en Varadero.

La divulgación ha sido un objetivo primordial de este estudio, en particular por la necesidad de someter y validar sus resultados. Esto se consiguió a través de la presentación de ellos en eventos y talleres nacionales e internacionales, donde fueron confrontados por especialistas de alto nivel. Sin embargo, la actividad más importante fue el taller que convocó a los actores en Varadero, con quienes se revisaron los resultados y se desarrolló un plan de acción.

Desarrollo

Características generales del territorio

La playa de Varadero está ubicada en los 23 LN y 81 LW, en la Zona Intertropical, muy cerca del Trópico de Cáncer y del estrecho de La Florida, en el Mar Caribe. Es un accidente geográfico de aproximadamente 20 kilómetros de largo, ubicado en la costa norte de la provincia de Matanzas, segunda en extensión territorial en Cuba, la mayor de las Antillas.

Varadero es el polo turístico de sol y playa más importante del país. En él convergen áreas de sol, arena y playa, espacios urbanos con una densidad de población superior a los 500 habitantes por km² y los cada vez menores espacios naturales (figs. 1, 2).



Fig. 1.
a) Espacios de sol y playa,
b) Espacios urbanos.



Fig. 2. Espacios naturales en Varadero.
(Fuente: Oficina de Manejo de Playa. OMP).

Características Físico-Geográficas

Como se ha mencionado, el polo se encuentra en la península de Hicacos, que forma parte de la región físico-geográfica Alturas y Llanuras del norte Habana-Matanzas. Es una barra formada por arenisca y calcarenita, donde aparecen dunas fósiles. Tiene una longitud de 18 kilómetros y un ancho que oscila entre 1 y 2 kilómetros. Es una zona llana con muy poca altitud, alrededor de 5 metros, aunque presenta pequeñas colinas con mayor altura. Tiene un clima tropical, con marcada influencia subtropical en una época del año debido, fundamentalmente, a la cercanía a la región subtropical y al subcontinente norteamericano, desde donde llegan frentes fríos que modifican estacionalmente el clima (Alfonso y Florido 1992).

Entre los rasgos generales de los paisajes en el área que nos ocupa se destacan: la amplitud superficial de un fundamento arenoso, la distribución de las unidades en franjas paralelas a la línea de costa (Cabrera 1999), el predominio de las condiciones de extrema sequedad, alta salinidad, fuerte y persistente influencia de los vientos y poco desarrollo de la cobertura edáfica. También debe resaltarse la presencia dominante del relieve llano y de formas de relieve estrechamente asociadas con los procesos de interacción tierra-mar. Son paisajes jóvenes, desarrollados sobre llanuras holocénicas y pleistocénicas tardías.

Otro rasgo general de los paisajes de Hicacos es que el escurrimiento superficial casi no existe y sólo en áreas con marcado declive se aprecia un débil escurrimiento laminar inmediatamente después de las lluvias. Por el contrario, las condiciones arenosas en la superficie y la alta permeabilidad por agrietamiento de las rocas, subyacentes o aflorantes, determinan un elevadísimo coeficiente de infiltración. De esta forma, la cercanía del nivel freático con respecto a la superficie del terreno y su oscilación sincrónica con las fluctuaciones diurnas de las mareas es muy notable e influyente en todos los procesos naturales. El funcionamiento geoecológico de estos paisajes está condicionado por el régimen tropical de altas temperaturas y estacionalidad de las lluvias, que en este caso, presenta valores relativamente bajos menos de 1000 mm. al año (Alfonso y Florido 1992).

La influencia marítima es muy significativa en la zona de estudio, en especial a través del efecto térmico regulador en la creación de un 'ambiente salinizado' con fuerte influencia del viento y en la intensificación de los procesos físicos (acumulativos y erosivos) que se refleja en la inestabilidad dinámico-funcional de estos geosistemas cuyo substrato arenoso está sometido a una intensa morfogénesis litoral. Esos mecanismos, condicionados por la interacción de componentes abióticos, actúan como factores esenciales en la estructura geofísica de la zona de estudio. Así, los componentes bióticos se perfilan como los mejores indicadores del funcionamiento geoecológico, lo que se advierte en los débiles procesos pedogénicos, en la baja productividad neta del matorral xeromorfo costero y de la faja de uveral, así como en la alteración de la composición y de las interrelaciones de las biocenosis originales (CESIGMA SA 1998).

Todo lo anteriormente expresado pone en evidencia la inestabilidad de esos paisajes y por lo mismo, su fragilidad y susceptibilidad ante los impactos de la naturaleza y del ser humano. Además, por su situación geográfica, también se encuentran expuestos a eventos tropicales y subtropicales severos. En esto radica la vulnerabilidad natural del sistema.

Condiciones Socio-Económicas

Entre las características socio-económicas más importante del polo turístico tenemos que se compone de tres asentamientos urbanos con aproximadamente 22.000 habitantes. La ciudad turística – área que nos atañe para este estudio – tiene una superficie de 14.4 km², de la cual, el 58,3%, se encuentra edificada con una población de alrededor de 8.000 habitantes y una densidad superior a los 500 hab/km². El índice de masculinidad es de 0,989 y la tasa anual de crecimiento es de 1,7. Alrededor del 56% de la población está comprendida entre los 15 y los 49 años y presenta un elevado nivel educativo. El alto nivel cultural que se desarrolla con la socialización de la educación se une a la calidad de la atención médica que recibe la población y al sistema de defensa civil que constituyen fortalezas para enfrentar el cambio global medioambiental en el territorio.

Hay una intensa actividad de servicios asociada a la actividad turística, así como de pequeña producción. De hecho, los mayores empleadores en la ciudad corresponden al sector turístico y los servicios asociados a éste, ramas en la que el poder adquisitivo de los trabajadores supera el promedio del país. Por otro lado, Varadero ha generado ingresos que significan el 35% de los beneficios económicos aportados por el turismo al país en años recientes.

En los últimos 25 años, la población creció sólo el equivalente a 1.8 veces, tendencia que hace prever un eventual decrecimiento poblacional como consecuencia del envejecimiento progresivo de los habitantes. La población entre 0 y 14 años se mantuvo estable, mientras que la de 15 a 49 se duplicó y la población mayor de 50 se triplicó en el mismo periodo de tiempo (ONE 1995).

Cerca de Varadero se encuentra la principal área de explotación de petróleo del país, de donde se extraen anualmente más de 1.5 millones de toneladas de petróleo y más de 0.6 millones de toneladas de gas natural.

El Proceso de Urbanización en Varadero

En la península, los antecedentes urbanos se remontan a un asentamiento de un núcleo

de alrededor de 25 indígenas en fecha muy próxima a 1492, que al parecer fueron exterminados con el proceso de colonización.

Pero el proceso de urbanización propiamente dicho comenzó en 1883, cuando se estableció el pueblo de Varadero en una zona ubicada en la parte sur, a unos 3 kilómetros del actual canal de Paso Malo y contaba con alrededor de 25 viviendas. En aquel momento no existía una estructura urbana como tal; las viviendas, agrupadas, pero sin un centro claro, fueron construidas con tabla, guano y tejas. La red vial era inexistente y sólo existían trillos que llevaban a la costa norte. La población estaba compuesta por temporadistas y pescadores (fig. 4).

Hacia 1910, el asentamiento experimentó una ligera expansión dirigida al este de la península, desplazamiento que continuó en años posteriores hasta que aparecieron, por primera vez, asentamientos urbanos en la parte occidental, conocida de forma general como la zona de Kawama. Esta expansión progresiva se mantiene y se profundiza hacia el oeste de la península a partir de la década de 1990. Actualmente, el proceso de urbanización está ampliamente extendido y llega a cubrir casi la totalidad de la península. Se esbozaba ya entonces la vocación histórica y natural del llamado “poblado para temporada de baños” con su playa solitaria, salvaje y esplendente.

La evolución del proceso de urbanización en Varadero puede dividirse en cuatro etapas fundamentales (fig. 3):

1. Asentamiento inicial
2. Período 1910-1989 con sus tres subperíodos (1910-1945), (1945-1959), (1959-1989).
3. Período 1990-1998
4. Período 1998- Actualidad

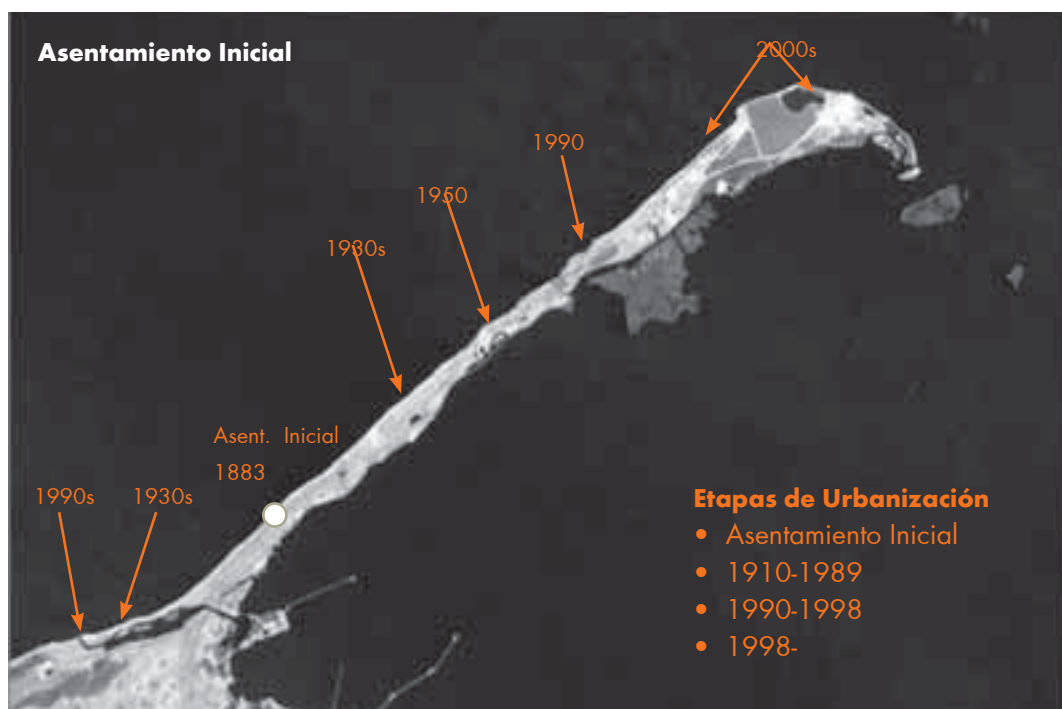




Fig. 4. Recreación del asentamiento inicial (Fuente: Arq. Elena Royo Muñoz, IPF).

Período 1910-1989

Subperíodo 1910-1945

En esta etapa surge un camino polvoriento muy próximo a las playas del norte, que más tarde será conocido como la Calle Primera (actualmente Avenida de la Playa). A la altura de la I Guerra Mundial comenzó la construcción de viviendas en la costa norte y aparecieron los primeros hoteles. La distribución de la población, determinada por su clase social, se pone de manifiesto y seguirá haciéndolo hasta 1950, acompañada de una zonificación físico-geográfica. El sector de playa fue ocupado hacia el norte, por grandes residencias de la clase adinerada, por comerciantes y clase media al centro y, al sur por grupos de más bajo ingreso (pescadores) que se instalaron en las zonas de manglares.

La tipología arquitectónica de esa época incluye edificaciones de madera, rodeadas de frescos portales y techos de madera y losa cubierta de tejas criollas, así como viviendas (Rojo 1999) de canto (fig. 5).

En 1926, con la entrada del capital extranjero, representado por Dupont, aparece la valoración de la tierra como un producto comercial y comienza la venta y compra de terrenos. Esto trae como consecuencia la construcción del primer acueducto. Todavía no existía un núcleo fuerte en los años de 1930. Las inversiones se dirigían fundamentalmente a casas de huéspedes y pequeños hoteles dispersos en la zona norte. A partir de entonces, Varadero se ha ido extendiendo en el sentido este-oeste debido a su configuración alargada y estrecha y a las limitaciones naturales de una masa de arena al norte y la zona de manglares o costa baja hacia el sur.

En el año 1933, la península es afectada por el "Huracán del 33", el fenómeno natural adverso más destructivo que ha afectado al territorio y que provocó inundaciones y penetraciones del mar en casi toda la península, así como también múltiples daños. A pesar de ello, en 1943 la población ascendía a 1.315 habitantes.



Fig. 5. Construcciones típicas del período 1910-1945.

Subperíodo 1945-1959

Con la II Guerra Mundial se va conformando una estable capacidad de alojamiento para la población ocasional y los extranjeros. Ya la explotación del suelo comienza a consolidarse con la aparición de repartos, tanto al oeste como al este del territorio. La retícula original se ha mantenido y prolongado, imponiendo un ordenamiento de los elementos componentes de la urbanización.

Entre 1950 y 1958, el gobierno, presionado por las transnacionales del turismo que desean la modernización de Varadero, presta gran atención a su desarrollo, coincidiendo con una avalancha de préstamos y capitales norteamericanos en inversiones. Como prueba de ello aparece el primer “Gran Hotel” con métodos gerenciales norteamericanos.

Años después se convierte la laguna de Paso Malo, en el extremo oeste de la península, en un canal, uniendo el mar del Norte con la Bahía de Cárdenas, al sur.

En 1955, se crea la Junta Nacional de Planificación, que, junto a un grupo de famosos urbanistas, aporta a la creación de un plan regulador para Varadero. En 1957 se crea un organismo para llevar a efecto ese plan. Varadero adquiría mayor relevancia como polo turístico.

Por otro lado, en esta época el núcleo inicial adquiere un trazado ingenieril que contribuye a brindar un nivel de urbanización al territorio. A la entrada de la ciudad, se sustituye el puente de madera por uno moderno de hierro y hormigón. En la estructura de las nuevas construcciones, la madera y el canto son reemplazados por ladrillos o bloques y hormigón. Hacia el sur, la construcción de la autopista gana terreno a la península utilizando áreas de zonas bajas y de difícil drenaje natural con un alto costo económico.

La actividad asociada con este ímpetu de urbanismo hizo que aparecieran las anchas avenidas y edificios, los que pese a no ser monumentales sí eran de gran volumetría y altura. El centro de la ciudad, aunque débil, se encontraba bien formado y cubría discretamente las necesidades de los residentes y turistas de temporada, apoyado siempre por la cercanía de la ciudad de Cárdenas.

Subperíodo 1959-1989

En esta etapa se reactiva la actividad constructiva y aparecen los edificios de departamentos. Se sustituyen las covachas de los pescadores y se construyen nuevas viviendas, mejorando la situación de sus habitantes. En ese periodo se practicó el dragado de arena en la playa, que afectó seriamente el proceso de erosión natural y tuvo otros impactos negativos sobre la costa.

En la década de 1970 la población llega a los 5.343 habitantes y la zonificación del área por clases sociales se hace menor. Por decisión del gobierno central se inicia el estudio “Esquema de Desarrollo de Varadero en el año 2000” y, paralelamente, fue aprobado el plan quinquenal, dirigido a la construcción de nuevos edificios y habitaciones. En este estudio se evaluaba el potencial natural de Varadero para la explotación turística y daba elementos para la localización de numerosas inversiones con un interés similar, así como pretendía contribuir al desarrollo de la península con base en criterios de ordenamiento territorial y una controlada explotación de los recursos naturales.

Se puso en ejecución el “Plan Director para el Desarrollo Integral de Varadero” y fueron demolidas algunas viviendas en mal estado que se ubicaban sobre la duna. En el año 1985, el huracán Kate afectó la península, provocando penetraciones del mar, inundaciones e importantes daños, aunque las consecuencias de este fueron menores que las de 1933.

Período 1990-1998

Este período se inicia con la intención de desarrollar intensamente Varadero a través del capital cubano y foráneo disponible para inversiones. En 1995 había 17 nuevos hoteles en funcionamiento y la estructura de asentamientos sobre islotes urbanizados se transformó en tan sólo cinco años (fig. 6). Apareció la Ley de Regulación de la Vivienda y ello significó que todo el nuevo desarrollo poblacional se tradujera en una mejoría para los residentes, tanto por los nuevos empleos como por la renta de las viviendas o habitaciones y el mejoramiento de la calidad de la vivienda en el territorio.



Fig. 6. Transformaciones urbanas período 1990-1998.

Este desarrollo inversionista se llevó a cabo paralelamente con un desarrollo de la dimensión medioambiental en todo el país, con un mejor manejo del entorno. Apareció la Oficina de Manejo de la Playa, con un rol protagónico en la conservación de la playa como escenario donde se desarrolla el turismo y la recreación, fuerza motriz de todo el proceso de urbanización en este territorio. Esta oficina inició, y mantiene desde entonces, un programa dirigido a la conservación del medio, a la preservación del territorio y a la sustentabilidad del desarrollo en el polo. En este período aumentó el consumo del agua y electricidad, asociado con una mayor explotación turística, y contribuyó a ello, particularmente, la construcción del campo de golf. Para minimizar estos impactos, fueron tomadas medidas a partir de los estudios de inversión previos.

En esta fase se produjeron los huracanes Lily y George, que ocasionaron algunos daños de moderada importancia.

Hacia el final del período, la mayor inversión en beneficio de la playa fue llevada a cabo y dirigida por la Oficina de Playa, la que realizó un vertimiento de un millón de metros cúbicos de arena, con resultados muy favorables para la conservación de la playa y el rescate de áreas perdidas por el proceso erosivo de los últimos años.

Período 1998-Actualidad

Continúa el fomento acelerado del turismo en la zona, con una capacidad de alojamiento de 15.000 habitaciones que por año reciben más de 600.000 turistas extranjeros. Aparejado a esto hay una explosión del turismo nacional, fundamentalmente en los meses de verano.

A su vez, prosigue la aplicación de políticas medioambientales como respuesta al aumento de la conciencia ecologista que alcanzó su clímax en el período anterior. Prueba de esto es el Programa de Manejo de Playa que aplica conceptos, principios y experiencias del manejo integrado costero y del desarrollo sostenible. Además, el programa trabaja en la conservación, rescate y sustentabilidad de la playa. Otros eventos evidentes de una mayor y más completa aplicación de la dimensión ambiental en el territorio son la creación de la Reserva Ecológica en la parte norte de la península, un espacio en el que se practica, de manera planificada y regulada, el turismo natural. Aquí también se encuentra el Centro de Servicios Ambientales, rector de los servicios medioambientales en el territorio.

La actividad de gestión y control medioambiental en la provincia logra también un nivel superior de ejecución, y se refleja en los resultados que tiene una expresión directa en el manejo y control del polo turístico. Se alcanza un mayor desarrollo de la arquitectura, en función del aprovechamiento de las potencialidades del entorno (fig. 7).



Fig. 7. Hotel Meliá Varadero. Su forma de pétalos le permite aprovechar casi todos los rumbos de viento para su refrescamiento natural. Su patio interior se convierte en una "chimenea", por la que se expulsa el aire caliente. Las paredes del patio interior se encuentran cubiertas de vegetación colgante, lo que absorbe calor en el proceso de evapotranspiración. A través de las puertas de los pétalos, penetra un aire más fresco, manteniendo una ventilación que resulta en una temperatura más confortable durante la mayor parte del año (Fuente: CIGET).

El desarrollo alcanzado por el plan director es una muestra fehaciente de la relación entre el proceso inversionista y el cuidado del medioambiente. Con la aplicación de un análisis integrado y el uso de técnicas y herramientas novedosas, se garantiza la sustentabilidad del polo de Varadero.

En el año 2001 el huracán Michelle atravesó el territorio provincial. Los vientos registrados en el polo superaron los 100 km/h en esa ocasión. Esto provocó daños en la infraestructura constructiva, destrozos de árboles, un intenso proceso erosivo en la playa, el deterioro de los servicios de electricidad y agua y otros efectos menores. El trabajo integrado de meteorología, defensa civil, gobierno, organismos y población en general evitó que este huracán, el más intenso que afectó al territorio en los últimos 50 años hasta 2001, provocara daños mayores y que hubiera que lamentar la pérdida de vidas humanas.

Se incrementa el uso de las playas tanto por turistas extranjeros como por nacionales. Esto provoca la sobreexplotación en algunos tramos de playa donde, en ocasiones, se supera la capacidad de carga del ecosistema y en un mismo lapso, se ha llegado a identificar picos de más de 60.000 turistas en la península. Otro efecto derivado de la abundante población turística estacional, es el aumento en el consumo de agua y electricidad, significativo pero no crítico.

Por otra parte, la tecnología empleada para la limpieza de playa no es la más adecuada y favorece la erosión eólica, hídrica y laminar, al hacer menos compacta y más friable la arena.

Surge también ENERGAS, planta que toma los residuales de la extracción petrolera y lo convierte en energía eléctrica y en materia prima para otros procesos industriales.

La producción de energía de esta planta apoya la satisfacción de energía eléctrica en el polo y favorece otras actividades con el suministro de gas natural, combustible menos contaminante.

Por último, comienzan los estudios de cambio global medioambiental en el polo, con un primer acercamiento del cambio climático en el territorio y el desarrollo de proyectos de investigación dirigidos a la disminución de las vulnerabilidades y a la adaptación ante los cambios esperados.

Perspectivas futuras de desarrollo

Para los próximos años se anticipa el impulso de Varadero sobre la base de la aplicación científico-técnica de principios de sustentabilidad.

La nueva zona de desarrollo se concentra en la sección más septentrional de la península y prevé un crecimiento de hasta 25.000 habitaciones y de un millón de turistas por año (Cabrera 2000), lo que repercutirá positivamente en el incremento de los ingresos en el territorio y en la creación de nuevos puestos de trabajos. También se pronostica un aumento de la superficie edificada y la consecuente pérdida de espacios verdes. Como atenuante a esta situación, se desarrollan áreas de jardines alternadas con las nuevas construcciones.

Los consumos de agua y electricidad continuarán creciendo, así como la cantidad de residuales asociados con la actividad turística.

El desarrollo futuro de la paya, signado por la prioridad de su conservación es, desde ya, una realidad que alcanzará niveles superiores de ejecución con la inclusión de novedosas concepciones tecnológicas y herramientas de manejo costero integrado. Los criterios de sostenibilidad han perneado, al punto de que uno de los objetivos a mediano plazo es la promoción de una arquitectura que busque la armonía con el medioambiente.

Escenarios Climáticos Futuros

La suficientemente extensa ausencia de una serie de mediciones meteorológicas en la zona de estudio dificulta poder hacer una valoración local del efecto del calentamiento global, pero se han identificado manifestaciones que muestran una tendencia en esa dirección y se cuenta con resultados de escala mayor, que incluyen a la isla de Cuba. Se tiene, por ejemplo, que hay anomalías en el comportamiento de algunas variables meteorológicas, principalmente la temperatura y la precipitación. Pese a que esas variables no representan un cambio integral de las condiciones climáticas, revelan una variación tendenciosa en el comportamiento normal del clima (Centelles 1999). En el primer caso, los valores de temperatura en las primeras horas de la mañana han mostrado un incremento en los últimos años y esto, unido a un crecimiento en menor magnitud de la temperatura en horas de la tarde, manifiesta una disminución de la amplitud térmica diaria.

Por su parte, en el análisis multianual de la precipitación se aprecia un aumento en los acumulados en el período conocido como “poco lluvioso”, asociado fundamentalmente al invierno del hemisferio norte, así como un decrecimiento de los acumulados en el período lluvioso que coincide con el verano del mismo hemisferio. La variación en el régimen pluviométrico se asocia con un incremento en la frecuencia de ocurrencia de eventos ENSO de fase positiva (El Niño o ENOS). El análisis muestra un aumento en la ocurrencia e intensidad de eventos de sequía.

En resumen, en la última década se aprecia un período más cálido, con aumento de la temperatura media entre 0.4 C° y 0.6 C°, y una disminución de la amplitud térmica diurna así como el crecimiento de acumulados de lluvia en el período poco lluvioso y una mayor ocurrencia de sequías.

Existe una gran incertidumbre sobre la futura evolución del clima en la zona. Entre otras condiciones, se consideran las siguientes (Moya 2001, 2003):

- Aumento de la temperatura
- Crecimiento del nivel mar
- Aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías
- Eventos de intensas precipitaciones
- Aumento en la intensidad y ocurrencia de tormentas tropicales y subtropicales

Los modelos del IPCC no están exentos de esas incertidumbres (UNFCCC 2001, Moya 2002 en IHDW) ya que muestran variaciones en el comportamiento del clima, principalmente en la temperatura como así también, un incremento del nivel medio del mar en los próximos años.

Se toman los modelos utilizados en la Primera Comunicación de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), donde utilizando el modelo climático simple MAGICC y un generador de escenarios SCENGEN, se obtuvieron los escenarios IS92a y KYOTOA1 para proyecciones de calentamiento global y ascenso del nivel medio del mar en los diferentes niveles de sensibilidad climática (1.5 C°, 2.5 C° y 4.5 C°). Parte de los resultados de esa modelación se aprecia en las tablas siguientes (tablas 1-3), que presentan los valores esperados de aumento de la temperatura respecto a 1990, para los años 2010, 2030, 2050, 2080 y 2100.

Tabla 1. Calentamiento global e incremento del nivel del mar y sensibilidad climática baja, media y alta, basado en los escenarios de emisión IS92a y KYOTOA1 en años seleccionados.

Esc. Emisión	Sens. Clim.	Calentamiento Global (°C)				Ascenso del Nivel del Mar (cm)			
		2010	2030	2050	2100	2010	2030	2050	2100
IS92a	Baja	0.34	0.63	0.96	1.72	1.68	4.68	8.87	22.79
	Media	0.47	0.90	1.38	2.52	4.85	12.63	23.30	55.20
	Alta	0.65	1.25	1.94	3.63	10.17	25.90	44.41	95.93
KYOTOA1	Baja	0.32	0.58	0.87	1.53	1.60	4.28	8.01	20.22
	Media	0.45	0.83	1.25	2.25	4.71	11.91	21.63	50.28
	Alta	0.61	1.15	1.77	3.26	9.93	24.70	42.2	89.67

Fuente: 1 Comunicación de Cuba para CMNUCC

Esc. Emisión: Escenario de emisión.

Sens. Clim.: Sensibilidad Climática.

Otros modelos difieren en la magnitud de los cambios, pero igualmente reportan variaciones.

La información resultante de los escenarios GSA2 2 se muestra en las tablas 2 y 3, en los cuales aparecen los valores esperados para el año 2020 y 2080 de temperatura media (Tt), temperatura máxima (Tx), temperatura mínima (Tn), en °C; precipitación, en mm; y radiación solar, en W/M**2. También aparece en las tablas la diferencia (Dif.) respecto a 1990. En el caso de la precipitación y la radiación la diferencia es expresada en porcentaje, respecto del valor del año 1990.

Tabla 2. Escenario Climático 2020 (según GSA2).

Meses	Tt - °C		Tx - °C		Tn - °C		Precipitación mm.		Radiación W/M**2	
	2020s	Dif.	2020s	Dif.	2020s	Dif.	2020s	Dif.	2020s	Dif.
MAM	25,44	1,27	27,87	1,3	23,25	1,29	2,315	98,9	266,55	99
JJA	27,09	1,42	29,25	1,52	25,35	1,35	3,968	94,6	272,91	102
SON	26,17	1,45	28,42	1,5	24,42	1,37	3,409	101,7	208,52	101
DEF	23,82	1,12	26,15	1,16	21,84	1,11	2,699	101,2	169,9	100
AN	25,63	1,31	27,92	1,37	23,71	1,28	3,097	98,7	229,47	100

Fuente: Temperatura media, máxima, mínima, precipitación y radiación; tomado de IHDW 2002.

MAM = Marzo, Abril, Mayo

JJA = Junio, Julio, Agosto

SON= Septiembre, Octubre, Noviembre

DEF = Diciembre, Enero, Febrero

AN = Anual

Tabla 3. Escenario Climático 2080.

Meses	Tt - °C		Tx - °C		Tn - °C		Precipitación mm.		Radiación W/M * 2	
	2080s	Dif	2080s	Dif	2080s	Dif	2080s	Dif.	2080s	Dif.
MAM	32,02	4,54	35,86	4,64	29,03	4,5	3,509	90,7	267,06	102
JJA	30,04	4,34	33,31	4,55	27,74	4,17	4,186	82,1	250,53	104
SON	30,73	4,16	33,9	4,25	28,44	4,15	5,433	100,7	237,77	101
DJF	32,41	4,33	36,08	4,42	29,17	4,51	2,863	102,6	238,16	99
ANN	31,3	4,34	34,79	4,47	28,6	4,34	3,998	93,2	248,38	101

Fuente: Temperatura media, máxima, mínima, precipitación y radiación; tomado de IHDW 2002.

MAM = Marzo, Abril, Mayo

JJA = Junio, Julio, Agosto

SON = Septiembre, Octubre, Noviembre

DEF = Diciembre, Enero, Febrero

AN = Anual

A la hora de considerar la variabilidad y el cambio del clima en Varadero se debe tener en cuenta la variabilidad multianual de la temporada ciclónica, en la que se alternan períodos de poco más de 25 años, con mayor y menor actividad de tormentas tropicales en la zona. El último de estos períodos comenzó alrededor del año 1995 y se espera sea un ciclo de gran actividad que debería prolongarse aproximadamente hasta el año 2022.

Aunque no hay evidencias de la acción del cambio climático sobre la actividad ciclónica en la zona, se debe considerar el impacto que, sobre la ocurrencia e intensidad de los organismos, puede tener un aumento de las temperaturas con un mayor calentamiento, la disponibilidad de calor necesaria en las aguas del Caribe sería mayor y se reflejaría este "sobrecalentamiento" en dos sentidos: primero, en la magnitud de este calor en los meses de temporada ciclónica (mayores temperaturas en el Mar Caribe, Golfo de México y Estrecho de la Florida) y segundo, un aumento de la temperatura en los meses fuera de la temporada ciclónica. Estos aspectos pueden, teóricamente, influir sobre la intensidad de las tormentas tropicales, así como en su frecuencia de ocurrencia, considerando incluso la extensión de la temporada de exposición a los ciclones tropicales. Por lo tanto, los períodos de poca actividad, en los que suele ocurrir el impacto de un huracán en algo más de 25 años, podrían registrar más eventos ciclónicos con efectos importantes. Lo mismo ocurriría en los períodos pronosticados como de mayor actividad. Es decir, a causa de una mayor disponibilidad de calor en las aguas del Caribe, situación probable en el contexto de estos escenarios, los períodos de poca actividad ciclónica tendrían una transición hacia una actividad moderada,

Otro aspecto a tener en cuenta con los futuros escenarios climáticos en Varadero es el referido a la pérdida de costas por aumento del nivel del mar. Al ser Cuba una isla larga y estrecha, las brisas de la costa norte convergen con las de la costa sur en un punto interior del territorio insular. El hecho de que ellas se vean reforzadas por los alisios del

nordeste, hace que esta convergencia ocurra hacia el sur del centro de la provincia. La disponibilidad de calor, vapor de agua y convectividad en esta zona genera nubes que producen tormentas eléctricas y precipitaciones en el territorio provincial, y que llegan a Varadero sólo en pequeños períodos y por la tarde – noche. La pérdida de importantes espacios en la península de Zapata por aumento del nivel del mar, provocará un corrimiento de la línea de convergencia de las brisas más hacia el norte y esto tendrá un impacto aún impredecible sobre esta área. Se prevé un incremento en la exposición de Varadero a las nubes convectivas, las que se formarán más cerca de la península de Hicacos. Ello podría incidir en la ocurrencia de tormentas eléctricas, tormentas locales severas y precipitación en Varadero.

Vulnerabilidades

Si se analizan los aspectos físico-geográficos y socio-económicos dentro del que se incluye la evolución del proceso de urbanización, es evidente la vulnerabilidad de la península a los embates del hombre y la naturaleza.

Entre la vulnerabilidad natural del sistema tenemos su ubicación y geomorfología muy cerca del continente norteamericano y de la zona subtropical, con su forma estrecha con algo menos de dos kilómetros en su porción más ancha; su orientación suroeste - nordeste, así como también la amplitud superficial del fundamento arenoso, de cobertura edáfica poco desarrollada; el predominio de condiciones de extrema sequedad y un balance hídrico desfavorable, con un déficit superior a los 1.000 mm al año. Su relieve es llano, de poca altitud, con paisajes jóvenes, expuestos a tormentas tropicales y subtropicales y a la fuerte y persistente influencia de los vientos.

Todo lo anteriormente dicho permite entender que se trata de paisajes inestables y, por lo mismo, muy frágiles y susceptibles ante los impactos de la naturaleza y el hombre. En esto radica la vulnerabilidad natural del sistema (fig. 8)

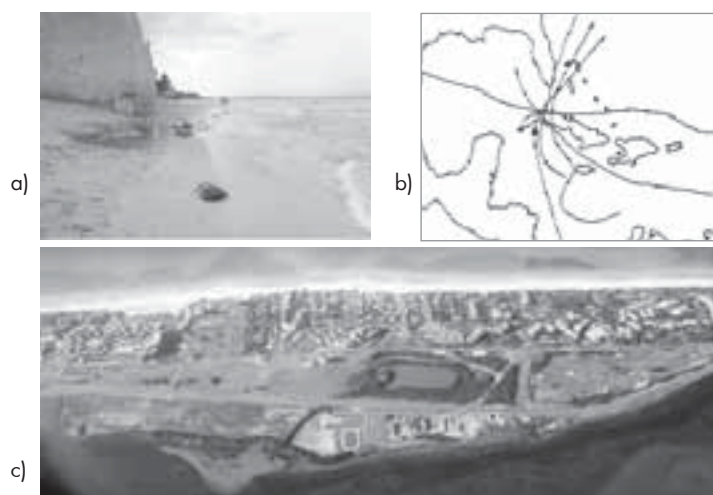


Fig. 8. Vulnerabilidad natural de la península.

a) Exposición a tormentas subtropicales, fuertes vientos y erosión marina y eólica. (Fuente CMP).

b) Exposición a tormentas tropicales. (Fuente CMP).

c) Poca altura sobre el nivel del mar, exposición a penetraciones del mar y alta salinidad, condiciones de sequedad y poca cobertura edáfica. (Fuente: Dr. Paul Geerders).

Como parte de la urbanización y explotación turística, surgen aspectos que también es preciso considerar debido a sus implicaciones para la vulnerabilidad del territorio. Entre los más relevantes, la fragmentación de los ecosistemas desde el comienzo del proceso de urbanización, la deforestación, tanto de la duna como del manglar, y la eliminación de vegetación autóctona. El establecimiento de construcciones sobre la duna y la introducción, en algunos casos de arquitectura de latitudes medias que no se ajusta a las condiciones tropicales imperantes durante casi todo el año en la península, agravan los efectos negativos en el ambiente. También puede citarse la extracción continua de arena para apoyar el intenso proceso constructivo en el país y la construcción de la autopista sur, que entre otros impactos negativos, llevó a la desaparición de áreas de manglares y a la perturbación del intercambio de flujos tierra-mar en la costa sur. Finalmente, la canalización de la laguna de Paso Malo, que transformó a la península en una especie de islote, con consecuencias sobre la biodiversidad y cambios en las corrientes y el aumento del consumo de electricidad y agua asociado al crecimiento de la infraestructura turística y de la cantidad de turistas recibidos cada año.

En este contexto, el elevado nivel de stress en los ecosistemas por el intenso proceso de antropogenización y el aumento de población e intereses económicos en zonas con riesgo de inundaciones, aumentaron la fragilidad, susceptibilidad y exposición, con una menor resistencia y capacidad de recuperación de los ecosistemas de la península (fig. 9).

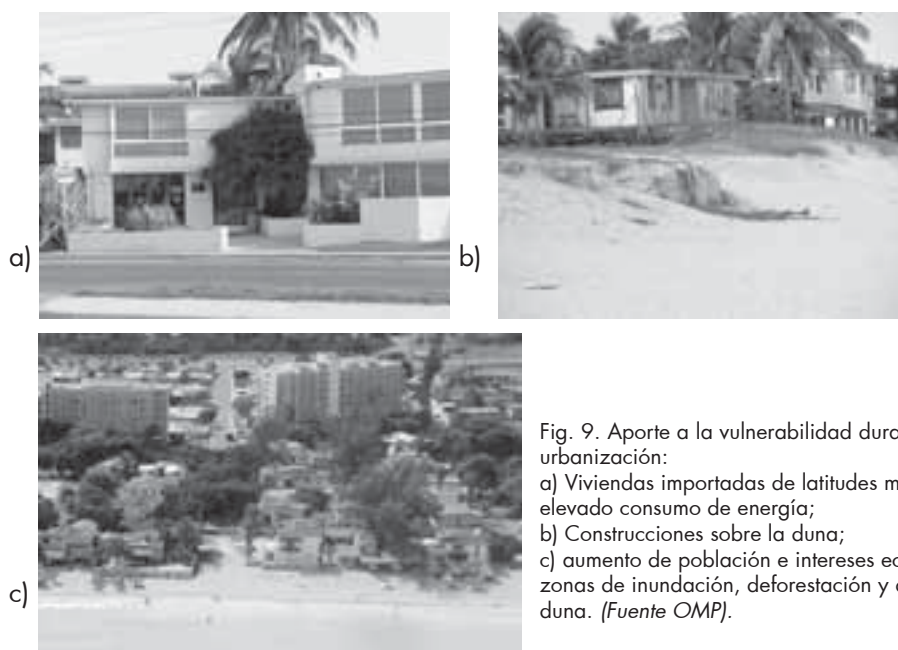


Fig. 9. Aporte a la vulnerabilidad durante el proceso de urbanización:

- a) Viviendas importadas de latitudes medias y altas con elevado consumo de energía;
- b) Construcciones sobre la duna;
- c) aumento de población e intereses económicos en zonas de inundación, deforestación y destrucción de la duna. (Fuente OMP).

Otras vulnerabilidades están asociadas al cambio climático y al nivel cognoscitivo e informativo de la población, tomadores de decisión y comunidad científica. Existe incertidumbre con respecto a qué pasará con el calentamiento global, qué respuesta tendrá la atmósfera, qué impactos provocará el cambio climático y qué efectos tendrá sobre el medioambiente, la sociedad y la economía. De igual modo, el desconocimiento sobre algunos aspectos de la

dinámica de la playa, transporte de sedimentos, procesos de acumulación, etc., son temas pendientes de estudio y discusión.

Impactos y efectos

Las variaciones en el comportamiento del clima que involucran la variabilidad natural del sistema y el aporte humano, provocarán una serie de impactos y efectos sobre la península. Entre esos impactos potenciales tenemos:

- Efectos sobre las especies marinas por calentamiento de las aguas y cambios en los ecosistemas costeros. Algunos ejemplos son evidentes, tal el caso de la colonia de algas que se encuentra en la Bahía de Cárdenas, que ha estado expuesta a un alto nivel de stress y se ha constatado la disminución de su población debido, fundamentalmente, a la contaminación en la Bahía. El calentamiento de las aguas unido a la disminución de nutrientes, provocará un efecto añadido sobre la estresada comunidad de algas, la que puede llegar a desaparecer según sea la magnitud del cambio. Las algas de esta colonia contribuyen de manera decisiva al proceso de formación de las arenas en la playa de Varadero. Al desaparecer ellas, dicho proceso será alterado en una dimensión imposible de precisar.
- Pérdidas de espacios por invasión marina. El aumento del nivel del mar traerá consigo la invasión de las zonas más bajas por el mar (tabla 4).

Tabla 4. Pérdida de línea de costa, en metros, en diferentes playas de Varadero para 2030 y 2050 de acuerdo al ascenso de nivel del mar indicado en tabla 1.

Playas	Pérdida de la línea de costa en 2030 (m)	Pérdida de la línea de costa en 2050 (m)
Las Américas	4.59	8.33
Caney	6.09	11.05
Cosmonautas	8.97	16.28

Fuente: Proyecto de investigación Cambio climático en Varadero. Vulnerabilidad, impactos y adaptación y Primer Comunicación de Cuba para CMNUCC.

- Daños a los asentamientos humanos por pérdida de espacios, penetraciones del mar e inundaciones. Los asentamientos humanos en áreas con invasión marina prevista deberán reubicarse.
- Efectos sobre el recurso hídrico por causa de la sobreexplotación y la probabilidad de ser afectada por la intrusión salina y una mayor exposición a la salinización de los suelos cultivados cercanos. La sobreexplotación a la que están sometidas actualmente las fuentes de abastos, más el marcado déficit hídrico en la zona, favorecerán la

disminución y descenso del manto freático. Esto, unido al aumento del nivel del mar y la ubicación de la costa en una zona muy llana, aumenta la probabilidad de intrusión salina en las fuentes de abasto de agua dulce. Del mismo modo, los suelos cultivados en zonas bajas, que se ubican entre la costa y la fuente de abasto, aumentarán la exposición a la salinización.

- Pérdida de potencial turístico por aumento de temperatura y pérdida de playa (receptor/emisor). El aumento de la temperatura afectará las condiciones del complejo térmico en el polo, lo que repercutirá en las condiciones de confort, principalmente, para el turista que llega desde latitudes medias y altas. Otro aspecto a tener en cuenta es el aumento de las temperaturas en las fuentes emisoras de turistas, para el caso de Varadero, mayormente europeos y canadienses que viajan en el invierno del hemisferio norte, huyendo del fuerte frío invernal.
- Aumento de los procesos asociados con la erosión de la playa.
- Aumento de la exposición a tormentas. Los fenómenos de variabilidad climática como el aumento de tormentas tropicales en el Atlántico y Caribe, la mayor ocurrencia de eventos ENSO con su teleconexión en la zona, provocan, sobre la isla de Cuba, mayores afectaciones por ciclones tropicales en un caso y subtropicales en el otro. Son probables los cambios en la frecuencia e intensidad de las tormentas eléctricas y tormentas locales severas al moverse la línea de convergencia de las brisas. Las pérdidas de espacio en las costas norte y sur de la provincia (muy sensible en la costa sur) por aumento del nivel del mar, provoca un corrimiento de la línea de convergencia de las brisas, lo que implicará una variación en el comportamiento del clima en toda la provincia.
- Cambios en las condiciones medioambientales en que se desarrollan los patógenos. Las variaciones térmicas y de humedad, así como la transformación del entorno, podrían promover la aparición de patógenos o incrementar las poblaciones de vectores transmisores, lo que se reflejará en la incidencia de enfermedades (morbilidad) (fig. 10).

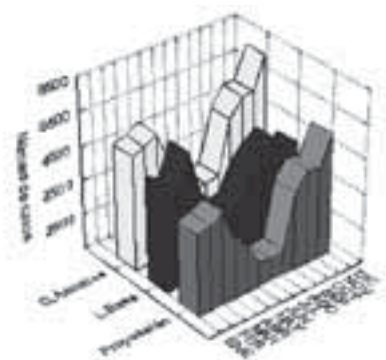


Fig. 10. Comportamiento de las asmas bronquiales en Cuba para el año 2010, respecto a la línea base (1961-1990) y a las condiciones actuales. (Cortesía: Dr. Paulo Ortiz Bultó).

- Aumento del riesgo de pérdidas humanas y económicas. Una mayor probabilidad de ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, a pesar del desarrollo y efectividad que ha mostrado el sistema de Defensa Civil, constituye un aumento del peligro que, unido a la vulnerabilidad, provoca un crecimiento del riesgo de daños y pérdidas de vidas humanas, económicas y sobre el ambiente natural.

Adaptación

La vulnerabilidad de la zona e irreversibilidad del cambio climático y sus efectos sobre el medio, así como la evolución socio-económica y medioambiental en el polo y la necesidad de proteger, en primer lugar, las vidas humanas y luego las riquezas económicas, naturales y sociales, son todos elementos que justifican y urgen el desarrollo de una estrategia de adaptación ante futuros escenarios.

Como primer paso se trabaja en la elaboración de un programa en el cual aparezcan medidas de adaptación y mecanismos para llevarla a efecto, así como también, el monitoreo de su aplicación y resultados. Este programa de medidas debe ser desarrollado de manera integral e incluir los criterios de científicos, especialistas y tomadores de decisión, así como el planeamiento físico, el manejo de la playa, la actividad turística y otras actividades económicas; la salud, la arquitectura, el paisajismo, la ecología, el gobierno y la población.

Dentro de este programa deben abordarse pautas de retroceso, de acomodamiento y de protección. En el primer caso, dirigidas al abandono de actividades y espacios; en el segundo, a medidas que permitan la existencia en los nuevos escenarios y sus impactos y en el tercero, a disminuir las vulnerabilidades fortaleciendo la defensa de las zonas.

Como ejemplo de las medidas de retroceso se pueden citar:

1. Demolición de las construcciones sobre la duna respetando el valor patrimonial del asentamiento y el reasentamiento de habitantes (es también una medida de protección). Esto evita la exposición de construcciones sobre la duna a las penetraciones del mar e incluso al contacto directo con éste, cuando el proceso erosivo ha sido intenso y se producen las destrucciones de las casas por la invasión del mar, lo que en la costa norte está asociado con la llegada de frentes fríos desde el continente norteamericano. También protege la duna porque disminuye la erosión y resalta la función de defensa de playa que le corresponde.
2. Disminución paulatina de la población e intereses económicos en zonas expuestas a inundaciones. Esta medida disminuye la exposición de la población a inundaciones y penetraciones del mar en áreas con riesgo.

Dentro de las medidas de acomodamiento puede mencionarse:

1. Diversificación de la oferta turística. Con la disminución del potencial turístico de sol y playa y la necesidad de mantener los ingresos económicos producidos por la actividad turística, se debe abrir otras ofertas menos dependientes de la playa y la actividad en exteriores. Entre ellas, es factible contemplar el turismo cultural, docente, histórico y natural (fig. 11).



Fig. 11. Ejemplo de potencialidades de turismo arqueológico en la zona. (Fuente CISAM).

2. Regulación del uso del agua (protección). La sobreexplotación de las fuentes de abastos obliga al ahorro del recurso que debe acomodarse a los escenarios futuros. Por ello, medidas de regulación del consumo, aumento de precios, reaprovechamiento de las aguas de regadío, etc., favorecerían una explotación racional de la fuentes de abastos.
3. Manejo integrado costero. La aplicación del manejo integrado costero, expresado en el manejo de la playa, sirve de marco a la aplicación de medidas de adaptación que permitan un enfrentamiento menos traumático con los escenarios de cambio.
4. Desarrollo de una arquitectura en armonía con el medio. La aplicación de una arquitectura en armonía con el medio permite que los impactos del cambio sean mitigados. Por ejemplo, casas con buenas condiciones de ventilación mitigarían los efectos de un aumento de la temperatura, construcciones resistentes a los eventos meteorológicos extremos, inundaciones y aumento de la temperatura que faciliten el ahorro de electricidad y agua.
5. Mantener el sistema de Defensa Civil. La Defensa Civil garantiza el cuidado de la población y la protección de los bienes. El sistema desarrollado en el país ha tenido buenos resultados disminuyendo sensiblemente las pérdidas de vidas humanas ante las adversidades meteorológicas y salvaguardando los intereses materiales. Continuar con la correcta aplicación de este sistema favorece el enfrentamiento a los cambios medioambientales.
6. Mejoramientos de los servicios meteorológicos y las alertas tempranas.

Dentro de las medidas de protección se ubican:

1. Repoblamiento forestal de las dunas. La forestación y siembra en la duna favorece la retención de arena y la protege de la acción del viento e incluso del agua, disminuyendo el proceso erosivo.
2. Rescate de la vegetación autóctona. La vegetación autóctona es una vegetación adaptada a las condiciones de sequedad, salinidad y cobertura edáfica y por tanto, es una vegetación menos vulnerable a las condiciones del territorio que ha alcanzado un equilibrio ecológico con su territorio afín.
3. Rescate de manglares. Los manglares juegan un importante papel en la defensa ante el cambio global medioambiental, desde sus funciones como hábitat de especies hasta las de protector de las costas contra la penetración del mar.
4. Vertimiento y mantenimiento de la playa. El estado de afectación de la playa, producto de la actividad del hombre, ha favorecido los procesos erosivos y provocado la necesidad de realizar vertimientos de arena y mantenimientos para garantizar sus niveles mínimos. La aplicación de mecanismos afines de limpieza de playa, mediante técnicas menos impactantes, protegerá la playa de los embates del aire y agua. Ello, unido a otras tareas de mantenimiento y atención a la playa, permitirá una mejor defensa ante el aumento del nivel y las penetraciones del mar, así como ante las inundaciones.
5. Preservación de las áreas naturales bajo alguna categoría de protección. La preservación de las áreas naturales bajo régimen de protección permitirá desarrollar, de una manera más controlada, los planes integrales de manejo que repercutirán en la conservación de estos espacios naturales, y favorecerá sus funciones de defensa ante los impactos naturales y humanos.
6. Regulación de la capacidad de carga de la playa. El uso de los espacios de playa por encima de su capacidad de carga genera efectos perniciosos directos sobre la compactación de las arenas, y facilita el proceso erosivo en estos espacios.
7. Un Plan Director flexible que acepte medidas de adaptación al CGM. El Plan Director como rector del desarrollo del polo turístico, enriquecido en los últimos años con criterios de sustentabilidad, debe incluir el programa de adaptación. Ese programa debe ser monitoreado y mejorado en la medida en que se obtengan resultados de su aplicación. Ello contribuirá a que la estructura del Plan Director sea aplicable y funcional.

Conclusiones

Las condiciones físico-geográficas de la península hacen de ella un espacio vulnerable al cambio global del medioambiente. Las condiciones de extrema sequedad, alta salinidad, la fuerte y persistente influencia de los vientos y poco desarrollo de la cobertura edáfica, la presencia dominante del relieve llano y de sus formas estrechamente asociadas a los procesos de interacción tierra-mar, la poca altura sobre el nivel del mar, hacen que la zona sea frágil y susceptible ante los impactos de la naturaleza y el ser humano. Su situación geográfica agrava también la exposición a ciclones tropicales y subtropicales severos. En esto radica la vulnerabilidad natural del sistema.

Un intenso proceso de antropogenización se desarrolla en ese espacio vulnerable desde finales del Siglo XIX y ha acentuado la vulnerabilidad del territorio. Construcciones y deforestación en la duna, extracción de arena, la construcción del canal de Paso de Malo, la Autopista Sur, el campo de golf, la introducción de arquitectura importada de otras latitudes, el desarrollo de asentamientos urbanos e intereses económicos en zonas de riesgo a inundaciones y penetraciones del mar, son algunos de las causas que ayudan a explicar la vulnerabilidad de Varadero a eventos climáticos.

El poco crecimiento y el envejecimiento de la población es otra condición importante para tener en cuenta en el incremento de la vulnerabilidad de orden social.

El elevado nivel cultural unido a la calidad de la atención médica que recibe la población y al sistema de defensa civil, constituye una fortaleza para enfrentar el cambio climático en el territorio.

El clima del territorio, según los modelos, tendrá escenarios variables que podrán incluir períodos de mayor actividad de tormentas tropicales en el área.

Varadero enfrenta una serie de impactos sociales, económicos y medioambientales que constituyen un reto impostergable. La situación anterior obliga al desarrollo de una estrategia de adaptación para enfrentar a los escenarios futuros, pero también a los peligros del presente: naturales y antrópicos. Estrategia de adaptación que se concibe integral y holística, donde se abordan los problemas con salidas y medidas para todos los tomadores de decisión, sectores y grupos involucrados y población en general.

Referencias

Alfonso, A. y Florido, A. 1992. *El Clima de Matanzas*. Editorial Academia, Matanzas, Cuba. 124 pp.

Cabrera, A. 1999. *Los Paisajes Geográficos de la Península de Hicacos: Una Visión Integrada de la Naturaleza y las Geotransformaciones Humanas*. Habana, Cuba.

Cabrera, A. 2000. *Política de Desarrollo de Varadero*. Capítulo Medioambiente. Ministerio de Turismo, Varadero, Cuba.

CESIGMA SA (Oficina de Inversiones Varadero). 1998. *Diagnóstico de Playa Varadero*. Varadero, Cuba.

Centelles, A. 1999. *Cambio Climático e Impactos*. Reunión Nacional de Clima. Ciego de Ávila, Cuba.

Gobierno de Cuba Cuba. 2001. *Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC)*. Havana, Cuba.

IHDW (International Human Dimensions Workshop). 2002. *Urbanization and the Transition to Sustainability*. Bonn, Germany. Junio 2–15, 2002. International Human Dimensions Programme. (<http://www.ihdp.uni-bonn.de/ihdw02/index.htm>).

Moya, B. 2001. *Clima y Turismo*. Centro Nacional del Clima. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

Moya, B. 2002. *Climate Change in Varadero, a Prime Tourist Destination of the Caribbean*. Presentation at IHDW 2002, Bonn, Germany.

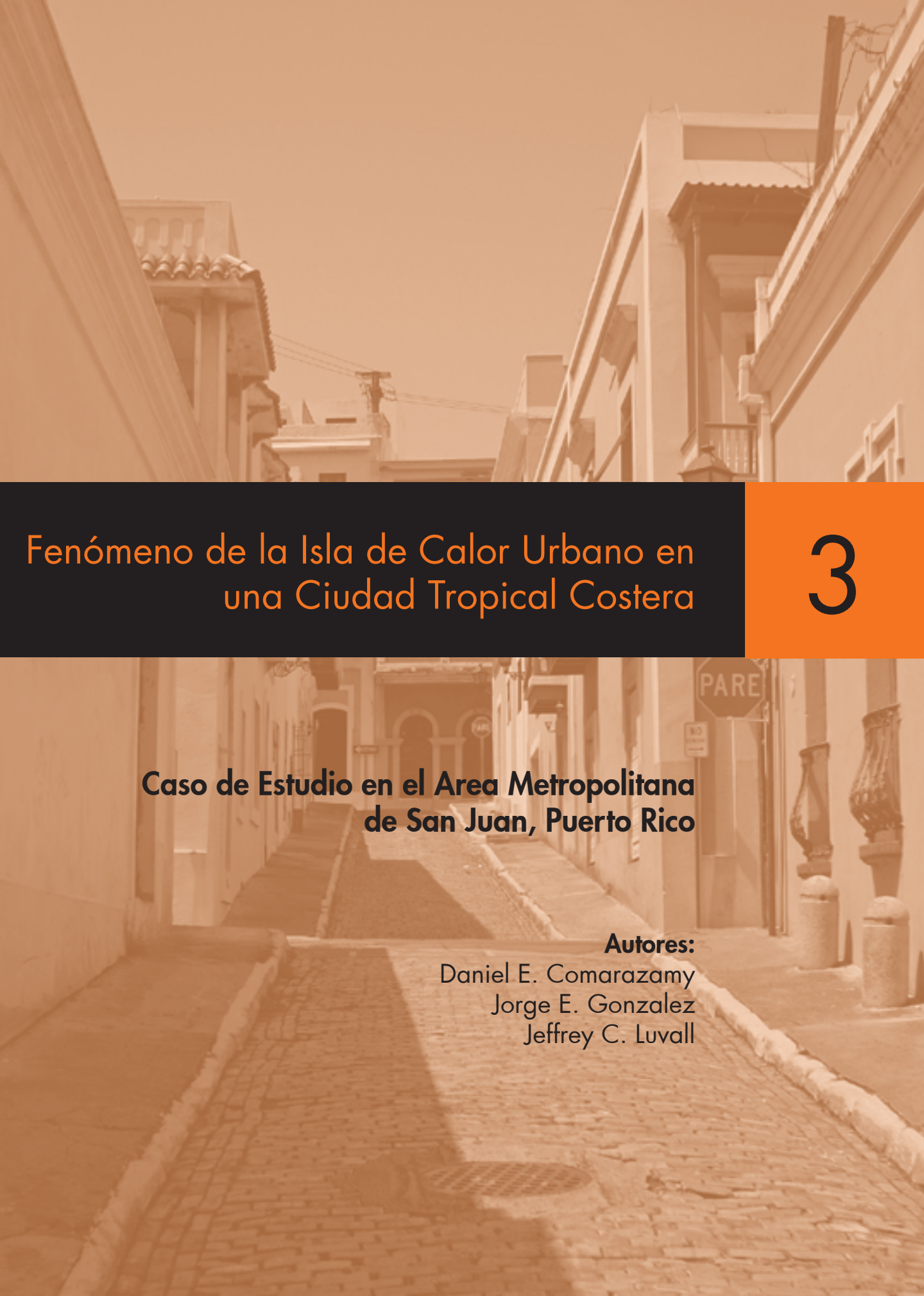
Moya, B. 2003. *Uso del Recurso Natural Clima para el Manejo Integrado del Turismo en Varadero*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

ONE (Oficina Nacional de Estadística). 1995. *Memorias, Censo de Población y Viviendas de Varadero*. Oficina Provincial de Matanzas, La Habana, Cuba.

Ortiz, P., Guevara, V., Pérez, A., Díaz, M. 1998. *A bioclimatic index to evaluate the impacts of climate change in health*. Informe de investigación. Instituto de Meteorología (INSMET), La Habana, Cuba.

Rojó, J. 1998. *El Desarrollo Urbanístico del Antiguo Poblado de Varadero y su Papel como Segundo Polo Turístico en Cuba*. IV Conferencia Internacional de Vivienda y Urbanismo. La Habana, Cuba.

Rojó, J. 1999. *Reflexiones Acerca de los Códigos Urbano — Arquitectónicos y Ambientales en el Varadero Histórico*. Encuentro internacional sobre planeamiento territorial del turismo. La Habana, Cuba.



Fenómeno de la Isla de Calor Urbano en una Ciudad Tropical Costera

3

Caso de Estudio en el Area Metropolitana de San Juan, Puerto Rico

Autores:

Daniel E. Comarazamy
Jorge E. Gonzalez
Jeffrey C. Luvall

Durante el desarrollo de la campaña experimental denominada Misión Atlas, llevada a cabo en el área metropolitana del San Juan y sus alrededores, un número de estaciones meteorológicas superficiales y de sensores de temperatura fueron desplegados en la zona de estudio.

Las estaciones y los sensores fueron instalados en localidades estratégicas para observar variaciones climáticas a través de los paisajes urbanos y rurales. Diagramas de la serie de tiempo de los datos de las estaciones y sensores demuestran que las áreas comerciales pesadamente urbanizadas (con mayor densidad de concreto y demás materiales de construcción) tienen temperatura del aire más altas que áreas residenciales urbanas y suburbanas, y temperaturas mucho más altas que áreas rurales.

Las diferencias de temperatura [$dT(U-R)$] fueron obtenidas restando los valores de varias estaciones/sensores de aquellos de una estación urbana tomada como referencia, situada en el área comercial de San Juan. La serie de tiempo $dT(U-R)$ demuestra que la Isla de Calor Urbano (ICU) presenta sus picos durante la mañana, entre las diez de la mañana y el mediodía a un promedio de 4.5 °C de diferencia entre la ciudad y las zonas rurales. Esto es un patrón temporal no observado previamente en estudios similares para ciudades continentales.

También se observa una alta variabilidad de la ICU con los patrones de la precipitación, incluso para acontecimientos cortos. Estos resultados pueden ser una reflexión de una densidad grande de la utilización del suelo por edificios bajos con una ausencia evidente de los efectos significativos del almacenaje de calor en las áreas urbanas, y la importancia de la humedad circundante del suelo y de la vegetación en controlar el clima urbano. También se presentan resultados de un análisis numérico realizado para cuantificar el impacto del uso y cubierta de la tierra por las ciudades sobre diversas variables atmosféricas y estudiar la reacción de la atmósfera a la presencia de un centro urbano importante.

Introducción

Es difícil imaginarse que las ciudades en las islas tropicales pequeñas no están exentas de efectos del cambio del clima locales similares a los de las grandes ciudades continentales. Imagine, por ejemplo, a la borrascosa Honolulu en el archipiélago de Hawai, mostrando tendencias de calentamiento similares a las de ciudades como Los Ángeles o Ciudad de México.

Asombrosamente, descubrimos recientemente que éste es el caso para la ciudad de San Juan, Puerto Rico, una ciudad tropical costera relativamente afluyente de cerca de 2 millones de habitantes que está creciendo rápidamente ocupando las áreas que una vez fueron rurales alrededor de ella. Hasta hace poco tiempo el área del bosque alrededor del área metropolitana de San Juan se recuperaba de la tala de árboles del pasado. Sin embargo, la extensión rápida de las áreas urbanas ha dado lugar a la pérdida de mucha del área reforestada en años recientes. Un análisis climatológico de la temperatura superficial ha revelado que la temperatura superficial de San Juan está aumentando sobre las áreas vegetadas circundantes en un índice de 0.06°C cada año por los últimos treinta años.

Esto representa una tendencia que pueda ser comparable con el otro cambio regional del clima inducido por el calentamiento global. Estos resultados animaron el planeamiento y la ejecución de una campaña de campo intensa en Febrero 2004 a la que se denominó como la Misión Atlas de San Juan. El principal objetivo científico de dicha campaña de campo era investigar el impacto de la urbanización rápida en el clima local. La campaña incluyó observaciones de detección remota desde un avión, lanzamientos de globos meteorológicos, y datos de una red de estaciones meteorológicas y de sensores de temperatura del aire desplegados en la superficie urbana y sus alrededores.

Este artículo se centra en la información proporcionada por los sensores de tierra durante la Misión Atlas de San Juan, y en resultados de simulaciones realizadas con un modelo numérico de la atmósfera que demuestran el impacto que tiene el área metropolitana de San Juan en diferentes variables climáticas locales.

Urbanización y la Isla de Calor Urbano (ICU)

La urbanización es un caso extremo del cambio de la utilización del suelo. Aunque solamente 1.2% de la superficie de la tierra es actualmente urbano, contiene sobre la mitad de la población con una tendencia de aumento para la cobertura y la densidad espaciales. Se estima que para el año 2025, el 60% de la población del mundo vivirán en las ciudades (UNFP 1999). La actividad humana en ambientes urbanos tiene impactos en la escala local, como por ejemplo, cambiando la composición atmosférica, afectando componentes del ciclo del agua, y modificando ecosistemas. Sin embargo, nuestra comprensión de la urbanización en el sistema total de Tierra-clima es incompleta, pero importante para determinar cómo los componentes atmósfera-océano-tierra-biosfera de la Tierra obran recíprocamente como sistema acoplado. El indicador local más claro de los cambios del clima debido a la urbanización es una circulación convectiva urbano/rural conocida como islas de calor urbano (ICU).

La isla de calor urbano se define como un domo de elevadas temperaturas observadas sobre los centros urbanos al ser comparadas con las temperaturas mas bajas de los alrededores rurales (fig. 1). Estos contrastes de temperaturas son más grandes en condiciones claras y tranquilas, y tienden a desaparecer en tiempo nublado y ventoso por efectos de mezcla térmica y mecánica.

Entre los factores que propician la formación de una isla de calor están el uso intensivo de diversos materiales de construcción, principalmente del concreto y asfalto, aunque también incluyen metales, cristales, entre otros. Estos materiales de construcción poseen una inercia térmica mucho mayor que superficies naturales cubiertas por vegetación, lo que conlleva a las grandes diferencias de temperatura durante las primeras horas de la noche cuando toda la energía almacenada durante las horas de sol es liberada a la atmósfera baja sobre las ciudades.

El balance de energía es afectado de manera significativa, y se refleja en una disminución de la radiación solar reflejada, un aumento en la energía infrarroja emitida, disminuye el flujo de calor latente hacia la atmósfera mientras aumenta el flujo de calor sensible, e incrementa el termino de almacenamiento de calor, además que se añade a la expresión el termino de calor antropogénico.

Las superficies pavimentadas evitan que la precipitación penetre al suelo y subsuelo, el aumento en la cantidad de agua que se desliza por estas crean el peligro de posibles inundaciones rápidas en los centros urbanos, lo que a su vez conlleva a que haya menos humedad disponible en las áreas verdes dentro de las ciudades para la evaporación y transpiración, fenómeno natural que tiene un efecto de enfriamiento radiativo del aire. Otro efecto que es poco entendido es el que tienen las grandes superficies verticales y las formas geométricas del panorama urbano que crean lo que se conoce como el efecto de cañón. En los espacios entre los edificios, la radiación de onda larga emitida por la superficie en

horas de la noche, es reflejada y absorbida por las paredes resultando en energía atrapada y temperaturas más altas. La topografía urbana también interrumpe el flujo natural del viento creando una pérdida de calor menor.

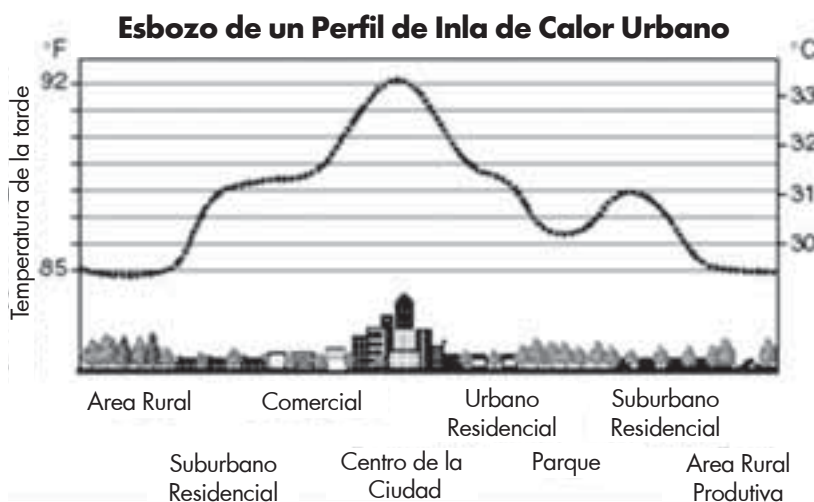


Fig. 1. Esquemático del perfil de temperaturas típicamente observado en los grandes centros urbanos del planeta. (Cortesía del Laboratorio Lawrence-Berkeley).

Entre los principales problemas y peligros inducidos por la isla de calor urbano se encuentran la pobre calidad del aire mayormente producida por las industrias y los gases residuales de la combustión, el prolongamiento e intensificación de las ondas de calor en las ciudades, peligros para la salud pública, altos consumos de energía debido al incremento en la demanda de acondicionadores de aire. Ese elevado consumo de energía contribuye a su vez al calentamiento global a través de las plantas eléctricas que producen las mismas. Se estima que cada kilovatio hora de electricidad consumida puede producir hasta 1.15 kilos de dióxido de carbono (CO_2), el principal gas antropogénico que contribuye al efecto de invernadero y al calentamiento global (fuente: Oak Ridge National Laboratory).

Efectos de ICU de diversas magnitudes han sido reportados para un número de ciudades (Landsberg 1981, Tso 1996, Jáuregui 1997, Gallo et al. 1993, Lo et al. 1997, Bornstein & Lin 2000, Noto 1996, Poreh 1996). Aunque cada ciudad se expone a diversos factores locales y sinópticos, que hace que el estudio de la ICU sea complejo y específico de la localidad, el patrón general es igual.

Varios estudios de observación y climatológicos han concluido que la ICU puede tener una influencia significativa en circulaciones de meso-escala y la convección que resulta. Un efecto importante de las grandes ciudades alrededor del mundo que esta siendo recientemente estudiado, es el de la precipitación inducida por la isla de calor.

Estudios pasados han sugerido tres factores principales como las posibles causas de anomalías en los patrones de precipitación inducidas por centros urbanos. Los mismos son: mezcla y turbulencia mecánica como resultado del incremento de la rugosidad de la superficie (z_0) debido a la topografía urbana, la adición de calor sensible por el aire calido

que asciende de la ciudad, y los núcleos de condensación de nubes antropogénicos que están flotando en el aire urbano. También se ha observado que las ciudades, dependiendo de las características de las tormentas que se aproximan a las mismas, tienden a bifurcar los sistemas de precipitación debido al efecto de barrera que ejercen los edificios. Este tipo de investigaciones han sido llevadas a cabo en ciudades importantes incluyendo Houston, (Shepherd & Burian 2003), Ciudad de México (Jáuregui & Romales 1996), y Atlanta y Nueva York (Bornstein & Lin 2000).

Las investigaciones del impacto del cambio de la cubierta de tierra y de la utilización del suelo en regiones tropicales han sido muy limitadas y la campaña de campo de San Juan fue diseñada para satisfacer esta necesidad de conocimiento.

Como se menciono anteriormente, el estudio de caso de la isla de calor urbano en una ciudad tropical costera fue desarrollado en San Juan, Puerto Rico. El análisis de las características y patrones de dicho fenómeno se dividió en dos áreas de estudio: el análisis empírico de observaciones, y el análisis numérico.

El análisis de observaciones consiste en la obtención de datos de estaciones de superficie existentes en el Área Metropolitana de San Juan (AMSJ) durante los últimos 40 años y el despliegue de nuevas estaciones y sensores durante el periodo de la campaña Misión Atlas. Para el análisis numérico se valido un modelo atmosférico de escala regional y el mismo se configuró para las características de la zona de interés y diseñar así varios experimentos de simulaciones alrededor del AMSJ.

Análisis Empírico

Los objetivos principales del análisis empírico son determinar la extensión geográfica del Área Metropolitana de San Juan y de sus efectos en el ambiente, corroborar la existencia de una ICU centrada en la ciudad de San Juan, y reconocer las características típicas y determinantes de la ICU en el AMSJ.

Para cumplir con el primer objetivo se analizó una imagen aérea tomada por una cámara fotográfica aerotransportada del AMSJ en el año 1993 (fig. 2). La misma fue realizada por el Centro de Investigaciones Ames de la NASA en California. De esta imagen se determinó una extensión total de San Juan de 310 km² para la época en que fue tomada, esta información es de suma importancia para el diseño de las simulaciones numéricas que se expondrán mas adelante. Se estima que el área de cobertura urbana haya crecido significativamente durante los últimos 10 años, y parte del trabajo de la Misión Atlas servirá para determinar su actual extensión.

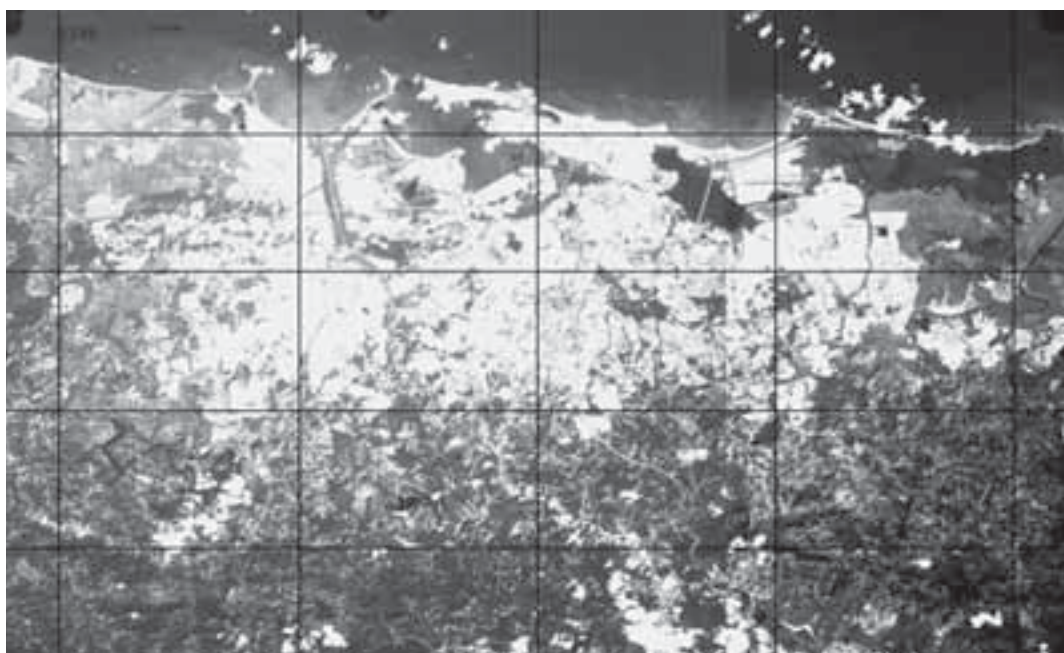


Fig. 2. Imagen aérea del Área Metropolitana de San Juan, Puerto Rico, obtenida el 11 de Diciembre de 1993.

El análisis climatológico de temperaturas del aire a 2 metros de la superficie se realizó tomando como base cuatro estaciones cooperativas, dos situadas en la zona urbana y dos en los alrededores rurales al oeste de la ciudad. La variable de temperatura se analizó calculando las diferencias entre los promedios diarios de valores mínimos, máximos, y promedios de las estaciones urbanas de los valores de las estaciones rurales. En la figura 3 se muestran los resultados de este ejercicio junto a una proyección lineal hacia el futuro para mediados del presente siglo.

La presencia consistente de valores positivos es una indicación clara y sencilla de que las temperaturas sobre la ciudad son mayores que las temperaturas sobre el campo, y la pendiente positiva de la regresión lineal indica que esta diferencia se podría intensificar de prevalecer las condiciones pasadas y actuales sin litigación y políticas adecuadas de desarrollo urbano.

En la figura 4 esta presentado el patrón anual de las diferencias de temperatura calculadas en el paso anterior, en la misma se observa que las mayores diferencias están ubicadas durante los primeros meses, que son los más secos en lo que se conoce como la Temporada Temprana de Lluvia en el Caribe cuando la actividad convectiva es mucho menor que durante la Temporada Tardía de Lluvia (Daly et al. 2003, Malmgren & Winter 1999, Taylor et al. 2002). Estos resultados concuerdan con otros estudios que estipulan que las ICU son mas intensas durante condiciones atmosféricas estables y tranquilas.

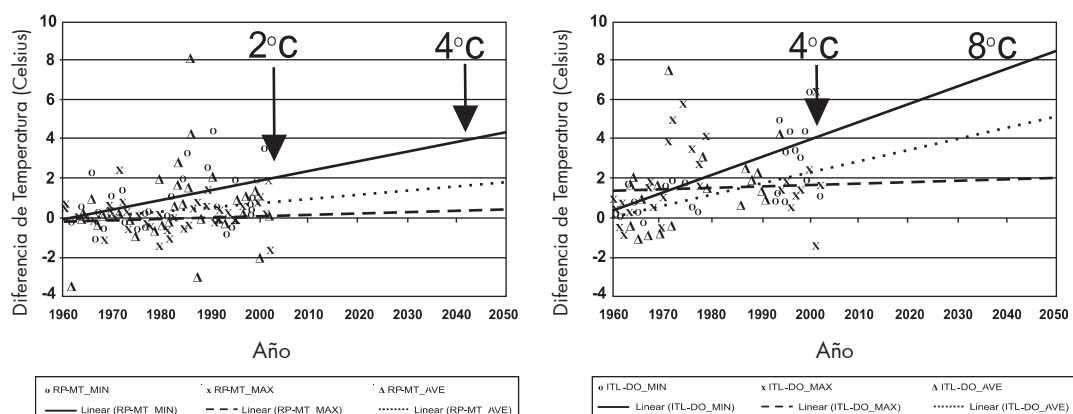


Fig. 3. Promedio diario por año, para los últimos 40 años, de los valores de temperatura mínima, máxima, y promedio, en localidades urbanas y rurales en la costa norte de la isla de Puerto Rico. Las líneas sólida, a rayas, y punteada, representan las proyecciones de temperaturas mínimas, máximas, y promedio, respectivamente.

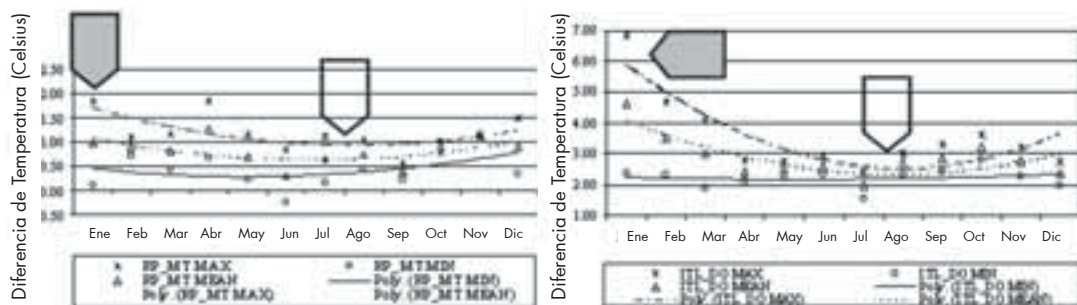


Fig. 4. Patrón climatológico anual de las diferencias de temperaturas entre las estaciones urbanas y rurales para la costa norte de la isla de Puerto Rico.

Estos resultados del análisis climatológico comprueban la existencia de una ICU sobre el Área Metropolitana de San Juan, y motivaron el desarrollo de campañas experimentales más extensas para poder determinar características y patrones más particulares sobre la isla de calor urbano en San Juan

Descripción de la Misión Atlas

El censor de aplicaciones termales y terrestres aerotransportado (ATLAS, por sus siglas en inglés) de NASA/Stennis funciona en las bandas visuales e infrarrojas. El ATLAS puede detectar 15 canales multiespectrales de la radiación a través de los espectros termales, cerca de infrarrojo, y visibles. El censor también incorpora las fuentes activas de la calibración para todas las bandas. Los datos son corregidos para la radiación atmosférica, y georectificados antes del análisis de estos. También se incluye una cámara fotográfica Zeiss de 9 pulgadas para el trabajo fotográfico aéreo. Este censor ATLAS se ha utilizado en otras campañas de campo para investigar la ICU en Atlanta, SALT Lake City, Baton Rouge, y Sacramento, todas en la masa continental de los Estados Unidos de Norteamérica (Luvall et al. 2005).

La Misión Atlas de San Juan, Puerto Rico fue conducida durante Febrero de 2004 para investigar el impacto del paisaje y del crecimiento urbano en el clima de esta ciudad tropical. El plan del vuelo para la misión cubrió el área metropolitana de San Juan, el bosque nacional del El Yunque, al este de San Juan, la ciudad de Mayagüez al oeste de San Juan, y el observatorio de Arecibo, situado en la costa del norte central, para un total de 25 líneas del vuelo. El área central de San Juan fue cubierta en una resolución horizontal de 5 metros en vuelos durante el día y la noche. Las áreas restantes fueron cubiertas en 10 metros de resolución. Los vuelos fueron conducidos entre el 11 y el 16 de Febrero de 2004. Para analizar la existencia de una isla de calor urbano en San Juan, y apoyar los datos del censor del ATLAS, varias campañas experimentales para la colección de datos fueron diseñadas y conducidas por diversos equipos, además de la conducción de diversos experimentos numéricos que ayudaron a entender el fenómeno y sus características.

Datos de Estaciones y Censores de Superficie

La información proporcionada por los lanzamientos de globos meteorológicos y la información sinóptica del Centro Nacional para la Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés) demuestran que durante los días de la misión la atmósfera media y alta en el Caribe era relativamente seca y altamente estable (no mostrado), una condición ideal para conducir estudios de isla de calor urbano.

Las estaciones meteorológicas y los sensores de temperatura fueron colocados en localizaciones estratégicas a lo largo de líneas que siguen el patrón climatológico de los vientos alisios del noreste, para analizar posibles diferencias en la temperatura entre las áreas comerciales, residenciales, y rurales (tablas 1 y 2). Los datos de estas estaciones meteorológicas y sensores de temperatura demuestran indicaciones fuertes de una ICU en el Área Metropolitana de San Juan.

La figura 5 muestra los resultados interpolados de los datos de las estaciones de superficie del promedio del mediodía obtenidos en las localizaciones seleccionadas a través del AMSJ y de los municipios rurales vecinos. Se ve claramente que las temperaturas medias del mediodía durante el período de la misión atlas evidencian la existencia de una ICU pronunciada, con el pico de la bóveda de alta temperatura exactamente sobre el área comercial del centro de San Juan, representada por las estaciones dentro de las áreas de color rojo. La mayoría de las áreas suburbanas están situadas al oeste del centro de San Juan representado por las áreas verdes y amarillas ligeras. La selva tropical del El Yunque, al este de San Juan, así como las montañas centrales, al sur de San Juan, seguían siendo regiones bastante frescas. Una sección transversal en la dirección este-oeste, siguiendo la dirección de los vientos alisios, indica el domo de temperaturas elevadas sobre el centro comercial de San Juan (fig. 6), mostrando un perfil bastante similar a la definición de la ICU expuesta en la figura 1.

Tabla 1. Estaciones Terrestres en el Área Metropolitana de San Juan y Alrededores Rurales

Estación	Ubicación	Coordenadas Geográficas		Variables						
		Latitud	Longitud	Temp.	HR	Viento	Precip.	Rad. Solar	Pres.	Hum. Suelo
Estación Bayamón	Parque Cien.	18°24'41"	66°09'37"	x	x	x	x	x	x	
Universidad Politécnica	Hato Rey	18°25'19"	66°03'19"	x	x	x	x	x	x	
Estación Dorado	Casa Ecológ. de Dorado	18°27'55"	66°19'37"	x	x	x		x		
Estaciones UPR	Río Piedras 1	18°24'08"	66°03'04"	x			x			x
	Río Piedras 2	18°24'12"	66°02'52"	x			x			x
	Río Piedras 3	18°24'14"	66°02'52"	x			x			x
Estación Río Grande	Río Mar Beach Resort	18°22'44"	65°45'22"	x			x			

Tabla 2. Censores HOBO

		Latitud	Longitud	Temp.
Censor Bayamón	Parque Ciencias – Bayamón Norte	18°24'41"	66°09'37"	x
Censor Cupey	Guaynabo Sur	18°21'12"	66°05'13"	x
Censor CUSC	Santurce – Centro SJU	18°26'29"	66°03'31"	x
Censor Guaynabo	Guaynabo Norte	18°24'23"	66°06'07"	x
Censor Interamericana	Bayamón Sur	18°21'06"	66°11'00"	x
Censor NWS	Carolina Norte	18°25'53"	65°59'29"	x
Censor Toa Baja	Sabana Seca Base Naval	18°27'28"	66°11'47"	x
Censor UPR Bayamón	Bayamón Este	18°22'14"	66°08'36"	x

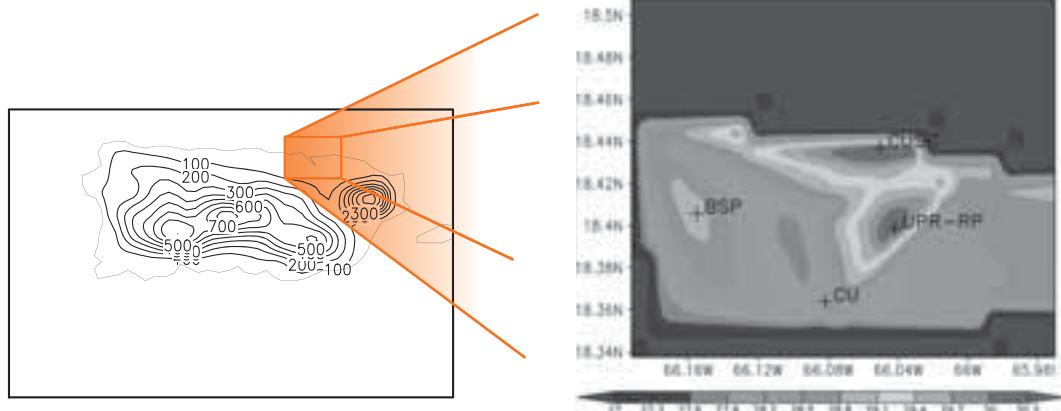


Fig. 5. Temperatura del aire observada promedio del mediodía durante la campaña de campo de San Juan en las estaciones y sensores en el área metropolitana de San Juan, y áreas rurales y suburbanas colindantes (Puntos identificados: UPR-RP-Universidad de Puerto Rico-Río Piedras; CUSC-Universidad Católica del Sagrado Corazón; BSP-Parque de las Ciencias de Bayamón; CU-Cupey). Los contornos en la izquierda representan elevaciones.

Un análisis de los datos recolectados muestra que los picos de las temperaturas verdaderas ocurrieron a mediados de la tarde, con un rango entre los 33 °C a 35 °C en áreas urbanas, y entre 26°C to 28°C en áreas suburbanas y rurales. Las bajas temperaturas alcanzaron constantemente 20°C to 22°C entrada la noche (el alrededor de las 10 horario estándar local).

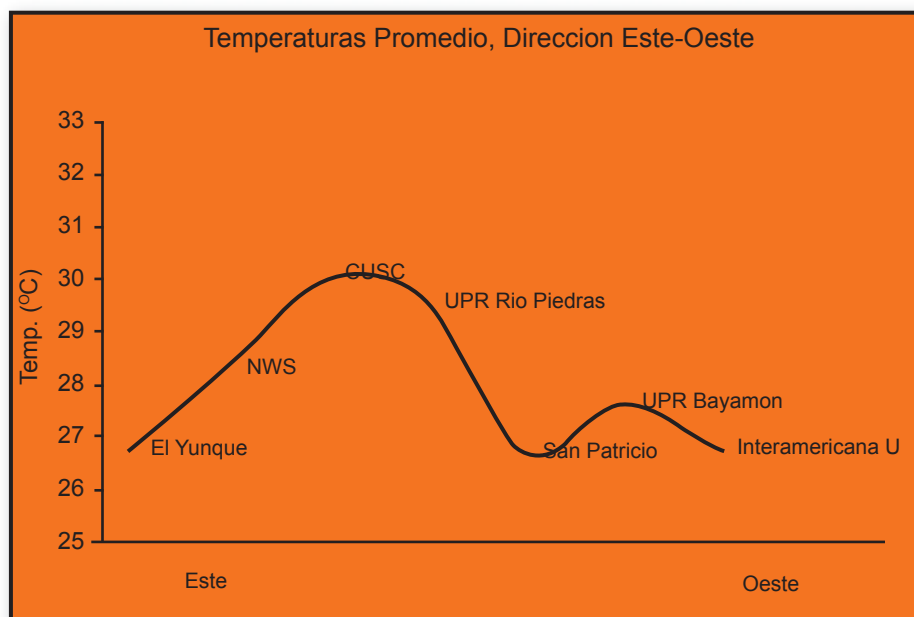


Fig. 6. Sección transversal de temperaturas promedio durante el periodo de Febrero 13-16 de 2004 en la línea de gradiente Este-Oeste para estaciones y sensores seleccionados.

Las altas temperaturas en áreas rurales eran substancialmente más bajas que aquellas en áreas urbanas entre mediados y las últimas horas de la mañana, más específicamente entre las 9 de la mañana y el mediodía con diferencias medias de temperatura de 4.5 °C en tal marco de tiempo, un patrón temporal no observado en estudios anteriores de ICU en ciudades continentales grandes. Todavía no está claro porqué los picos de la ICU de San Juan ocurren sobre las últimas horas de la mañana y no por la tarde temprana, un patrón demostrado en los experimentos anteriores de ICU conducidos en las ciudades continentales. La inexistencia de una isla fresca, una inmersión negativa de la diferencia de temperatura entre las áreas urbanas y rurales $dT(U-R)$, opuesta a la isla de calor causada por almacenaje del calor termal, también fue observada. Estos resultados están resumidos en la figura 7.

La alta densidad de cobertura por concreto, y la importancia del contenido volumétrico de agua del suelo y de la evapo-transpiración en controlar el clima tropical urbano, es evidenciada por la variabilidad del patrón de la ICU con respecto a la precipitación. Incluso para los acontecimientos relativamente pequeños y cortos de precipitación, en el orden de solamente 8.4 milímetros durante el periodo del estudio registrados por la estación del Servicio Nacional de Meteorología de San Juan, las temperaturas en el centro comercial de San Juan y las áreas residenciales y rurales circundantes llegaron a ser muy similares, evidenciado por un $dT(U-R)$ bajo.

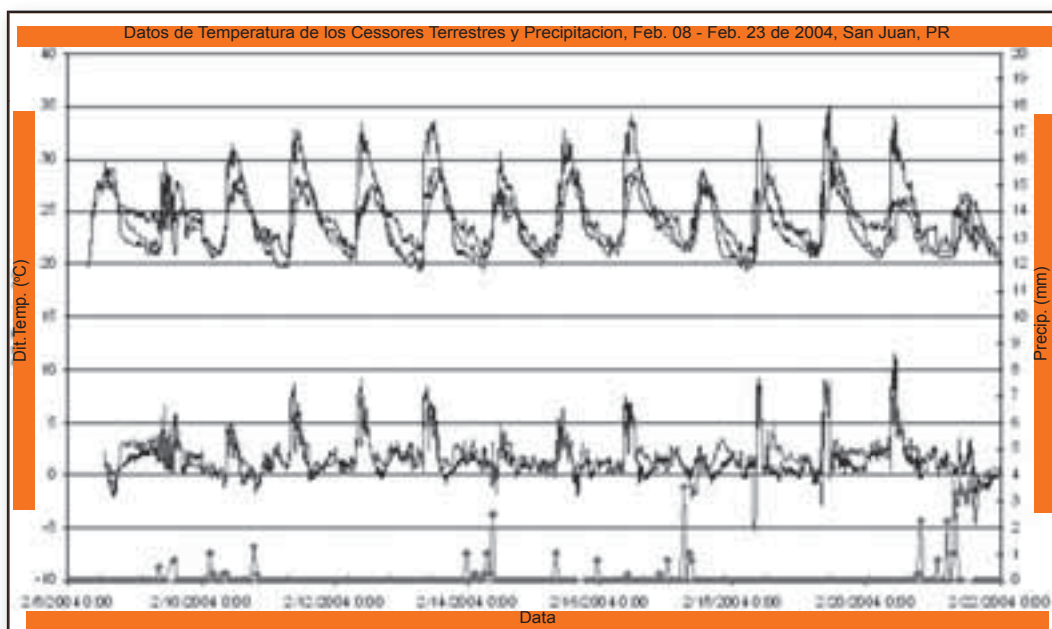


Fig. 7. Serie de tiempo de temperaturas observadas (series superiores), diferencias de temperaturas entre el centro comercial y áreas rurales (series intermedias), y precipitación en la zona de estudio (serie inferior), para las estaciones de referencia urbana (CSCU), suburbana (Interamericana), y rural (El Yunque).

Análisis Numérico

Los objetivos principales del análisis numérico son cuantificar el impacto del uso y cubierta de la tierra (LCLU, por sus siglas en inglés) por las ciudades, estudiar la reacción de la atmósfera a la presencia de un centro urbano importante. El modelo regional que se utilizó para el estudio presentado en este documento es el Sistema de Modelado Atmosférico Regional (RAMS, por sus siglas en inglés), desarrollado en la Universidad Estatal de Colorado (Pielke et al. 1992, Cotton et al. 2003).

Descripción del Modelo y Disposición Experimental

RAMS es un código numérico altamente versátil desarrollado para simular y pronosticar fenómenos meteorológicos. El modelo atmosférico se construye alrededor del sistema completo de ecuaciones dinámicas no-hidrostáticas, que gobiernan la dinámica y termodinámica atmosférica, y las ecuaciones de conservación para cantidades escalares tales como masa y humedad. Estas ecuaciones son complementadas por una variada selección de parameterizaciones disponibles en el modelo. La versión de RAMS utilizada en esta investigación contiene un módulo nuevo de la microfísica de nubes descrito por Saleeby & Cotton (2004), un avance del paquete original de microfísica (Meyers et al. 1997, Walko et al. 1995). Este módulo nuevo de la microfísica de nubes incluye la activación de los núcleos de condensación de nubes mediante el uso de un modelo de lagrange de parcela

que considera las condiciones ambientales de la nube para la formación inicial de las gotas de nube directamente sobre el aerosol.

Las simulaciones fueron conducidas con tres rejillas haciendo uso de la capacidad de comunicación entre las rejillas del modelo. La rejilla 1 cubre gran parte de la región del Caribe en una resolución horizontal de 25 kilómetros. La rejilla 2, que se jerarquiza dentro de la rejilla 1, cubre la isla de Puerto Rico en 5 kilómetros de resolución horizontal. La rejilla 3 esta jerarquizada dentro de la rejilla y centrada en la ciudad de San Juan con una resolución de 1km (fig. 8). Para la coordenada vertical, todas las rejillas tienen la misma especificación. Un espaciamiento de 100 metros fue utilizado cerca de la superficie y estirado en un cociente constante de 1.1 hasta que Δz alcanzó 1.000 m. La profundidad del modelo es 22.83 kilómetros con 40 capas verticales. Las condiciones de de frontera variables en el tiempo fueron utilizadas. La complejidad de la humedad de la microfísica fue fijada al nivel más alto. Este nivel incorpora todas las categorías del agua en la atmósfera (agua de nube, agua de lluvia, cristales de hielo prístinos, nieve, agregados, graupel y granizo) e incluye el proceso de la precipitación.

Las nubes de ambientes marítimos tienen concentraciones bajas de gotas grandes y un espectro amplio de la concentración. Todas las simulaciones fueron forzadas por las mismas condiciones de fronteras iniciales y laterales para el periodo del 10 al 20 de Febrero del 2004, dadas por los campos atmosféricos de NCEP. El uso de este modelo atmosférico regional ya ha demostrado producir resultados satisfactorios en la cuenca del Caribe, simulando el patrón de precipitación en la isla de Puerto Rico en meses de la temporada lluviosa temprana (Comarazamy 2001).

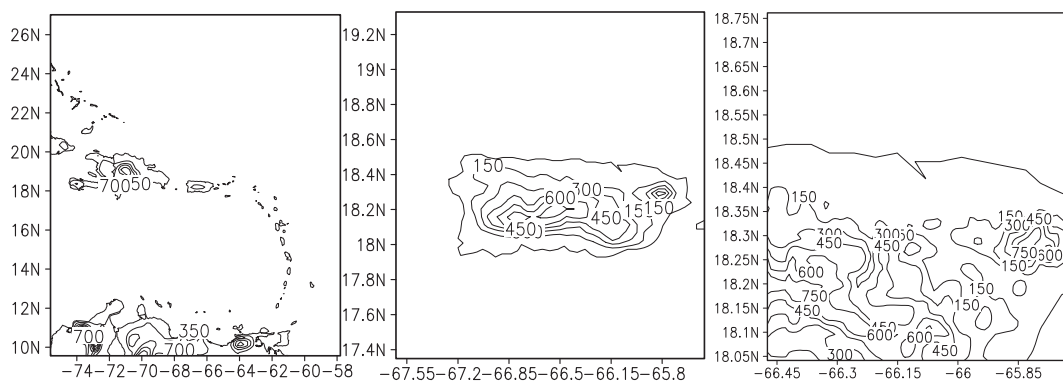


Fig. 8. Representación de las tres rejillas utilizadas en las simulaciones numéricas para investigar el impacto del LCLU urbano en el clima local. Los contornos de topografía tienen un intervalo de 150 metros en los tres paneles.

Para cuantificar el impacto del cambio del LCLU en la zona metropolitana de San Juan a través del tiempo, tres diferentes escenarios se configuraron. Primero se utilizó la especificación estándar de las características de la superficie utilizadas en modelos atmosféricos regionales. Luego se modificó una de las rutinas del modelo para representar la extensión y configuración urbana de San Juan como fue observada en la fotografía aérea mostrada en la figura 2. La

tercera configuración se diseñó para representar la posible vegetación original de la zona ocupada actualmente por la ciudad interpolando la vegetación circundante hasta cubrir toda el área. Las corridas se denominaron Actual, Urbana, y Primitiva, respectivamente. La variable que se modificó para estas simulaciones numéricas fue el denominado Índice de Vegetación definido por el Esquema de Transferencia Biosfera-Atmósfera (Dickinson et al. 1986), este índice incluye los parámetros físicos de albedo, emisividad, índice de área de hoja, porcentaje de vegetación, rugosidad de la superficie, y profundidad de la raíz. La configuración del índice de LCLU utilizado en las tres simulaciones se muestra en la figura 9.

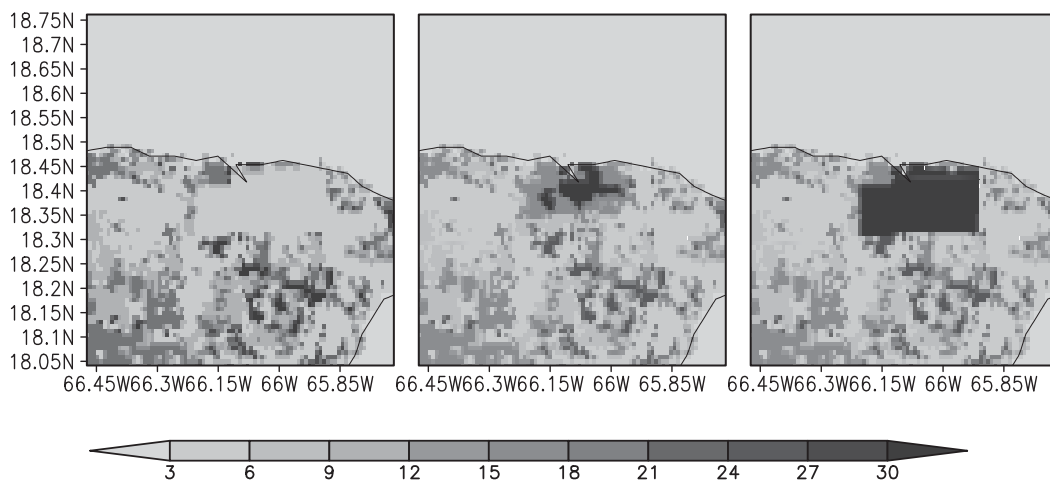


Fig. 9. Especificación de las características superficiales utilizadas en las tres corridas del modelo atmosférico, simulando, de izquierda a derecha, los escenarios primitivo, actual, y urbano.

Resultados de Temperatura del Aire y Patrón de Viento

Para estudiar el impacto del LCLU urbano sobre las temperaturas del área metropolitana de San Juan, se realizó un análisis de las temperaturas del aire a dos metros sobre el nivel del suelo (SNS) producidas por los tres escenarios simulados. El análisis consiste en calcular la diferencia de los valores promedios durante el periodo de mayor calentamiento, estimado ser las 3 de la tarde en este caso, siguiendo el proceso: Urbano-Primitivo, Actual-Primitivo, y Urbano-Actual. Para visualizar el efecto de la losa de concreto que representa la ciudad de San Juan sobre el patrón de vientos se siguió un procedimiento similar con el ciclo diurno de la circulación de brisa marina/terrestre.

Los resultados del análisis de temperaturas del aire promediadas a media tarde a través del periodo completo de simulación se presentan en la figura 10. En estos se muestra claramente que el modelo atmosférico predice que la presencia de la ciudad de San Juan tiene un impacto en la atmósfera baja de la zona ocupada por la misma, este impacto se refleja en

temperaturas más elevadas para las simulaciones que tienen un LCLU urbano especificado en la frontera inferior. Esta diferencia de temperatura es más pronunciada entre las corridas Urbana y Primitiva, con valores positivos de hasta 2.5 C, sobre todo viento debajo de la ciudad. El patrón espacial de las diferencias de temperatura sobre la zona representada por el AMSJ puede ser explicado por la presencia de vientos sostenidos en la dirección suroeste durante gran parte de la tarde (fig. 11). Las tres simulaciones produjeron el mismo patrón diurno de vientos, caracterizado por una fuerte influencia de los vientos alisios sinópticos del noreste, sin embargo la diferencia en calentamiento entre el Océano Atlántico y la costa norte de Puerto Rico inducen una circulación tierra adentro durante el día, como puede ser observado en la figura 11, y una inversión de los vientos hacia el océano por las noches. Ambas circulaciones mostraron un patrón oblicuo cerca de 45° debido a la influencia sinóptica.

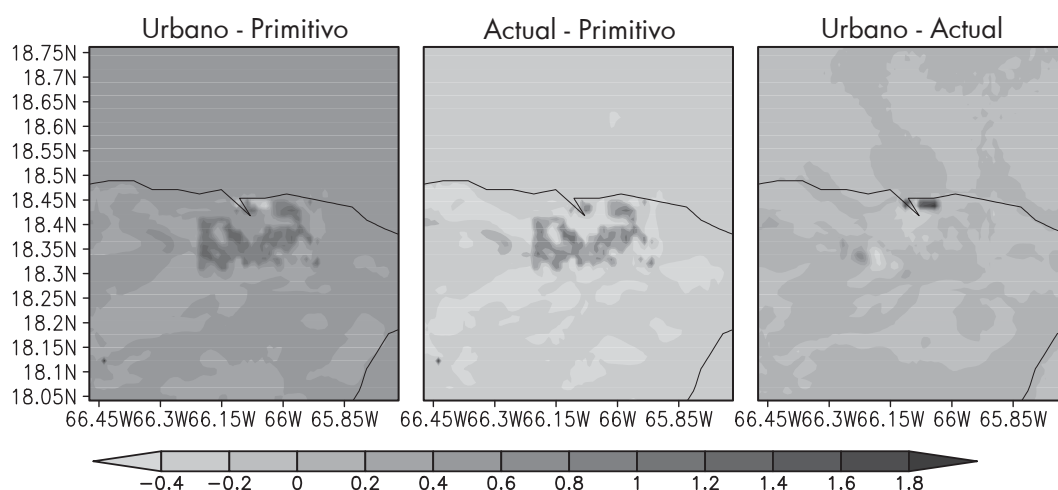


Fig. 10. Distribución espacial de la diferencia de temperatura del aire (°C), a 2m SNS, entre los tres escenarios simulados para el análisis. El intervalo de los contornos es de 0.5 °C para los dos primeros paneles, y de 0.2 °C para el tercer panel.

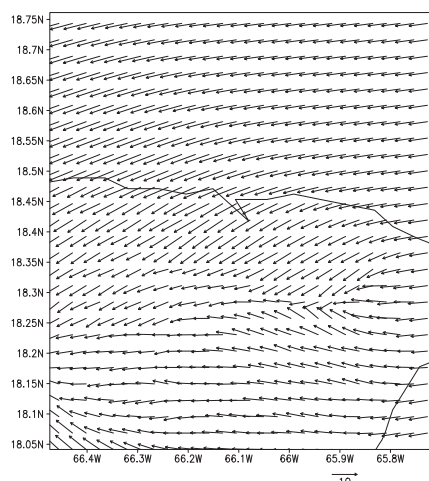


Fig. 11. Campo de vientos promedio para las 3 de la tarde, tiempo local, para el periodo total de simulación de la corrida actual.

El impacto de la presencia de celdas del modelo especifican un LCLU urbano es también significativo. En la figura 12 se puede observar que la diferencia en el campo de viento radica

esencialmente en la zona sobre la ciudad y en dirección de los vientos predominantes. Se puede ver que el efecto es de aceleración de los vientos evidenciado por un incremento en la magnitud de los vectores representados en los paneles que muestran las diferencias Urbano-Primitivo y Actual-Primitivo, en el orden de 3 ms^{-1} . Esta aceleración puede ser el resultado de un efecto térmico-mecánico causado básicamente por el incremento en la rugosidad de la superficie, representado como z_0 . El cambio en z_0 a un valor mayor entre las especificaciones de LCLU primitivo y urbano, aumenta la superficie disponible para la transferencia de calor en la interfase superficie-atmósfera, a la vez que ocasiona una aceleración friccional de los vientos que se acercan en los niveles más cercanos a la superficie.

Vale la pena aclarar que en las simulaciones Actual y Urbana, la especificación de la ciudad es representada por una losa homogénea de concreto (índice de vegetación 30 en BATS denominado *urban and built up*), que afecta las variables climáticas analizadas por medio de las características termales y mecánicas que conlleva. Al momento de incluir en las simulaciones la topografía urbana promediada por celda, el efecto podría ser drásticamente diferente. Los resultados de viento presentados en este documento dan una indicación de lo sensible que es el campo vectorial de los mismos a cambios en la representación del LCLU en las simulaciones.

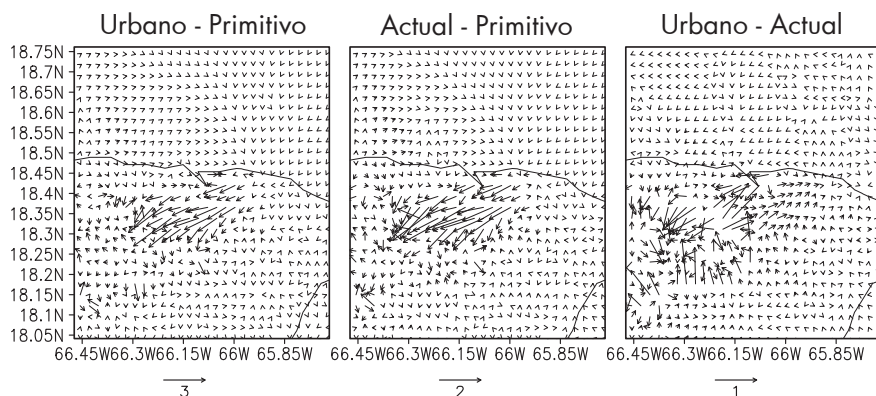


Fig. 12. Diferencia promedio del campo de viento calculado a las 3 de la tarde para las tres simulaciones realizadas.

Resumen y Conclusiones

Principales puntos y conclusiones se exponen a continuación:

- El análisis empírico reveló un efecto real de ICU sobre el área metropolitana de San Juan que está creciendo de acuerdo al desarrollo urbano.
- La ICU en San Juan tiene mayor intensidad durante la temporada lluviosa temprana, cuando las condiciones atmosféricas son mas estables que en otras épocas del año.
- Los datos de las estaciones de superficie desplegadas durante la campaña experimental de la Misión Atlas en San Juan revelan puntos calientes sobre las zonas comerciales del centro de la ciudad de San Juan y, un perfil de temperatura transversal en la dirección este-oeste que muestra un domo de elevadas temperaturas sobre el centro del AMSJ, con valores de ICU consistentes entre 5°C y 10°C durante el periodo de observación.
- La ocurrencia de lluvia afecta fuertemente el patrón de la ICU sobre San Juan, incluso para eventos de precipitación débiles.
- El modelo numérico atmosférico RAMS fue validado para capturar el impacto del LCLU urbano de San Juan en variables atmosféricas.
- El análisis de los tres escenarios simulados conduce a la conclusión que el LCLU urbano tiene un impacto en la dinámica atmosférica general de la costa norte de la isla de Puerto Rico.
- Resultados del modelo demuestran que la influencia que la ciudad de San Juan tiene en la temperatura del aire local es de producir temperaturas más altas en la región donde el área urbana fue representada. Esta influencia pudo ser cuantificada en un aumento de entre 2.5°C y 3°C en las temperaturas del aire, y una aceleración de los vientos en la zona.
- Un aumento en la masa urbana del San Juan causa una fricción en el flujo sinóptico, particularmente en las áreas menos cercanas a la costa.

Tras haber investigado estas características del ambiente urbano del Área Metropolitana de San Juan, varios puntos quedan como preguntas de investigación que serán abordadas posteriormente.

Con la presencia de una ICU en San Juan,

- ¿Cuál es el verdadero efecto sobre los vientos predominantes y el impacto sobre la circulación de brisa marina/terrestre?

- ¿Existe un efecto de precipitación convectiva inducida por la ICU en San Juan?
- ¿Cuál es la influencia sobre la formación de nubes?
- ¿Cómo afecta la ICU la estructura vertical de la atmósfera sobre la ciudad?
- ¿Cuál es el efecto real sobre el ciclo hidrológico de la zona?

Para tratar de responder estas preguntas, futuros experimentos numéricos se están diseñando para obtener una representación urbana más real. Estas simulaciones incluirían una superficie heterogénea con especificaciones de albedos y emisividades extraídas de los datos del sensor ATLAS, y la topografía urbana, que es de suma importancia para los términos dinámicos y de almacenamiento de calor, y así abordar el problema de manera más realista.

Reconocimientos

Esta investigación fue realizada con el soporte del programa NASA-EPSCoR de la Universidad de Puerto Rico – Mayagüez (UPRM), y llevada a cabo en la UPRM, la Universidad de Santa Clara, Santa Clara, CA, y el Centro Global de Hidrológica y Clima, Huntsville, AL (GHCC). Las simulaciones atmosféricas fueron realizadas en las Facilidades de Alto Rendimiento Computacional de la Universidad de Puerto Rico – Río Piedras (UPR). Los datos de las estaciones cooperativas fueron obtenidos del Centro Climático Regional del Sureste de los Estados Unidos. El análisis empírico climatológico fue realizado por Alexander Velásquez. Reconocimiento especial debe darse a las siguientes personas: Pieter Van Der Meer, Eric W. Harmsen y Ana J. Picón de la UPRM por su colaboración durante la Misión Atlas y el análisis de los datos de estaciones, a Douglas Rickman del GHCC por la ayuda prestada durante la estadía en Huntsville, y a todos los directa e indirectamente involucrados en el tremendo esfuerzo que significó el planeamiento y desarrollo exitoso de la campaña experimental de la Misión Atlas en San Juan, Puerto Rico.

Referencias

Bornstein, R., Q. Lin. 2000. "Urban heat islands and summertime convective thunderstorm in Atlanta: three cases studies". *Atmospheric Environment*, 34: 507-516.

Comarazamy, D. E. 2001. *Atmospheric Modeling of the Caribbean Region: Precipitation and Wind Analysis in Puerto Rico for April 1998*. Master's Thesis. Department of Mechanical Engineering. University of Puerto Rico – Mayagüez. 95 pp.

Cotton, W. R., R. A. Pielke Sr., R. L. Walko, G. E. Liston, C. J. Tremback, H. Jiang, R. L. McAnelly, J. Y. Harrington, M. E. Nicholls, G. G. Carrio, J. P. McFadden, 2003. "RAMS 2001: Current status and future directions," *Meteorological & Atmospheric Physics*. 82: 5-29.

Daly, C., E. H. Helmer, M. Quiñones. 2003. "Mapping the climate of Puerto Rico, Vieques and Culebra," *International Journal of Climatology*, 23: 1359-1381.

Dickinson, R. E., Sellers A. H., Kennedy P. J., M. F. Wilson. 1986. *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR Climate Community Model*. Technical Note NCAR/TN-275+STR. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO. 69 pp.

Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J., Tarpley, J. D. 1993. "The use of NOAA AVHRR Data for the assessment of the Urban Heat Island Effect". *Journal of Applied Meteorology*, 32: 899-908.

Jáuregui, E. 1997. "Heat island development in Mexico City." *Atmospheric Environment* 31:3821-3831.

Jáuregui, E. y Romales, E. 1996. "Urban effects of convective precipitation in Mexico City." *Atmospheric Environment* 30:3383-3389.

Landsberg, H. E. 1981. *The Urban Climate*. Academic Press. New York, NY. 275 pp.

Lo, C. P., Quattrochi, D. A., y Luvall, J. C. 1997. "Applications of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect." *International Journal of Remote Sensing* 18(2):204-287.

Luvall, J. C., Rickman, D., Quattrochi, D. y Estes, M. 2005. *Aircraft-Based Remotely Sensed Albedo and Surface Temperatures for Three US Cities; Color Roofing: Cutting through the Glare*. Roof Consultants Institute Foundation. Mayo 12-13, 2005. Atlanta, GA.

Malmgren, B. A. y Winter, A. 1999. "Climate zonation in Puerto Rico based on principal components analysis and an artificial neural network." *Journal of Climate* 12(4):977-985.

Meyers, M. P., Walko, R. L., Harrington, J. Y. y Cotton, W. R. 1997. "New RAMS cloud microphysics parameterization. Part II: The two-moment scheme." *Atmospheric Research* 45:3-39.

Noto, K. 1996. "Dependence of heat island phenomena on stable stratification and heat quantity in a calm environment." *Atmospheric Environment* 30:475-485.

Pielke, R. A., Cotton, W. R., Walko, R. L., Tremback, C. J., Lyons, W. A., Grasso, L. D., Nicholls, M. E., Moran, M. D., Wesley, D. A., Lee, T. J. y Copeland, J. H. 1992. "A comprehensive meteorological modeling system — RAMS." *Meteorology & Atmospheric Physics* 49:69-91.

Poreh, M. 1996. "Investigation of heat islands using small scale models." *Atmospheric Environment* 30:467-474.

Saleeby, M. S. y Cotton, W. R. 2004. "A large-droplet mode and prognostic number concentration of cloud droplets in the Colorado State University Regional Atmospheric Modeling System (RAMS), Part I: Module descriptions and supercell test simulations." *Journal of Applied Meteorology* 43:182-195.

Shepherd, J. M. y Burian, S. J. 2003. "Detection of urban-induced rainfall anomalies in a major coastal city." *Earth Interactions* 7:1-17.

Taylor, M. A., Enfield, D. B. y Chen, A. A. 2002. "Influence of the tropical Atlantic versus the tropical Pacific on Caribbean rainfall." *Journal of Geophysical Research* 107:10.1-10.14.

Tso, C. P. 1996. "A survey of urban heat island studies in two tropical cities." *Atmospheric Environment* 30:507-519

UNFP (United Nations Population Fund). 1999. *The State of World Population 1999*. United Nations Publications, New York, NY. In: <http://www.unfpa.org/swp/1999/index.htm>.

Walko, R. L., Cotton, W. R., Meyers, M. P. y Harrington, J. Y. 1995. "New RAMS cloud microphysics parameterization: Part I: The single-moment scheme." *Atmospheric Research* 38:29-62.

El Efecto de Isla Seca en Ciudades Intermedias

4

El Caso de Ciudad de Mendoza

Autores:

Fabián R. Bochaca
Enrique Puliafito

Abstract

Los centros urbanos intermedios caracterizados por una constante dinámica de crecimiento que implica cambios en el uso del suelo, han comenzado a producir problemas en el ambiente urbano propios de ciudades mayores que afectan el confort climático de sus ciudadanos.

Este capítulo presenta un análisis del comportamiento integral de las ciudades intermedias con respecto al efecto de isla seca producido por la incorporación de superficies impermeabilizadas en detrimento de las áreas verdes. Para este estudio usaremos la ciudad de Mendoza como modelo de nuestro análisis.

Para vislumbrar y entender el comportamiento climático urbano, en cuanto a variaciones de humedad y temperatura del aire, nos abocaremos al estudio de áreas vegetadas mezcladas con superficies impermeabilizadas. Esto nos obliga a abarcar las diferentes escalas urbanas en que estos espacios se combinan. Desde una escala más amplia, pasando por una escala intermedia hasta llegar a la microescala.

Las variables consideradas para este análisis son de dos tipos: (1) variables climáticas tales como temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, dirección y temperatura en los materiales; y (2) variables morfológicas como porcentajes de superficies construidas, tipos de materiales, forma y altura promedio de superficies verdes e impermeabilizadas.

Para comprobar empíricamente como se producen estas variaciones en centros urbanos se efectuaron diferentes mediciones, desde el amanecer hasta el anochecer, en el período estival y en recorridos continuos a través de la ciudad de Mendoza.

Este estudio permite comprender como influyen las áreas vegetadas en las variaciones de humedad, las que se reflejan con cambios de temperatura del clima urbano, especialmente notable en ciudades intermedias con climas desérticos, tal el caso de la ciudad de Mendoza.

Introducción

Aproximadamente el 60% de la población urbana reside en ciudades intermedias o pequeñas, con menos de un millón de habitantes, y el 30% de la población mundial habita en ciudades con climas desérticos o semi desérticos (Koerner y Klopatek 2002).

Existen pocos estudios desarrollados que analicen esta escala de ciudades, en especial aquellas con climas desérticos. *“A menudo, cuando se habla de procesos de urbanización, sobre todo de los resultados de estos procesos, o cuando se hace referencia al término ciudad, se detecta la tendencia a referirse de forma casi exclusiva a las grandes aglomeraciones urbanas...”*. (Bellet Sanfeliu, Llop Torné. 2004).

Estas ciudades de escala más equilibrada y armónica con su territorio no presentan problemas ambientales tan agudos como los de las grandes ciudades, sin embargo manifiestan un deterioro progresivo en la calidad de los recursos naturales (aguas, aire y suelos) que se refleja como diferentes procesos de contaminación, desarrollo del efecto de islas de calor, disminución de la humedad ambiente, reducción de áreas verdes y congestión vehicular, entre otros, que tienden a asumir características crónicas.

Estas áreas se presentan entonces como un claro escenario urbano en el cual intervenir, a fin de evitar la repetición a diferente escala de los graves problemas climáticos que las grandes ciudades evidencian en su proceso de urbanización, tal el caso de la aparición del efecto de isla seca e isla de calor.

Los procesos de urbanización asociados a los cambios en el uso del suelo y reflejados en una disminución de áreas verdes y en un incremento de superficies impermeabilizadas, producen un impacto significativo en el clima local, al reducir la humedad y aumentar la temperatura media del ambiente. El crecimiento urbano conlleva además un incremento en las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero GEI, que afectan de manera directa a la contaminación atmosférica e indirectamente a los cambios en la capa de mezcla del interior de las ciudades. Estos complejos procesos se retroalimentan en forma positiva, produciendo un aumento en las emisiones de GEI por incremento en el consumo de energía. Consecuentemente, con la disminución de las áreas verdes en los sectores urbanos se produce un cambio en el albedo de la ciudad al variar la absorción de radiación solar que reciben las superficies construidas, lo que aumenta el almacenamiento de energía en forma de calor. Paralelamente se observa una reducción en la humedad ambiental.

Este fenómeno de origen local también afecta la situación global porque las emisiones de CO₂ influyen sobre el clima global. Al disminuir la vegetación en áreas urbanas se modifica el balance entre respiración y secuestro por fotosíntesis. Más aún, existen indicios que las variaciones de temperatura y humedad influyen en los flujos netos de CO₂. Este proceso parece ser especialmente crítico en ciudades de entorno árido o semiárido (Koerner y

Klopatek 2002).

Éste es, precisamente, el punto de partida de nuestro estudio: las actuales incertidumbres en la comprensión del comportamiento de las áreas vegetadas en la trama de la ciudad, los efectos que produce y sus adaptaciones en el diseño urbano, aplicado a ciudades intermedias con clima desértico.

La vegetación en la Planificación Urbana

Es innegable que las áreas verdes incorporadas dentro de la trama urbana influyen sobre el comportamiento climático de la ciudad y se refleja fundamentalmente en una reducción de temperatura (Jáuregui 1975). Esta disminución de temperatura se origina por dos factores: (1) el beneficio producido por la proyección de la sombra de la vegetación urbana, que de acuerdo con las características morfológicas de la especie, densidad del follaje y orientación pueden reducir hasta un 80% de la irradiación en superficies tanto verticales como horizontales (Heisler 1986), y (2) a través del incremento de humedad que el vegetal realiza en sus procesos fisiológicos. Estos permiten el intercambio de energía con el ambiente e influyen en las variaciones de temperatura y humedad. Las áreas verdes producen un efecto de enfriamiento mediante el intercambio de energía entre las zonas contiguas a los límites del área vegetada y regulan el efecto térmico hacia su entorno de dos maneras: por un lado disipan energía en forma de calor latente a través de la eliminación de vapor de agua, generando un ambiente más húmedo y frío que su entorno (Barradas 1999). Y por el otro lado, el follaje tiene una reducida capacidad de almacenamiento de energía que alcanza solamente 0.008°Cs (Nobel 1983) lo que se evidencia con una menor temperatura que su entorno.

Un ejemplo de estudios realizados en áreas verdes que analiza las variaciones con respecto a su entorno urbano es el caso del parque Chapultepec, en Ciudad de México, donde los análisis efectuados permiten observar cómo las áreas vegetadas influyen en el ambiente urbano (Jáuregui 1991). Estas grandes áreas vegetadas disminuyen el efecto de isla de calor (Rosenfeld et al. 1995), extendiéndose más allá de su periferia (Shashua-Bar y Hoffman 2000), aumentando su alcance de acuerdo con la influencia de factores morfológicos, como por ejemplo modificaciones en el albedo de las superficies impermeabilizada, y factores meteorológicos como la dirección e intensidad del viento, y la humedad relativa (Upmanis y Chen 1999).

El efecto de Isla Seca como cambio en la vegetación urbana

La aparición e incorporación de nuevas tecnologías de construcción y de materiales como el hormigón y el asfalto han favorecido y acelerado la consolidación del tejido urbano, concebido mayoritariamente como una superficie impermeabilizada.

El aumento de las superficies impermeabilizadas y la disminución de las áreas vegetadas en sectores urbanos ocasionan fluctuaciones en los porcentajes de humedad relativa y originan

el efecto *urban dry island*, denominado durante la noche *urban moisture excess* y *urban moisture déficit* durante el día. Este fenómeno establece una relación directa entre las variaciones de humedad y el aumento o disminución de temperatura que se produce en áreas rurales y urbanas (Charciarek 2001).

El aumento de estas superficies con materiales con un alto grado de absorción de radiación, con bajo albedo, expuestos a sol directo durante el día, en detrimento de superficies vegetadas, vuelve a las superficies muy calientes, influyendo en las variaciones de humedad y temperatura del aire tanto en la micro escala próxima a estos espacio (100 a 300 m) como de la región contigua (Rosenfeld et al. 1995). Por ejemplo, tan sólo las calles y avenidas cubren más del 25% del área urbana, sin considerar los espacios públicos para estacionamientos, veredas o áreas de recreación (Shashua-Bara y Hoffman 2003), lo que reduce la existencia de zonas aptas para evaporar el vapor de agua hacia el ambiente urbano.

El asfalto, uno de los materiales más utilizados en la consolidación de calles, autopistas y estacionamientos en áreas urbanas, es una de las superficies más oscuras que se pueden encontrar en la ciudad, su albedo en una superficie nueva puede llegar a 0.05, lo que significa que absorbe alrededor del 95% de luz del sol (Pomerantz et al. 2003).

La planificación de áreas verdes en la Ciudad de Mendoza

En la actual planificación y diseño de los espacios verdes en América Latina y en particular de la ciudad de Mendoza, localizada en la República Argentina, todavía prevalecen criterios inherentes a aspectos estéticos que solamente dan respuesta a necesidades recreativas por la atracción que estas áreas suscitan como paisaje urbano mas que por sus aspectos ambientales, dando por hecho que la sola incorporación de elementos vegetados produce mejoras sobre el ambiente. Se olvida así considerar criterios relacionados al comportamiento, funcionamiento, distribución y orientación que estos espacios verdes deberían tener, tanto para los elementos vegetados aislados como para las grandes áreas verdes.

La estructura urbana de la ciudad de Mendoza, entremezcla tres diferentes tipos de mallas que se superponen en el espacio desde su fundación: (1) una red hídrica desarrollada por los aborígenes de la zona y adoptada por los colonizadores españoles; (2) una malla definida por el damero característico de las ciudades fundacionales y (3) otra malla que surge con posterioridad debido a la interacción de las dos primeras, relacionada con la aparición en la ciudad de una trama vegetal, inicialmente desarrollada hacia el interior de las viviendas. Tanto la trama hídrica (acequias) como de vegetación fueron elementos característicos de la ciudad desde sus comienzos, que delinearon criterios de planificación.

En la ciudad de Mendoza el proceso de planificación de áreas vegetadas se dio inicialmente como una forma de fortalecer la identidad social y política de la elite mendocina, antes que por la adopción de determinados criterios ambientales.

Con posterioridad, el crecimiento paulatino de las diferentes áreas vegetadas y del bosque urbano generó una optimización del ambiente que permitió entrever los beneficios que el vegetal aportaba más allá de lo estético. En la actualidad el uso del hormigón y el asfalto como elemento activo en la consolidación de la trama urbana, ha transformado muchos de los espacios verdes (áreas de cultivo, parques o plazas), en superficies impermeabilizadas, localizados tanto en los sectores periféricos como en el núcleo central de la ciudad de Mendoza.

La utilización de conceptos desarrollados décadas atrás sobre el verde urbano dificulta una nueva planificación de estos espacios, la que es requerida por ciudades intermedias como Mendoza, caracterizada por una constante dinámica de crecimiento (Bochaca 2004).

El uso inadecuado de conceptos urbanos referidos a parques y áreas verdes se manifiesta en el aumento del efecto de isla seca. Más aún, este efecto se hace más notorio y sus consecuencias más intensas en ciudades intermedias con climas desérticos tal el caso de la ciudad de Mendoza, donde la humedad es un elemento exiguo.

Área de Estudio

El Clima en la Ciudad de Mendoza

El gran Mendoza, se encuentra situado en la región del Oasis norte de la provincia¹ de Mendoza, al pie de la cordillera de Los Andes, a una altura aproximada de 750 metros sobre el nivel del mar (32° 53' latitud sur, 68° 51' longitud oeste). Esta ciudad, con una población aproximada de 1.100.000 habitantes, es una de las aglomeraciones urbanas intermedias más importantes al oeste de la República Argentina.

Su clima es de tipo desértico con precipitaciones anuales que no superan los 180 a 220 mm anuales, por lo que la irrigación de los diferentes espacios verdes se realiza a través de riego artificial de acequias y canales.

¹ La ciudad de Mendoza es un paisaje transformado por el hombre gracias al uso del riego artificial, que aprovecha fundamentalmente el agua fluvial para desarrollar áreas cultivables y ambientalmente habitables, permitiendo la concentración de centros urbanos; zonas agrícolas e industriales. Estos oasis están compuestos por áreas cubiertas de vegetación exótica inmersas en un paisaje natural con características desérticas. El conjunto de Oasis de los ríos Mendoza y Tunuyán, distribuidos a la orilla de estos cursos o de sus canales, conforman el oasis norte de la provincia, área donde se ubica la ciudad de Mendoza.

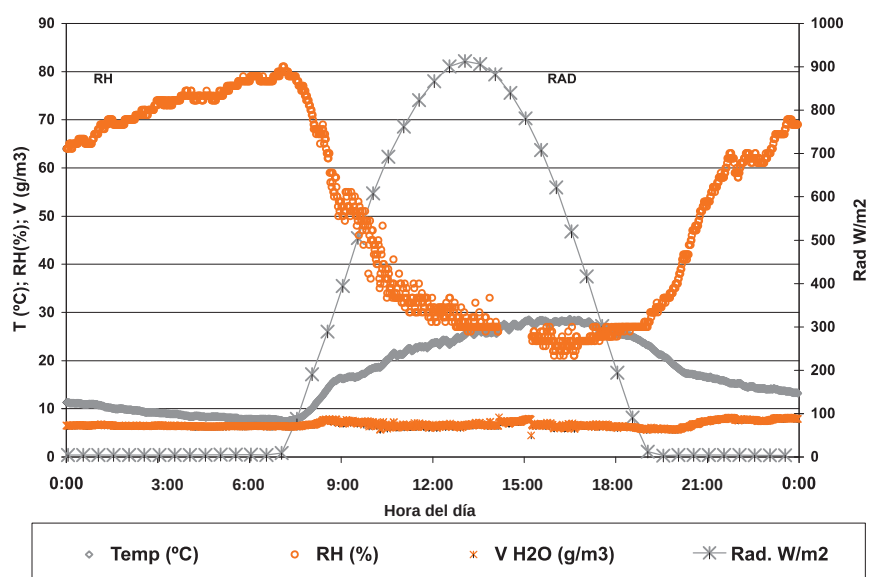


Fig. 1. Variaciones típicas de vapor de agua, humedad, temperatura y radiación solar.

Como se puede observar, las características principales de esta región son un alto nivel de sequedad, escasa intensidad de viento y una elevada heliofanía, reflejadas en la figura 1, donde se muestra la variación diurna típica de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), densidad de vapor de agua (g/m^3) y vapor de agua, en función de la hora del día. También se registra la curva de radiación solar diurna (W/m^2).

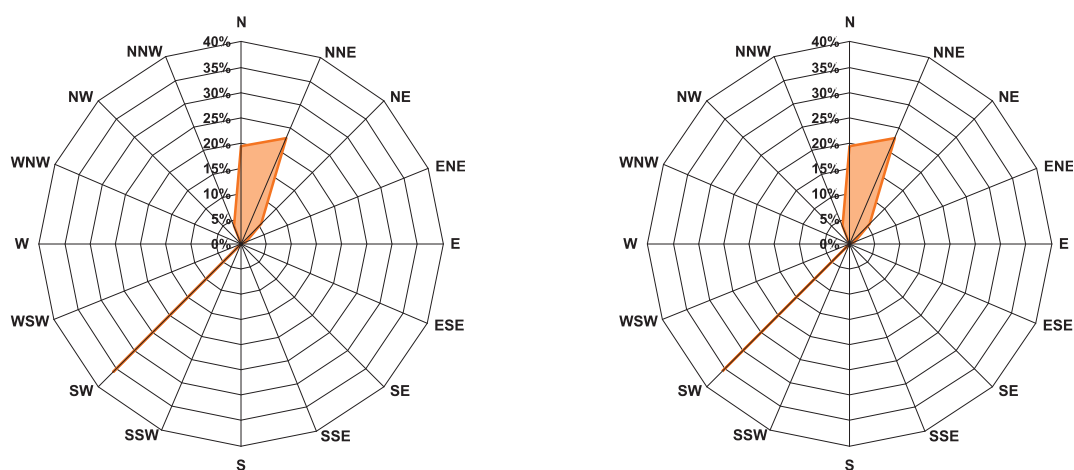


Fig. 2. Frecuencia (izquierda) e intensidad del viento (m/s) (derecha) diaria típica.

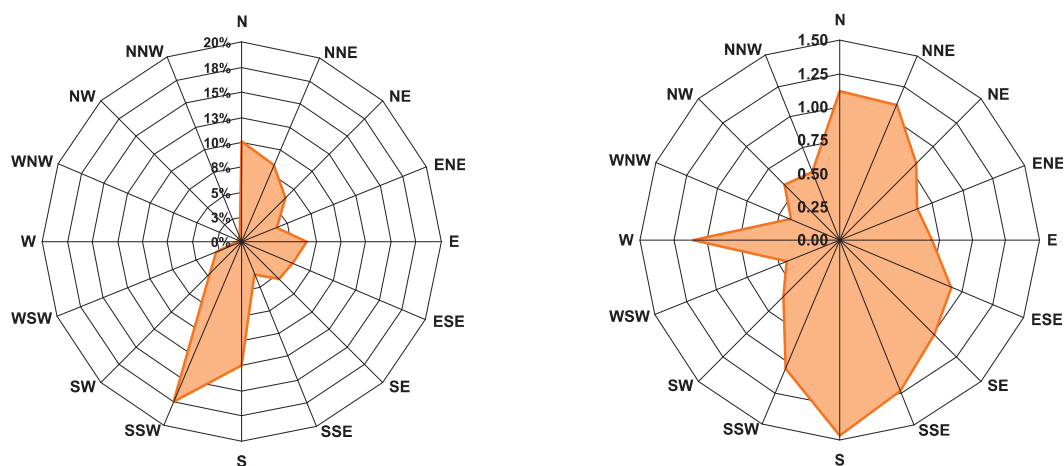


Fig. 3. Frecuencia (izquierda) e intensidad del viento (m/s) (derecha) media anuales para el año 1998.

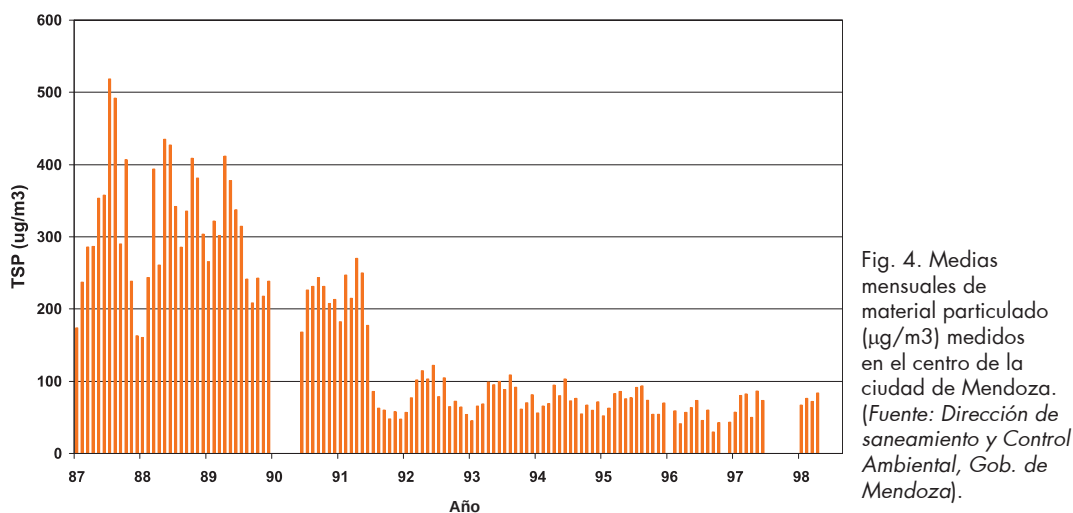


Fig. 4. Medias mensuales de material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en el centro de la ciudad de Mendoza. (Fuente: Dirección de saneamiento y Control Ambiental, Gob. de Mendoza).

El gran Mendoza presenta en general, vientos con un elevado porcentaje de calmas, interrumpido ocasionalmente por fuertes ráfagas, denominadas Vientos Zondas, y se registran suaves brisas cíclicas diarias, típicas de valle-montaña (figuras 2 y 3).

Estas características sumadas a su topografía y ubicación en el valle aluvional de la cordillera de los Andes (de una altura promedio a los 5.000 metros) condiciona el movimiento y renovación de los flujos de aire comportándose como un freno natural en la desviación de la humedad atmosférica, presentándose como un área desértica con características polvorientas en su atmósfera que generan condiciones climáticas de riesgo para la salud y sin rasgos beneficiosos para la depuración del aire (figura 4).

Las condiciones meteorológicas y orográficas del Gran Mendoza, juntamente con las diversas actividades del hombre, generan un patrón de comportamiento característico de la contaminación atmosférica.

El análisis de los datos ambientales de Mendoza permite reconocer varios ciclos bien definidos: el primero de ellos lo configura la variación estacional (invierno-verano) que establece un patrón anual caracterizado por niveles de concentraciones ambientales elevadas en los meses invernales e inferiores en los meses estivales. La figura 4 muestra la variación estacional de los valores medios diarios de partículas (PST), medidos en una de las estaciones fijas del Ministerio de Ambiente y Obras Públicas.

Otro ciclo que se distingue claramente es la variación típica noche-día, caracterizada por una circulación del tipo valle-montaña. Durante las horas que siguen al atardecer hasta el amanecer, la circulación predominante es del SSW, mientras que en las horas de luz la circulación es principalmente de NNE (figura 2). Dada la fuerte irradiación solar en Mendoza, durante las horas de luz existe una importante circulación convectiva.

La combinación de estos efectos, sumados a los fuertes enfriamientos nocturnos y calentamientos diurnos del suelo, produce una importante variación diaria de la altura de mezclado y capas de inversión. Ésta varía entre unos 50 y 100 metros de noche, a más de 1.500 metros durante el mediodía, dependiendo de la época del año.

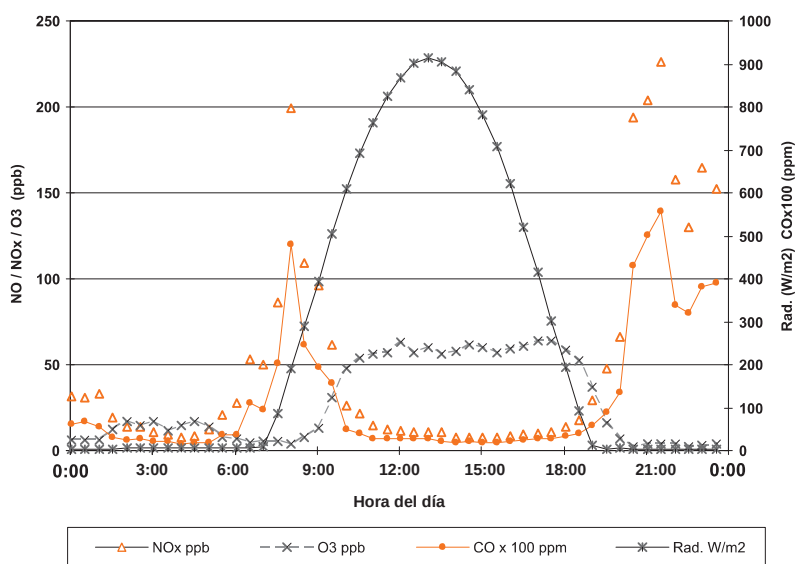


Fig. 5. Variación diaria típica de contaminantes. Concentraciones de monóxido de carbono, CO (ppm); óxidos del nitrógeno, NO_x (ppb); ozono superficial, O₃ (ppb); y radiación solar (W/m²) en función de la hora del día (Fuente: Puliafito 2003).

La figura 5 muestra un día típico a través de mediciones continuas de radiación solar, concentraciones de O₃, CO y NO_x (Puliafito et al. 2003). En este gráfico se aprecia claramente el fenómeno descrito anteriormente como producto de la actividad humana, reflejada en las emisiones típicas del tráfico.

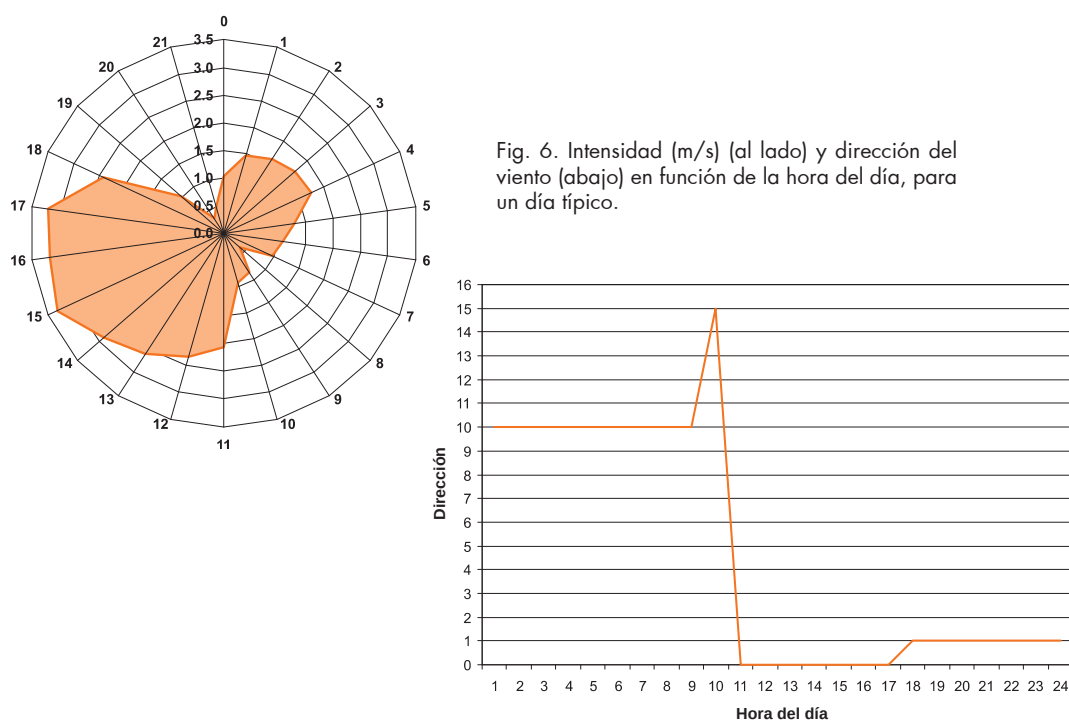


Fig. 6. Intensidad (m/s) (al lado) y dirección del viento (abajo) en función de la hora del día, para un día típico.

Así entre las 7 y 9 de la mañana se aprecia el pico de circulación de vehículos de inicio de actividades diarias. Durante el mediodía, a pesar de que en Mendoza existe una mayoría de personas que regresan al hogar para la pausa del mediodía, esta actividad vehicular no se manifiesta tan dramáticamente en las mediciones de los contaminantes, debido a las condiciones más favorables de dispersión por convección. Sin embargo entre las 20 y 21 horas, cuando se produce el regreso al hogar, las mediciones de contaminantes son muy elevadas por una reducción en las condiciones de dispersión.

En la figura 1 se aprecian las variaciones de temperatura, humedad relativa y vapor de agua en función de la hora del día, pero se ha vuelto a graficar la radiación solar a fin de mostrar las horas de luz. En esta figura se aprecia que, durante las horas de la noche, la humedad relativa es elevada y disminuye a medida que aumenta la temperatura por efecto de la radiación solar. A mayor temperatura, mayor es la presión de saturación del vapor de agua, por lo tanto aumenta la capacidad del aire de retener vapor de agua. Ésto hace que disminuya la humedad relativa, aunque la humedad absoluta se mantiene aproximadamente constante durante todo el día.

Las figuras 6 y 7 complementan la información meteorológica de la figura 1, mostrando la intensidad de viento en función de la hora del día, de la dirección; de la frecuencia y dirección del viento de acuerdo a la hora del día (Puliafito 2005).

Metodología

El trabajo de campo examina la micro escala de las áreas verdes, conjuntamente con su entorno conformado por superficies impermeabilizadas, y analiza cómo influye esta distribución en la humedad del sector y cómo se manifiesta en variaciones de temperatura, a través de una serie de mediciones y estudios efectuados en el tejido urbano de la ciudad de Mendoza.

El diseño de estos espacios públicos debe ser entendido como los elementos que posibilitan ordenar el tejido de la ciudad, sea cual fuere la escala urbana, permitiendo organizar el territorio para soportar diversos usos del suelo. La incorporación y distribución de superficies vegetadas a modo de parches dentro de la trama de la ciudad y las consecuencias que esto origina es el foco central de nuestra investigación. Comprender su comportamiento al mixturarse en sectores urbanos nos permitirá trasvasar el conocimiento hacia la planificación urbana, desde una perspectiva general que interrelacione los efectos de humedad y temperatura.

El Trabajo de Campo

En este estudio se efectuaron mediciones de humedad, temperatura, dirección e intensidad de vientos, desde el amanecer hasta el anochecer, en tres recorridos continuos a través de la ciudad de Mendoza. Estos recorridos comenzaban a las 05:30, continuaban a las 14:30 y finalizaban a las 20:00 horas. Para ello se seleccionaron como unidades de análisis diferentes tipos de espacios verdes que se fusionaban con sectores residenciales.

Las áreas vegetadas escogidas corresponden a áreas rurales cultivadas, mayoritariamente de vides; áreas residenciales, sectores del pie de monte con vegetación xerófila, parques urbanos y diferentes espacios verdes insertos dentro de la trama de la ciudad a modo de plazas.

El recorrido de aproximadamente 80 kilómetros con una duración promedio de tres horas, partía de la periferia hacia el área central de la ciudad de Mendoza y culminaba nuevamente en la periferia. Fue realizado en el período estival, durante los días del mes de enero y las mediciones efectuadas corresponden a los años 2004 y 2005.

El interés central de este estudio es encontrar las relaciones causales que den cuenta de la interacción entre las áreas vegetadas y las distintas superficies construidas o impermeabilizadas que conforman el entorno de los espacios verdes, y analizar cómo influyen estas áreas sobre las variables de humedad y temperatura en la ciudad de Mendoza.

Esencialmente, las mediciones responden a un diseño no experimental, las variables analizadas no se manipularon intencionalmente, es decir, observamos el comportamiento en su entorno real. El diseño de la investigación no experimental es transaccional o transversal, ya que recolectamos los datos en un período específico de tiempo, la estación estival, en días representativos del verano de la ciudad de Mendoza con una temperatura promedio de 30°C.

La decisión temporal de realizar las mediciones en período estival respondió, básicamente, a los dos criterios que guían esta investigación: en primer lugar observar las variables por medir en su momento más extremo, el mes de enero, época del año en la que la radiación solar incide de manera más directa sobre la superficie, principalmente en planos horizontales y dónde se manifiestan los cambios más bruscos de temperatura y de humedad en la ciudad de Mendoza, especialmente en zonas urbanas.

En segundo lugar, la selección temporal responde también a la posibilidad de poder analizar el proceso de evapotranspiración de los vegetales en su período más activo, y observar el comportamiento de estas áreas al mixturarse con superficies impermeabilizadas.

Esta investigación adopta un formato correlacional o causal, es decir, no nos interesan las descripciones de variables aisladas, sino las relaciones que se producen entre las diferentes variables medidas.

Las mediciones interceptan en el recorrido distintas tipologías de áreas verdes. Estas, dependiendo de sus características, influyen en las variaciones de humedad y temperatura hacia el entorno urbano más próximo. Comprender cómo se originan estas variaciones, nos obliga a estudiar los procesos fisiológicos del vegetal que den cuenta de que manera afecta el ambiente urbano.

Fisiología del Verde Urbano

De los procesos fisiológicos que el vegetal realiza nos centraremos fundamentalmente en el proceso de evapotranspiración, para lo cual utilizaremos, como sustrato teórico, la bibliografía de cabecera referida al tema.

El efecto de evapotranspiración es un proceso fisiológico del vegetal que queda definido por la capacidad que tienen las diferentes especies para transpirar vapor de agua a través de su follaje, sumado a la capacidad del suelo de evaporar agua hacia el ambiente (Nobel 1983). Entre las funciones principales podemos mencionar: los procesos de fotosíntesis, transporte de sustancias obtenidas en el metabolismo y turgencia de la planta ya que el agua interviene en la turgencia de los estomas y sobre las células guardianas que lo componen. Esta turgencia determina la apertura o cierre de los estomas y por consiguiente el ingreso o no del dióxido de carbono (CO_2), de oxígeno (O_2) y fundamentalmente de vapor de agua.

Este proceso se produce por la diferencia de potencial agua² que existe entre el interior de la planta (específicamente de las cámaras subestomáticas ubicadas en el mesófilo) y la humedad ambiente. El aire circundante a la hoja posee un potencial agua más reducido que la planta como consecuencia de la radiación solar que recibe, y la diferencia entre el agua líquida del interior de la planta y el vapor adyacente a la epidermis de la hoja provoca un movimiento de agua ascendente que va desde el suelo hacia la atmósfera, es decir, desde

² Potencial agua es la diferencia que existe entre la humedad ambiente y la humedad interior del vegetal.

las raíces hasta las hojas. Este proceso no solo permite la eliminación de agua por medio de los estomas, a través de sus poros, en forma de vapor de agua sino que permite humedecer el entorno inmediato de la planta con la consiguiente disminución de temperatura en su capa límite.

La evapotranspiración es un proceso inevitable que, prácticamente, no requiere ningún gasto energético para la planta y de este proceso dependen las funciones vitales que determinan su crecimiento y desarrollo.

La evapotranspiración utiliza solamente el 1% de la radiación solar, esto equivale a que un árbol que evapora aproximadamente 400 litros diarios de agua, consume aproximadamente 278 kWh (Pokorn 2001).

El proceso de eliminación de calor latente a través de la evaporación del terreno y de la transpiración de la cubierta vegetal, determina que la temperatura a nivel del suelo se comporte con una diferencia inferior o igual a la temperatura del aire en comparación con la temperatura circundante a superficies impermeabilizadas.

Mediciones en Diferentes Escalas Urbanas

Las mediciones realizadas a través de tres recorridos móviles a lo largo del día en el tejido urbano de la ciudad de Mendoza, intentan entender empíricamente cómo es el comportamiento de sectores urbanos verdes, en cuanto a variaciones de humedad y temperatura con respecto a su entorno, como veremos a continuación.

Tabla 1. Temperatura y medida RH para los parques y núcleos urbanos

	Parque San Martín		Centro Urbano		Límite Núcleo Urbano		Parque Lateral Este
Medición							
	Temp. °C	ΔT	Temp. °C	ΔT	Temp. °C	ΔT	Temp. °C
Madrugada	17,2	1,4	18,6	0,5	19,1	1,2	17,9
Mediodía	30,1	0,8	30,9	1	31,9	0,3	31,6
Noche	25,4	1,7	27,1	1,1	28,2	0,9	27,3

	RH %	ΔRH	RH %	ΔRH	RH %	ΔRH	RH %
Madrugada	67,2	7,7	59,5	0	59,5	5,2	64,7
Mediodía	31,5	1,8	29,7	1,7	28	0,7	28,7
Noche	48,5	8,5	40	1,3	38,7	3	41,7

El recorrido móvil se inicia con una medición al amanecer a partir de las 5:30 hs., período en el cual todavía la radiación solar no produce ninguna influencia sobre las superficies horizontales y cuando se manifiesta claramente como ha sido la eliminación de calor almacenado (*sensible heat*) del día anterior en las diferentes superficies.

La segunda medición tiene lugar a las 14:30 hs. Es en este momento del día cuando la incidencia de la radiación solar es mayor sobre las superficies horizontales y la diferencia de temperatura y humedad entre áreas vegetadas y urbanas es menor, debido a que, como mencionáramos anteriormente, se produce una variación de la altura de mezclado y capa de inversión dependiendo de la época del año y de la hora del día (ver fig. 1 y tabla 1). Esta menor amplitud de temperatura y humedad se debe también a que las áreas vegetadas mantienen sus estomas cerrados para disminuir el stress hídrico y las superficies impermeabilizadas todavía están almacenando calor.

Por último, la tercera medición tiene lugar a las 20:00 horas, etapa en la que el sol ya ha descendido y la radiación solar no incide de manera directa. Comienza entonces a observarse claramente las variaciones de humedad y temperatura que las superficies vegetadas e impermeabilizadas poseen como consecuencia del calor almacenado.

Las variaciones de humedad y temperatura pueden observarse claramente en grandes superficies vegetadas, como en el caso del Parque San Martín y en grandes áreas impermeabilizadas como el Aeropuerto El Plumerillo en la ciudad de Mendoza.

Debido a la gran extensión de superficie libre que presentan ambos sectores y al incremento en la velocidad del viento, estas áreas muestran una humedad y una temperatura levemente por debajo de los valores registrados en aquellas superficies próximas a sectores urbanos, donde la velocidad del viento es prácticamente nula o cercana a los 0.2 m/s (ver fig. 7).

Como puede observarse en esta figura las diferencias de humedad y temperatura se hacen más notorias durante la madrugada y, sobre todo, hacia el atardecer cuando el sol comienza a tener una incidencia menor sobre las superficies horizontales, entonces, consecuentemente por enfriamiento radiativo, se produce un descenso de la temperatura.

Esta amplitud térmica es mayor en las zonas más áridas como resultado de una menor disponibilidad de vapor de agua que actúa como regulador de la temperatura. Justamente, en las zonas parquizadas el aumento relativo local de vapor de agua, ayuda a regular las variaciones térmicas, logrando, entonces, menores amplitudes térmicas.

Estas variaciones de las variables analizadas se acentúan en el lapso de una hora, entre las 22:00 y 23:00, aproximadamente.

Como veremos más adelante este comportamiento se mantiene prácticamente igual en las diferentes áreas urbanas donde se efectuaron las mediciones que a continuación detallaremos.

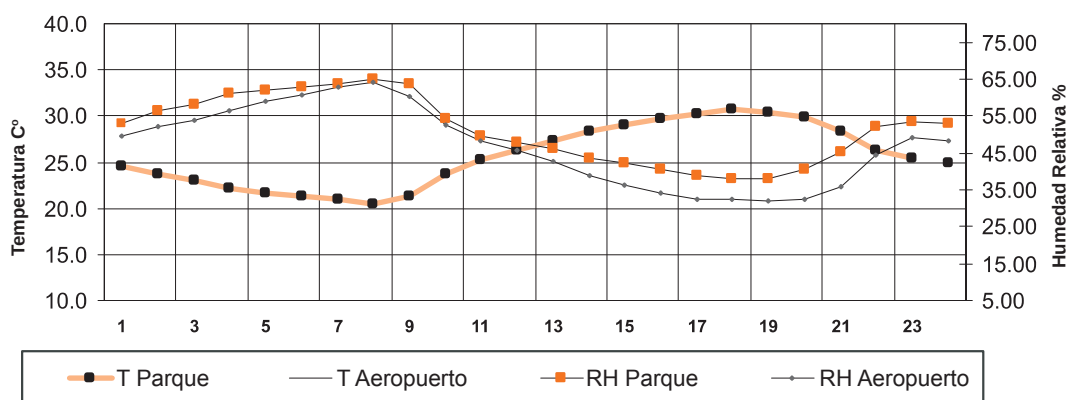


Fig. 7. Diferencias de Temperatura Aeropuerto y Parque San Martín.

Recorrido 1 (5:30 horas)

El recorrido se inicia en el área periférica constituida primordialmente por 90% de áreas vegetadas; distribuidas entre zonas de viñedos, frutales y jardines de áreas residenciales.

La primera medición realizada a las 5:30 horas. presenta un alto porcentaje de humedad relativa, que en promedio oscila entre un 65% y 70%. Esta variación de humedad arroja una temperatura media de 16°C en la madrugada de un día que tendrá las siguientes características climáticas: vientos con escasa velocidad (< 0.4 m/s), elevada heliofanía y una temperatura que llegará a medir $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hacia el mediodía. A medida que nuestro recorrido se aproxima al área central, el aumento de superficies impermeabilizadas se hace más notorio y se manifiesta en una disminución de la humedad relativa de un 20% y un incremento proporcional en la temperatura de 5°C como consecuencia de la reducción de superficies con una alta capacidad evaporación (ver fig. 8).

Recordemos que en este horario la incidencia del sol es prácticamente nula y las variaciones de humedad y temperatura se manifiestan estables. Como podemos observar en la fig. 8, las diferencias de temperatura y humedad, en este momento del día, están muy marcadas, aun sin la incidencia del sol.

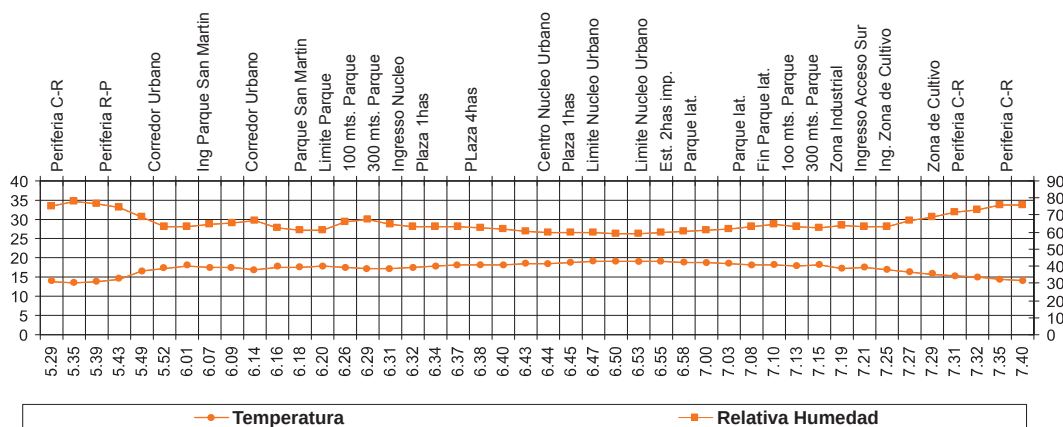


Fig. 8. Temperatura y medida RH durante la madrugada para Run 1.

Recorrido 2 (14:30 horas)

Próximo al mediodía las variaciones de humedad y temperatura entre la periferia y el núcleo urbano disminuyen como consecuencia de una alta radiación solar y la reducida velocidad del viento de 0,2 m/segundo.

Esta situación meteorológica genera una humedad relativa en la periferia que en promedio fluctúa entre un 32% a 33% y una temperatura de 30,7°C. Cuando nos dirigimos hacia el área central de la ciudad de Mendoza comienza a manifestarse un efecto de llanura con respecto a las amplitudes térmicas de la periferia, como puede observarse en la fig. 9.

Si bien las diferencias entre el centro y la periferia existen, son menores que en la madrugada, manteniéndose los valores de HR y T casi paralelos, la humedad varía solamente un 9% menos y la temperatura se incrementa proporcionalmente 3°C por encima de la temperatura del área periférica a la ciudad (ver fig. 9.)

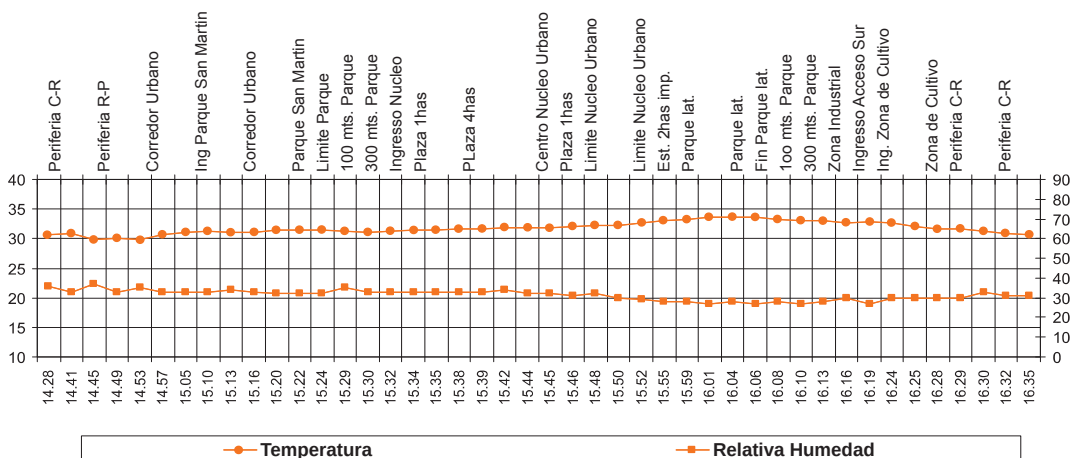


Fig. 9. Temperatura y medida RH en mediodía para Run 2.

Recorrido 3 (20:00 horas)

Hacia el atardecer, pasadas las 20:00 horas cuando el sol vuelve a tener una incidencia nula sobre las diferentes superficies, realizamos nuestro último recorrido. Esta medición, junto con la de la madrugada del día siguiente nos permite visualizar como es la transferencia de calor que las diferentes superficies tienen y la influencia que las áreas vegetadas juegan en el aumento de humedad y disminución de temperatura en la microescala en las horas nocturnas.

Los porcentajes de humedad alcanzan a comienzos de la medición 54% y 27°C de temperatura promedio. Con respecto al área central, se manifiesta una diferencia del 12% de humedad y de 2.10°C por encima de las mediciones de la periferia.

Estas diferencias se acentúan cuando finalizamos nuestro recorrido, aproximadamente a las 23:00 horas. En este punto del recorrido, la humedad comienza en un rápido ascenso a partir de las 22:00 horas y se estabilizará prácticamente a la madrugada, en un 10% a 15 % por encima de la humedad registrada al final del recorrido. Sucede lo mismo con la temperatura que comienza a descender hasta estabilizarse de 9°C a 10°C por debajo de la temperatura medida en el último punto del recorrido (ver fig. 10).

Si observamos los diferentes gráficos a lo largo del día podemos advertir una correlación en cuanto a las variaciones de humedad y temperatura en las zonas analizadas. También podemos ver que en los diferentes puntos del recorrido, al interceptar un espacio vegetado de dimensiones superiores a las 5 hectáreas se produce una variación en el incremento de la humedad que se refleja directamente en una disminución de temperatura, evidenciando así la relación directa que estas variables tienen, fundamentalmente, en áreas vegetadas.

Un efecto similar ocurre cuando nos acercamos a sectores próximos al área urbana, con un alto porcentaje de superficies impermeabilizadas, en donde la humedad decrece rápidamente y da lugar a la aparición del efecto de *urban dry island*. Si bien el descenso de humedad mayoritariamente se debe al ciclo diario de temperatura, se puede distinguir un ciclo de menor amplitud por efecto de la variación en la superficie vegetada. Esto se comprobó con las mediciones efectuadas tanto en superficies vegetadas como impermeabilizadas para un mismo horario, las que mostraron diferencias de humedad y temperatura. La disminución de superficies con capacidad de evaporación dentro del tejido urbano influye en la disponibilidad de humedad, y se traduce en una reducción del confort hídrico, muy importante en las ciudades áridas como la analizada aquí.

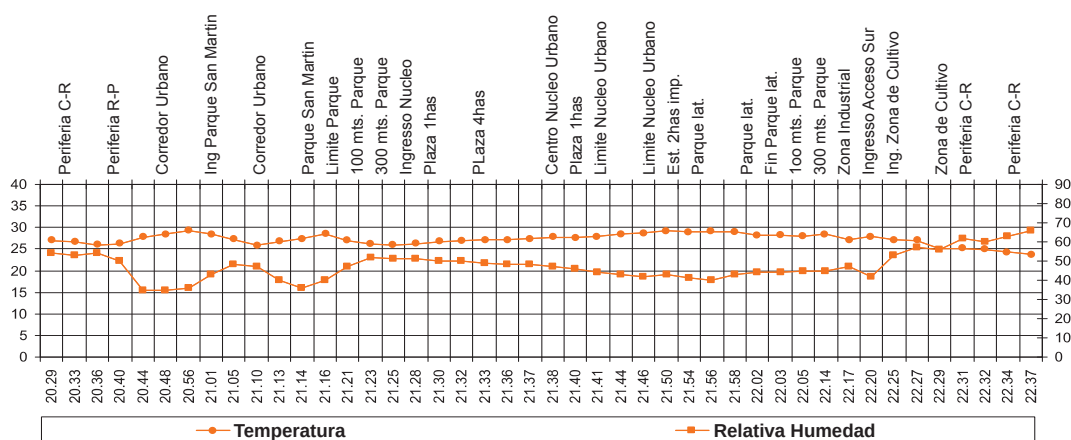


Fig. 10. Temperatura y medida RH la noche para Run 3.

El efecto de Isla Fría en el Parque San Martín

Los datos recolectados nos permiten observar como, durante el día, las variaciones de humedad se reflejan en los cambios de la temperatura con diferentes intensidades, y como esta situación se acentúa cuando interceptamos en nuestro recorrido grandes sectores con

vegetación. Tal es el caso del Parque General San Martín, ubicado en el límite Oeste de la ciudad de Mendoza cuyo espacio, conformado aproximadamente por 350 hectáreas, produce un efecto de isla fría similar a los valores registrados en la periferia durante las primeras horas.

Numerosos estudios dan cuenta del efecto producido por grandes áreas vegetadas, por ejemplo, el parque Chapultepec en ciudad de México, al que utilizaremos como sustrato teórico a fin de comparar el efecto de isla fría producido por esta área vegetada (Jáuregui 1975, 1991) con respecto a las variables relevadas en el Parque San Martín.

Las comparaciones realizadas de las mediciones registradas en ambos espacios verdes muestran variaciones de temperatura que oscilan entre los 2°C a 3°C, con respecto al límite del parque; pero el alcance e intensidad de este efecto difiere notablemente en estas dos áreas vegetadas como veremos a continuación.

El Parque Chapultepec presenta una influencia que extiende el efecto de isla fría en un radio de dos kilómetros, prácticamente el ancho del parque; en las mediciones efectuadas en el Parque San Martín se observa una influencia no tan acentuada, ya que solamente se extiende en un radio no mayor a los 300 metros, a partir del cual comienza a manifestarse un leve ascenso de la temperatura, proporcional al incremento de superficies impermeabilizadas.

El efecto de isla fría que se produce en estos grandes espacios verdes muestra una marcada diferencia en cuanto a su comportamiento y extensión. Este fenómeno se debe tanto a factores geográficos (*sky view factor*, *height above sea level* y *distance form the park border*), como a variables meteorológicas (*wind*, *cloud cover*, *global radiation*, *air temperaure*, *subsurface temperatura* y *humidity*).

Estudios efectuados muestran claramente como la dirección, velocidad e intensidad del viento aumenta la advección entre el límite del parque y las áreas construidas, e influyen también en la intensidad y extensión del efecto de isla fría (Upmanis y Chen 1999).

Por otro lado la configuración de la ciudad, en su diseño de calles, orientación y forma pueden modificar la velocidad del viento, favoreciendo o no la disminución de temperatura. La actual consolidación de las ciudades como un conglomerado de edificios de diferentes alturas rompe el flujo del viento disipándolo en diferentes direcciones y afectando su intensidad dentro de la ciudad (Golany 1996). Este efecto se puede apreciar claramente a medida que ingresamos a la ciudad de Mendoza, en la que, si bien la intensidad del viento en la ciudad es muy baja, cuando entramos en el núcleo urbano, comienza a marcarse una disminución progresiva en la velocidad y dirección, registrando prácticamente un movimiento nulo de aire en el núcleo central, evidenciando turbulencias locales como consecuencia de la forma y dirección que el flujo de vehículos tiene en las diferentes calles, a lo largo de nuestro recorrido.

Entonces podemos inferir que el viento es uno de los factores determinantes del alcance e

intensidad del efecto de isla fría producido por un área vegetada. Además, el balance de energía que el vegetal realiza, a través del cual produce el intercambio de humedad con el ambiente.

Del balance neto de radiación, tenemos que considerar el intercambio de energía con el ambiente, es decir, cómo el calor es conducido de un cuerpo a otro más frío. En el caso del follaje, las hojas poseen una temperatura que solamente varía fuera de su capa límite de aire adyacente a la hoja, y el calor es conducido fuera de esa capa límite por el contacto o choque fortuito con moléculas de aire; este proceso es denominado convección (Nobel 1983).

Existen dos tipos de convección, libre o forzada. De acuerdo con nuestro estudio nos centraremos en la convección forzada, la cual es causada por el viento, que remueve el aire caliente disipándolo fuera de la capa límite de la hoja. Esta disipación será mayor cuanto mayor sea la velocidad del viento. Sin embargo con un viento típico para Mendoza de 0.2 m/s (0.72 km/h), la convección forzada en la vegetación prevalece sobre la convección libre o natural como una forma de disipar calor.

El calor es conducido fuera de la capa límite adyacente a la hoja y luego removido por convección forzada del aire turbulento circundante, generando un efecto localizado alrededor de la planta. Así, el efecto de isla fría producido por el Parque San Martín se extiende aproximadamente a un radio menor a los 300 metros, con una velocidad del viento de 0.2 m/s hacia el área central, produciendo la transferencia de calor por convección forzada.

Este efecto comienza a disiparse al cruzar un sector residencial de una altura promedio a los nueve metros. Si bien esta zona está conformada por una densidad de edificios que contienen un alto porcentaje de superficies vegetadas a modo de jardines particulares, la incorporación de elementos impermeabilizados neutraliza el efecto de isla fría que la convección forzada a 0.2 m/s pudiera generar, evidenciando progresivamente el efecto de isla seca en dirección al núcleo central de la ciudad.

Fuera del radio de influencia de los 300 metros del área vegetada, la humedad comienza a descender y, en forma progresiva, la temperatura hacia el área urbana comienza a ascender, aproximadamente 0.20°C cada 300 metros, estabilizándose en el núcleo del área central 3°C por encima del límite del parque.

Este fenómeno se evidencia hacia el atardecer y se acentúa durante la madrugada. Si bien el efecto de isla fría en el Parque San Martín tiene un alcance más reducido que el estudiado en el parque Chapultepec, las diferencias de temperatura, en cuanto al límite del parque y el área urbanizada coinciden (Jáuregui y 1975, 1991), (ver figura 12).

Resulta interesante mencionar que fuera de este radio de influencia, entre 500 a 700 metros aproximadamente, el escenario urbano comienza a intensificar la densidad de superficies impermeabilizadas o construidas y disminuyen las superficies vegetadas. Si analizamos los

gráficos de temperatura y humedad, estas variaciones coinciden con el punto de ingreso al núcleo urbano, donde la diferencia de humedad hacia la madrugada es prácticamente de un 4.5% menor y el incremento de temperatura es de 0.7°C con respecto del parque, tan solo a 700 metros del área vegetada, en el período en el cual el sol no produce ninguna incidencia y las variaciones de humedad y temperatura ya están estabilizadas.

A medida que nos introducimos en el núcleo urbano, los espacios vegetados comienzan a ser más exigüos y sus medidas responden a superficies regladas por el tejido octogonal de la ciudad de Mendoza, propio de las ciudades coloniales españolas. Estas áreas no superan la hectárea, y solo tienen un espacio diseñado como gran plaza central de aproximadamente 4 hectáreas.

Ahora bien, al analizar las variaciones de temperatura y humedad de estos espacios verdes dentro del tejido urbano de la ciudad de Mendoza, podemos observar una disminución de la humedad y un incremento en la temperatura.

Este aumento de temperatura se mantiene a lo largo de todo el día inclusive durante la noche y en la madrugada, es decir, estos espacios considerados como áreas vegetadas, dentro del tejido urbano, se comportan mayoritariamente como superficies horizontales impermeabilizadas.

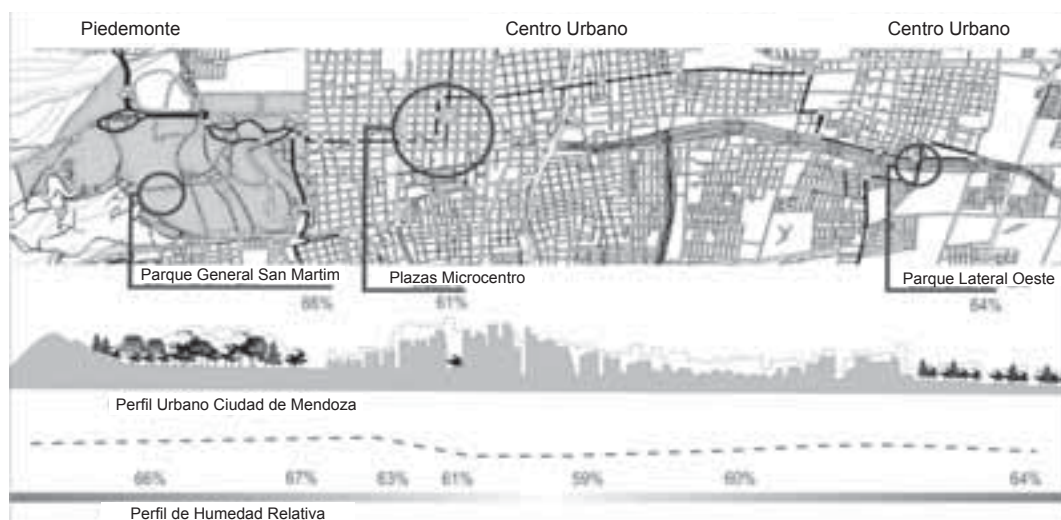


Fig. 11. Variaciones de HR en ciudad de Mendoza – Corte Urbano Oeste - Este.

Si bien las variaciones de temperatura son ínfimas, prácticamente de 0,2°C, nos dan una pauta de cómo se comportan estas áreas en el ambiente urbano. Al observar las variaciones diarias de humedad relativa en estos sectores, podemos ver que no logran consolidarse como áreas de influencia hacia su entorno más próximo, y mantienen los porcentajes de humedad correspondientes a superficies impermeabilizadas, los que oscilan en un 32% ± 2% de humedad relativa; más aún al realizar mediciones puntuales en diferentes sectores hacia el interior de estas plazas urbanas, se evidencian diferencias por debajo de la humedad relativa de su entorno construido, acentuando el efecto de isla seca.

Podemos inferir que el uso de materiales con un alto grado de impermeabilización tales como áreas de circulación o de permanencia en espacios urbanos, deben ser cuidadosamente distribuidos a fin de no disminuir los porcentajes de humedad que tiendan a incrementar el efecto de isla seca y, por consiguiente, a influir de manera negativa en las variaciones de temperatura.

De acuerdo con las mediciones realizadas en los recorridos y considerando que un día normal de verano en la ciudad de Mendoza alcanza temperaturas en promedio de 30°C a 32°C, se observó que elementos como el asfalto registran una temperatura superior al doble de la temperatura del ambiente oscilando en $61^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Estas diferencias de temperatura se acentúan durante el mediodía, mientras que los elementos horizontales vegetados; con un riego por manto cada dos días, no superan la temperatura ambiente.

Estas superficies vegetadas poseen una variación térmica durante el día de $15,2^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a las 6:00 horas; de $31,1^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a las 15:30 horas. y de $21,1^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a las 21:30 horas. Para estos mismos períodos, la temperatura del asfalto es siempre superior a la ambiental, cuyo valor medido fue de 25.5°C; 58.6°C y 36.7°C respectivamente (ver tabla 2 y fig. 12)

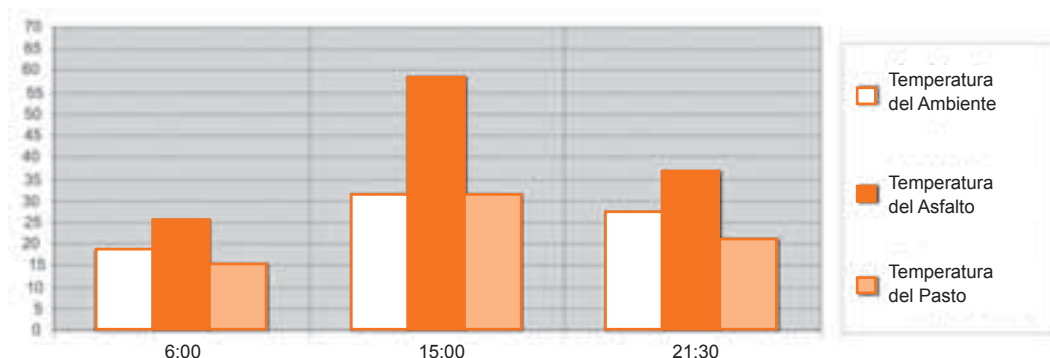


Fig. 12 Diferencia de temperaturas entre superficies impermeabilizadas y vegetadas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el comportamiento de las superficies horizontales impermeabilizadas con asfalto produce un incremento de la temperatura superficial del material y del aire circundante, debido a su gran capacidad de absorción de calor y a la disminución de áreas con capacidad de evaporación (Kjelgren y Montague 1998). Este incremento de temperatura a nivel del material y del aire circundante se evidencia muy marcadamente cuando ingresamos a una avenida contigua al Parque San Martín.

Las mediciones efectuadas en esa avenida se realizaron durante el mes de enero de 2004 y 2005. En el transcurso del año 2004 esta avenida fue ampliada al triple de la superficie original. El desarrollo en planta de esta avenida puede interpretarse como una gran superficie cónica impermeabilizada, que consta de dos áreas con marcadas diferencias: la primera de ellas corresponde al sector de ingreso y es considerada una circulación típica en la ciudad de Mendoza, con veinte metros de ancho. La segunda área ocupa prácticamente el 70 % de la superficie total y posee 60 metros de ancho.

La medición en esta avenida se dividió en tres etapas, la primera sobre el sector de ingreso de 20 metros, la segunda sobre el sector más ancho y la última medición en una vía de circulación auxiliar contigua al primer sector, cuyas características espaciales son similares al primer tramo. Este dato fue obtenido como referencia a fin de evitar posibles desviaciones en las mediciones.

Las mediciones realizadas a lo largo del día y las comparaciones efectuadas entre la dos áreas que conforman la avenida descrita anteriormente, muestran una diferencia de humedad entre ambos sectores de un 2% y un incremento de la temperatura de un 0.3°C en el área más ancha. En días soleados y con una elevada heliofanía. Estas diferencias de humedad y temperatura se producen rápidamente, a menos de 500 metros de distancia con respecto del límite del primer tramo.

Al comparar estos datos con las del centro del parque, se concluye que el aumento de las superficies impermeabilizadas en esta avenida muestra variaciones del 7% de humedad y de 0.5°C de temperatura en la madrugada (5:30 horas), con respecto al centro del parque. En cuanto a la medición del mediodía (14:30 horas) las variaciones se reducen a un 3% de humedad y de 0.2°C. Durante la noche (20:00 horas.) la amplitud térmica entre ambos sectores se hace más notoria, ya que la humedad registra prácticamente un 10% menos y la temperatura marca 2.5°C por encima de la temperatura del centro del parque, ubicado a 3 kilómetros de la superficie impermeabilizada.

El efecto de Isla Fría en el Parque Lateral Este

Continuando con nuestro recorrido, nos dirigimos hacia una zona urbana próxima al núcleo central. Este sector tiene un área verde representativa de sectores urbanos en crecimiento, definida por espacios residuales que el tejido de la ciudad ha dejado sin uso específico del suelo, tal es el caso del Parque Lateral Este, ubicado en ambas márgenes de uno de los accesos principales a la ciudad. Concebido como un espacio verde lineal de 100 metros de ancho aproximadamente y con un largo promedio de 5.800 metros, esta área, se subdivide en diez sectores, cada uno con un largo de 500 metros.

La superficie total para cada margen alcanza una dimensión de 20 hectáreas y las mediciones que realizaremos corresponden al 50% de la margen norte del Parque Lateral Este.

Es importante señalar que estas áreas se presentan como sectores de interés para la localización de áreas residenciales hacia su periferia como también de centros comerciales, debido al fácil acceso y movilidad³ que este sector posee. De esta descripción podemos advertir que el sector se presenta como un complejo escenario donde las áreas residenciales conviven con sectores comerciales, mixturándose con grandes superficies impermeabilizadas horizontales (estacionamientos y vías de circulación) y sectores vegetados, el cual será

³ El término de 'movilidad' es un concepto vinculado a las personas o mercancías que desean desplazarse o que se desplazan; se utiliza indistintamente para expresar la facilidad de desplazamiento. Mientras que la accesibilidad es un concepto vinculado a los lugares, a la posibilidad de obtención del bien, del servicio o del contacto buscado desde un determinado espacio; este término es utilizado para indicar la facilidad de acceso a un determinado lugar. La accesibilidad, por consiguiente, se valora o bien en relación al costo o dificultad de desplazamiento que requiere la satisfacción de las necesidades, o bien en relación al costo o dificultad de que los suministros o clientes alcancen el lugar en cuestión.

nuestro próximo escenario de análisis.

El Parque Lateral Este se encuentra ubicado en el área urbanizada próxima al núcleo central de la ciudad de Mendoza, en el departamento de Guaymallén. Se extiende desde el límite del sector hacia el área central. El diseño interior de este espacio verde no ha incorporado circulaciones o recorridos con superficies impermeabilizadas sino que estas áreas han sido realizadas con materiales tales como ladrillo molido, grava o polvo de ladrillo que permiten la evaporación del suelo, por lo que podríamos considerar que la superficie interior del parque posee el 100% de su capacidad evapotranspirativa.

Las mediciones realizadas en este espacio, a lo largo de los tres recorridos móviles en la ciudad, nos provee datos relevantes con respecto a las variables de humedad y temperatura, que nos permite comparar las características de los diferentes espacios vegetados analizados, posibilitándonos elaborar conclusiones sobre las formas y dimensiones que estas áreas verdes deben tener, en cuanto a su utilización como elemento de diseño urbano para que optimice las características climáticas en ciudades de escala intermedia, con climas desérticos.

A lo largo del recorrido, las variaciones de humedad registradas en proximidades del Parque Lateral Este marcan, en la madrugada un 64% y una temperatura aproximada de 17°C, (como referencia, se midió en el parque y en el centro para esa misma hora). Hacia el mediodía, una humedad de 28% con una temperatura próxima a los 32°C y durante el recorrido de la noche una humedad del aproximada a los 42% con una temperatura de 27°C. El efecto de isla fría producido por el Parque Lateral se extiende prácticamente no más de 60 metros (ver tabla 2).

Table 2. Diferencias de humedad y temperatura entre el núcleo urbano y el parque lateral.

Medidas	Núcleo Urbano		Diferencia RT y T		Parque Lateral Este	
	RH	T	ΔRH	ΔT	RH	T
Madrugada	59	19	5.75	1.975	64.75	17.025
Mediodía	29.25	31.375	0.5	0.325	28.75	31.7
Noche	39	27.675	2.75	0.375	41.75	27.3

Esta área vegetada presenta, a lo largo del día con respecto al núcleo urbano y su entorno, valores que se aproximan a las mediciones observadas en el Parque San Martín, Como puede apreciarse, existe una pequeña variación que se manifiesta con mayor notoriedad durante el mediodía.

El entorno del parque presenta, mayoritariamente, grandes superficies impermeabilizadas de asfalto, tales como vías de circulación, grandes estacionamientos de centros comerciales, supermercados, y en el contexto residencial presenta áreas con, aproximadamente, más del 70 % de su superficie destinada a sectores contruidos. En este sector también hay áreas

residenciales con mayor densidad, es decir, con construcciones en propiedad horizontal de 21 metros de altura en su margen sur.

Extensión del efecto Isla Fría entre parques de diferentes medidas

Al comparar las variaciones producidas entre el Parque San Martín y el Parque Lateral Este, ubicados hacia los polos opuestos de la ciudad de Mendoza en sentido Este-Oeste, podemos ver la similitud de su comportamiento en cuanto a las variaciones de humedad y temperatura a lo largo del día, no así con los sectores verdes insertos dentro de la trama urbana (ver fig. 13).

Estas superficies poseen marcadas diferencias en sus dimensiones, si consideramos las 10 hectáreas que tiene la margen norte del Parque Lateral Este, frente a las 350 hectáreas del Parque San Martín, el primero solo alcanza un 3% del total de la superficie del Parque San Martín. A pesar de esta diferencia, no se registran cambios tan significativos en cuanto al efecto de isla fría, ya que la humedad se mantiene con una diferencia promedio a lo largo del día de 4% y la temperatura con una diferencia inferior a 1,5°C con respecto a los límites del parque.

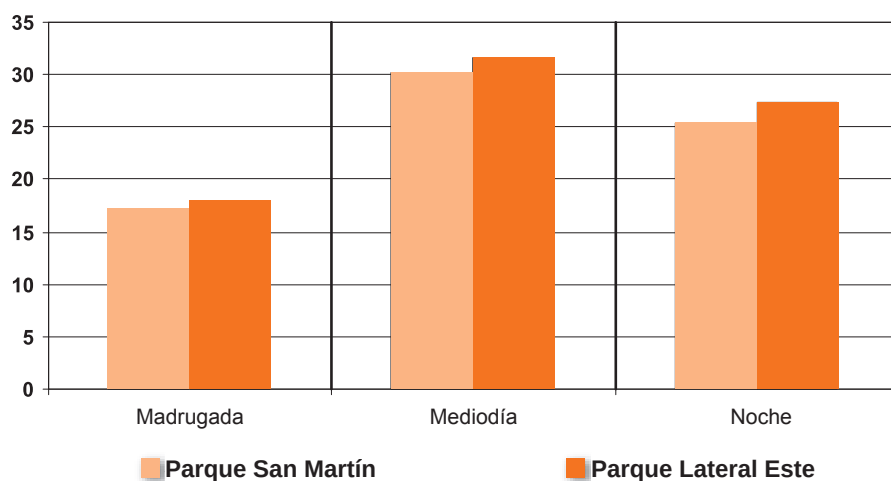


Fig. 13. Variaciones de humedad y temperatura entre diferentes parques.

Otro aspecto importante a considerar es el efecto de isla fría que el frente vegetado del parque produce sobre el área urbana inmediatamente contigua. El efecto de isla fría producido por el Parque San Martín es levemente más acentuado que el del Parque Lateral Este (ver fig. 13).

El primer espacio vegetado posee 2 Km de fachada próximos al área urbana con mayor densidad edilicia y 3 km en sus laterales, mientras que el Parque Lateral Este arroja un efecto de isla fría menor, tanto en intensidad como extensión. Sin embargo los frentes contiguos al área urbana de este último superan al doble a los del Parque San Martín, por lo que, si bien su intensidad es levemente menor, su alcance sobre las superficies construidas frontales es mayor.

Discusión

Las mediciones efectuadas a lo largo de la ciudad de Mendoza, nos permiten observar la generación y comportamiento del efecto de isla seca, en cuanto a las variaciones de humedad en la micro escala, y su influencia sobre la disminución de temperatura en su entorno más próximo. Esta influencia acentúa la importancia que tienen las áreas vegetadas del entorno urbano en la regulación de la humedad relativa y en la disminución de la temperatura de sus alrededores.

Para la periferia, el cambio de humedad y temperatura es más notorio con respecto a las áreas impermeabilizadas, o sea, el núcleo urbano. El incremento de humedad que allí se registra durante madrugada es, en promedio, de 16% por encima de la zona urbana central y la diferencia de temperatura de 5°C por debajo. Estas diferencias se manifiestan especialmente en áreas vegetadas con más del 85% de su suelo cubierto con vegetación o con superficies de alta capacidad de evaporación. Dentro del núcleo urbano es posible encontrar variaciones de temperatura y humedad en las proximidades de grandes superficies vegetadas como los parques, pero nunca superiores a los 3°C con respecto a la temperatura y 9% de humedad.

Por otro lado, se ha mostrado la extensión del efecto de isla fría producido por las diferentes áreas vegetadas hacia el núcleo urbano, considerado desde el límite del parque, con una velocidad de viento de 0.2 m/s. Este efecto principalmente se extiende por convección forzada hacia las áreas impermeabilizadas, en un rango que varía por debajo de los 100 metros hasta no más de 300 metros de distancia, dependiendo de las dimensiones de las superficies vegetadas como veremos a continuación.

La extensión del efecto de isla fría registrada en estos espacios nos permite realizar algunas aproximaciones sobre las dimensiones que un parque debería tener en cuanto a la profundidad y a su frente vegetado, para ser considerado como un elemento que influya en el ambiente de la ciudad.

En primer lugar hemos podido advertir que las variaciones de humedad y temperatura hacia el interior de grandes áreas vegetadas (Parque General San Martín), se mantienen prácticamente constantes, pero próximo a su límite externo éstas marcan una leve disminución en temperatura y un ascenso en la humedad relativa, es decir, el área central del parque manifiesta una saturación de humedad constante que regula la temperatura a niveles estables.

A su vez hemos podido observar en las mediciones efectuadas que aquellas grandes superficies vegetadas próximas a las 300 hectáreas con una profundidad de 2.000 metros, solamente logran una extensión en el efecto de isla fría de 300 metros lineales desde el límite del parque hacia el núcleo urbano.

Por otro lado, las áreas vegetadas de menores dimensiones, próximas a las 10 hectáreas como el Parque Lateral Este con solamente 100 metros de profundidad, logra una extensión próxima a los 60 metros de distancia desde su límite vegetado, prácticamente una extensión superior a la mitad de su profundidad.

Al comparar ambos espacios en cuanto a su profundidad y a la extensión del efecto de isla fría, podemos observar que el Parque Lateral Este con solamente el 5% de profundidad en relación al Parque San Martín obtiene un 20% de la extensión del efecto de isla fría registrada en esta gran área vegetada (ver tabla 3).

Un primer corolario nos permite establecer que los actuales parques en la ciudad de Mendoza evidencian falencias en cuanto a sus dimensiones como elemento regulador del ambiente. En conclusión el tamaño y la forma empleado en el diseño de estos espacios influyen en las variaciones de las variables analizadas. El tamaño de las áreas vegetadas produce variaciones de humedad y temperatura directamente relacionadas con la extensión del efecto de isla fría, no así de la intensidad como podemos observar en la tabla 3.

Estas pautas nos permiten establecer consideraciones generales en cuanto al diseño de estas áreas. Desde nuestra perspectiva, los parques insertos en ambientes urbanos deben contemplar en el diseño, además de sus aspectos estéticos, elementos orientados a regular el ambiente climático que justifiquen aún más su incorporación dentro del tejido urbano, en especial para aquellas ciudades en crecimiento.

Tabla 3. Valores promedios de ΔT y ΔHR entre los parques.

Mediciones	Parque San Martín		Parque Lateral Este	
Superficie	350 has.		10,40 has.	
	Temp. °C	ΔT	Temp. °C	
Madrugada	17,2	0,7	17,975	
Mediodía	30,175	1,5	31,675	
Noche	25,475	1,8	27,3	
	RH %	ΔHR	RH %	
Madrugada	67,25	2,5	64,75	
Mediodía	31,5	2,8	28,75	
Noche	48,5	6,8	41,75	
Extensión Efecto Isla Fría	metros lineales		metros lineales	
	≥ 300 m		≥ 100 m	

Este aspecto del diseño de áreas verdes requiere pensar la planificación urbana no como la intervención en los espacios residuales que la ciudad va dejando sin uso sino que, por el contrario, debe ser concebido como el elemento que posibilita ordenar el tejido de la ciudad, sea cual fuere la escala del proyecto urbano, y permitir organizar el territorio para soportar diversos usos.

Las mediciones efectuadas nos permiten concluir que al momento de diseñar espacios verdes que influyan sobre el ambiente, los espacios de recreación y esparcimiento con una fuerte impronta estética y, por ende, con mayores superficies impermeabilizadas deben zonificarse hacia el interior del parque, y el área destinada a influir climáticamente el entorno urbano debe ubicarse hacia los límites del mismo, a modo de anillo contiguo al área urbanizada, para potenciar el efecto de isla fría.

Hemos advertido que el núcleo del parque, al estar sobredimensionado, muchas veces no interviene en la extensión del efecto de isla fría, pero es en esta área donde se mantienen más estables los niveles de humedad y temperatura, comportándose el núcleo del parque como un lugar óptimo para la realización de actividades recreativas.

Esta zonificación responde fundamentalmente a dos criterios: en primer lugar, las áreas vegetadas próximas a superficies construidas producen un intercambio de calor que recién comienza a percibirse en superficies con una profundidad no inferior a los 100 metros totalmente vegetados. Superado los 500 metros, este efecto no registra una extensión del efecto proporcional a su ancho.

En segundo lugar debemos considerar la superficie de frente vegetado con la que el parque se conecta al área urbana, la que, al momento de diseñar un parque, adquiere mayor relevancia sobre su profundidad.

Como hemos podido observar los diferentes espacios verdes insertos en la trama urbana de la ciudad de Mendoza, de dimensiones que varían entre 1 y 4 hectáreas, al poseer aproximadamente un 60% de su superficie impermeabilizada, no logran consolidar el efecto de isla fría, como tampoco logran una influencia de este efecto hacia su entorno más próximo, comportándose mayoritariamente como superficies impermeabilizadas.

Existen determinados factores que deben ser estudiados y analizados al momento de incorporar vegetación urbana, teniendo en cuenta su altura, porte específico, forma, densidad foliar, requerimientos hídricos, entre otros. Si bien algunos de estos conceptos son considerados durante el proceso de diseño de espacios verdes, pocas veces se reflexiona acerca de cómo van a influir en el ambiente donde se han de introducir y menos aún, cómo afectarán en una escala general o global. Esto se debe a que la concepción actual de los espacios verdes es regida, fundamentalmente, por criterios meramente estéticos que consideran a la vegetación solo como una herramienta más a incorporar durante el diseño de estos espacios, y que permite ampliar los recursos estéticos en el diseño, considerado únicamente como un mobiliario urbano.

En la planificación de las áreas verdes urbanas, la falta de conocimiento del dimensionamiento de superficies como la relación entre los porcentajes de materiales impermeabilizados y vegetados a incorporar, puede transformar el uso de estas áreas en un problema dentro de la ciudad.

En aquellas ciudades intermedias que, como en el caso de Mendoza, poseen climas muy rigurosos en lo referente a precipitaciones y humedad, se hace necesario rever las políticas de planificación enfocadas al diseño de áreas verdes que orienten sobre el uso racional del suelo y de su recurso fundamental: el agua.

En climas con características desérticas, donde la radiación absorbida por las superficies horizontales en los meses de verano es muy marcada, sobre todo en aquellas superficies impermeabilizadas, es necesario considerar de suma importancia la utilización de espacios verdes a nivel de suelo, y la existencia de áreas vegetadas, priorizando en el diseño interior de estos espacios, la incorporación de áreas con capacidad de evaporación en pos de sectores impermeabilizados dentro del tejido de las ciudades.

La dinámica del crecimiento urbano manifestada inicialmente como cambios en el uso del suelo perturba directamente el metabolismo de los ecosistemas tanto antrópicos como naturales.

Como se ha podido apreciar las variaciones de temperatura y humedad afectan el clima local de la ciudad y producen diferentes efectos conocidos como *urban dry island* y *urban heat island*. Este fenómeno no sólo modifica el confort climático de sus ciudadanos sino también afectan el clima global por incremento de los flujos de CO₂.

Teniendo en cuenta la variación de la amplitud térmica e hídrica en las ciudades áridas, se prevé un aumento proporcional importante de las emisiones de GEI (*Green House Gas Emissions*) a efectos de compensar esta disminución del confort ambiental. Si se considera la población mundial que habita ciudades intermedias en zonas áridas, se comprenderá la necesidad de profundizar el estudio de los complejos procesos climáticos urbanos, a fin de mitigar y disminuir sus efectos.

En un contexto regional, este estudio también se justifica debido a los elementos emergentes en los procesos de transformación y crecimiento de ciudades intermedias en América Latina, como consecuencia del desarrollo y evolución de factores políticos, económicos y sociales, de los cuales la ciudad de Mendoza no queda exenta.

Agradecimientos

Los autores están agradecidos en especial al Ingeniero Bruno Cavagnaro por su asesoramiento desinteresado y sus precisos comentarios; al Ingeniero José L. Quero por su apoyo con los equipos de medición, Ana Teresa Gómez, Jefe Departamento del Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina, Comando de Regiones Aéreas por los datos e información brindada, al Dr. Ernesto Jáuregui por sus comentarios y la bibliografía que tan gentilmente nos concedió, como también al Dr. Roberto Sanchez por su invaluable apoyo y asesoramiento durante la elaboración de este capítulo.

Bibliografía

Barradas, V. L., Tejeda Martínez, A., y Jáuregui, E. 1999. "Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City." *Atmospheric Environment* 33:4109–4113.

Bellet, C. y Llop, J. M. 2004. "Miradas a otros espacios urbanos: las ciudades intermedias." *Geo Crítica/Scripta Nova* 8(165). Universidad de Barcelona, España.

Bochaca, F. R. 2005. "El verde en la estructura urbana de Mendoza." *Arquitectura–Infraestructura* 60:68–71.

Charciarek, T. 2001. *Daily Course of Vapour Pressure and Relative Humidity Differences between Urban and Rural Sites in Lodz*. University of Lodz, Lodz, Poland.

Dimoudi, A. y Nikolopoulou, M. 2003. "Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits." *Energy and Buildings* 35:69–76.

Golany, G. S. 1996. "Urban design morphology and thermal performance." *Atmospheric Environment* 30:45–65.

Heisler, G. M. 1986. "Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings." *Urban Ecology* 9:337–359.

Jáuregui, E. O. 1975. "Microclima del Bosque de Chapultepec." *Boletín del Instituto de Geografía* 6. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad del Mexico, Mexico.

Jáuregui, E. O. 1991. "Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city." *Energy and Buildings* 15:457–463.

Kjelgren, R. y Montague, T. 1998. "Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces." *Atmospheric Environment* 32:35–41.

Koerner B. y Klopatek, J. 2002. "Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban environment." *Environmental Pollution* 116:45–51.

Nobel, P. S. 1983. *Biophysical Plant Physiology and Ecology*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, CA. 608 pp.

Pokorný, J. 2001. "Dissipation of solar energy in landscapes controlled by management of water and vegetation." *Renewable Energy* 24:641–645.

Pomerantz, M., Akbari, H., Chang, S. C., Levinson, R. y Pon, B. 2003. *Examples of Cooler Reflective Streets for Urban Heat-Island Mitigation: Portland Cement Concrete And Chip Seals*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL-49283. (<http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-49283>).

Puliafita, E., Guevara, M. y Puliafita, C. 2001. "Modeling air pollution in an industrial area using GIS as an assessment tool." *Air Pollution*, vol. 9 of the series *Advances in Air Pollution* (Latini, G., y Brebbia, C., Eds.). Editorial Witt Press, Southampton, England.

Puliafita, E., Guevara, M. y Puliafita, C. 2003. "Characterization of urban air quality using GIS as management system." *Environmental Pollution* 122:105–117.

Puliafita, E. y Puliafita, C. 2005. "Monitoring and modeling air quality in Mendoza, Argentina." In: *Regional and Local Aspects of Air Quality*, vol. 12 of the series *Advances in Air Pollution* (Elson, D., y Longhurst, J., Eds.). Editorial Witt Press, Southampton, England.

Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D. y Taha, H. 1995. "Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates." *Energy and Buildings* 22:255–265.

Shashua-Bar, L. y Hoffman, M. E. 2000. "Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees." *Energy and Buildings* 31:221–235.

Shashua-Bar, L. y Hoffman, M. E. 2003. "Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees." *Energy and Buildings* 35:61–68.

Upmanis, H. y Chen, D. 1999. "Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences — A case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden." *Climate Research* 13(2):125–139.

Crecimiento Urbano y Sus Consecuencias a Nivel Regional en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, México

5

Autores:

Erna López
Manuel E. Mendoza
Gerardo Bocco
Alejandra Acosta

En años recientes, las actividades humanas han sido reconocidas como la mayor fuerza modeladora de la biosfera y son aún más responsables que las fuerzas naturales por la mayoría de los cambios contemporáneos en los flujos y estados de la biosfera.

Los cambios en la cobertura y uso del suelo (CCUT) son resultado de una compleja interacción entre el ser humano y el medio biofísico. Estos cambios actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales y su comprensión, así como la de las fuerzas sociales que los manejan son un tema de crucial importancia para entender, modelar y predecir el cambio del ambiente local, regional y global, con el fin de responder a este cambio.

En el presente capítulo se estudia el crecimiento de las localidades urbanas (mayores de 2.500 habitantes) ubicadas dentro de la cuenca del Lago de Cuitzeo, lugar considerado como un sitio de preservación y estudio por diferentes organismos internacionales.

Este trabajo se basa en el uso intensivo de fotografías aéreas correspondientes a los años de 1975 y 2000, así como también en el uso de Sistemas de Información Geográfica. El estudio concluye que la población en la cuenca es predominantemente urbana y tiende a concentrarse en los 26 asentamientos urbanos que existen en la zona, principalmente en la Ciudad de Morelia, capital del estado de Michoacán y que en los últimos años ha tenido un crecimiento superior al 600% en el tamaño de la mancha urbana.

Los principales problemas que existen en la zona son la falta de planeación del crecimiento urbano de todas las ciudades ubicadas en la cuenca, el aumento del consumo de agua por parte de la población y los cultivos de riego y la falta de plantas de tratamiento de las aguas residuales.

El agua que recibe el Lago de Cuitzeo proviene de las aguas residuales de la Ciudad de Morelia y de las aguas de riego de los campos de cultivo que lo rodean, lo que ha ocasionado el crecimiento desmedido de la vegetación presente en el cuerpo de agua y la desecación anual de una parte del lago (el cual ocupa el segundo lugar en extensión en México).

Introducción

Los cambios inducidos en el paisaje y los ecosistemas a causa de la actividad humana, suelen tener tal relevancia que, aun a escala global, afectan de forma significativa aspectos claves del funcionamiento de los sistemas terrestres (Lambin et al. 2001), porque pueden contribuir al cambio climático local y regional, así como al calentamiento global (Houghton et al. 1999). En particular, muchos de los cambios son la fuente primaria de la degradación de los suelos (Tolba y El-Kholy 1992). Al alterar los servicios de los ecosistemas, su capacidad aportar a la satisfacción de las necesidades humanas, aún a las más básicas, comienza a verse comprometida (Vitousek et al. 1997). Cada cambio también determina, en parte, la vulnerabilidad de los lugares y las personas a las perturbaciones climáticas, económicas y socio-políticas (Kasperson et al. 1995).

Los factores que producen el cambio de cobertura y uso del terreno (CCUT), así como las consecuencias del mismo, se encuentran conformados por variables socioeconómicas y ambientales. Sin embargo, no existen suficientes análisis cuantitativos sobre la importancia relativa de estos elementos con el CCUT, ya que interpretaciones de cómo estos factores interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole et al. 1994; Kummer y Turner II, 1994). De esta manera, el impacto potencial del CCUT en el ambiente físico y social ha estimulado la investigación de sus principales causas y efectos (Veldkamp y Verburg 2004).

Las transformaciones de los sistemas naturales realizadas por el ser humano son propias de la aparición del hombre como especie dominante. Tradicionalmente ha existido una tendencia a presuponer que el progreso social y económico se encuentra invariablemente asociado con el incremento de la urbanización y el rol ascendente de las ciudades en el proceso de desarrollo (Juppenlatz 1990). Ahora, como una increíble paradoja, algunos de los logros realizados con base en el desarrollo científico y tecnológico con la intención de mejorar las condiciones de vida, se presentan como una amenaza para el planeta que habitamos y para el equilibrio de los ecosistemas.

De acuerdo con Grübler (1994), la proporción que ocupan los asentamientos urbanos en el planeta es menos del 2%; sin embargo, la población que habita en ellos requiere de infinidad de recursos para subsistir, y son los principales causantes de la degradación de bosques, tierras de cultivo, pastizales y áreas rurales, en donde la huella ecológica de la población urbana es crítica para evaluar los cambios que ocurren en la superficie terrestre.

En la actualidad, una forma de delimitar espacialmente y analizar el crecimiento de los asentamientos humanos es por medio de la percepción remota (PR) y los sistemas de información geográfica (SIG).

En este trabajo se analiza el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en los asentamientos

urbanos ubicados en la cuenca de Cuitzeo, durante el periodo comprendido entre 1975 y 2000.

Área de Estudio

La cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo comprende alrededor de 4.000 Km², se localiza en la parte norte del estado de Michoacán de Ocampo, entre los 19° 30' y los 20° 05' de latitud norte y los 101° 35' y los 101° 30' de longitud oeste. Se ubica dentro de la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal. Los principales tipos de suelo que existen en la zona de estudio son los Vertisoles, Luvisoles y Andosoles. La cuenca está conformada por colinas, lomeríos altos y planicies desarrolladas sobre materiales volcánicos de composición intermedia a básica y sedimentos lacustres que van del Mioceno al Reciente (Mendoza 2002; Pasquarè et al 1991).

El Lago de Cuitzeo, tiene una extensión aproximada de 300 km². La importancia de la cuenca radica en que este lago es el humedal continental más grande del país, con presencia de cientos de aves migratorias cada año. Se localiza en una altiplanicie a casi 2.000 metros. Es somero, salobre y está afectado por procesos de degradación derivados de actividades antrópicas.

La precipitación se incrementa desde el norte hacia el sur, mientras que la temperatura asciende desde el sur hacia el norte. La distribución espacial de estos parámetros indica que el área de estudio se ubica en una zona transicional, entre los climas templado-secos a los templado-húmedos.

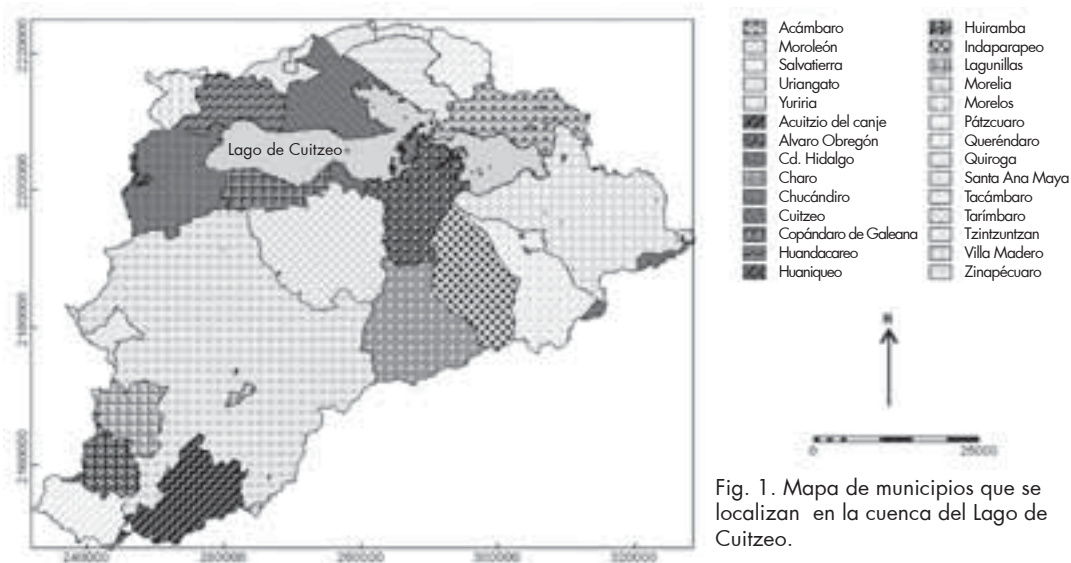


Fig. 1. Mapa de municipios que se localizan en la cuenca del Lago de Cuitzeo.

Fuente: División Municipal del Instituto de Geografía de la UNAM.

La cuenca está conformada por 28 municipios (figura 1), en los cuales en el año de 1970 existían 392 asentamientos humanos y en el año 2000 eran 687 localidades (INEGI 2000) (figura 2, tabla 2). La población de la cuenca en el año de 1970 era de 380.787 habitantes (16.4% de la población estatal) y en el año 2000 era de 837.773 habitantes (21.6% de la población estatal).

Las principales actividades económicas que se desarrollaban en la zona de estudio en 1975 eran principalmente agropecuarias con cultivo de granos y producción de animales (en promedio el 88% de la población económicamente activa se dedicaba a realizar actividades primarias). En el año 2000 únicamente el 30% de la población económicamente activa se mantenía en el sector primario y el resto se dedicaba a actividades secundarias y terciarias (INEGI 1970, 2000).

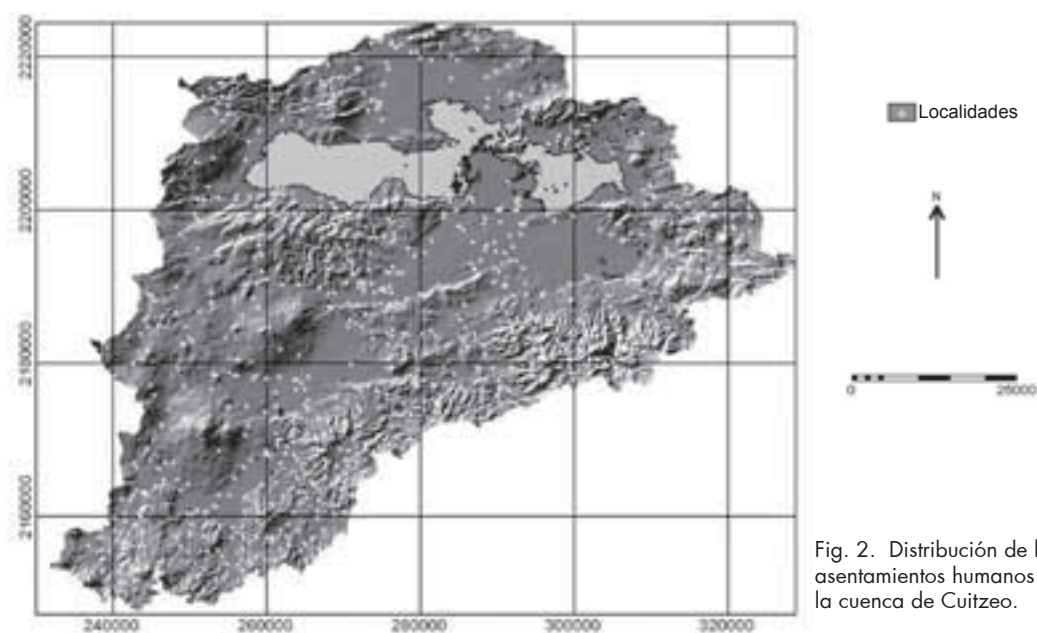


Fig. 2. Distribución de los asentamientos humanos en la cuenca de Cuitzeo.

Fuente: INEGI-CONAPO, localidades, conteo 1995
INEGI, Mapas topográficos, escala 1:50,000.

Tabla 1. Número de Asentamientos Humanos por Municipios en la Cuenca de Cuitzeo.

Municipio	Nº. de Localidades Rurais		Nº. de Localidades Urbanas	
	1970	2000	1970	2000
Acámbaro	9	13	1	1
Acuitzio	20	34	1	1
Álvaro Obregón	20	42	1	1
Copándaro	11	14	1	1
Cuitzeo	15	19	1	3
Charo	17	37	1	1
Chucándiro	20	20	0	0
Hidalgo	1	2	0	0
Huandacareo	6	7	1	1
Huaniqueo	0	0	0	0
Huiramba	11	7	0	1
Indaparapeo	15	34	1	2
Lagunillas	8	14	0	0
Madero	0	1	0	0
Morelia	101	216	1	4
Morelos	11	14	0	0
Moroleón	4	5	0	0
Pátzcuaro	3	9	1	1
Queréndaro	14	15	1	1
Quiroga	1	1	0	0
Salvatierra	8	8	0	0
Santa Ana Maya	15	17	1	1
Tacámbaro	0	0	0	0
Tarímbaro	32	61	1	4
Tzintzuntzan	0	0	0	0
Uriangato	7	12	0	0
Yuriria	2	4	0	0
Zinapécuaro	25	47	2	4

Fuente: Elaborado a partir de INEGI (1970 y 2001).

Métodos

El presente trabajo se basa en la comparación secuencial de fotos aéreas pancromáticas blanco y negro de INEGI (figura 3). La escala aproximada fue de 1:50,000 para el año de 1975 y de 1:37,000 para el año 2000. La escala final de los mapas fue 1:50,000. La interpretación de las fotografías aéreas se realizó utilizando un estereoscopio de espejos.

Los criterios que este análisis aporta, permiten reconocer los elementos a identificar (tamaño, forma, tono, textura y patrón) de acuerdo con la leyenda de cobertura/uso del terreno generada en este trabajo. Las categorías de cobertura vegetal y uso de terreno representan a los bosques abiertos y semiabiertos, bosques cerrados, matorrales y pastizales, plantaciones, cultivo de riego, cultivos de temporal, asentamientos humanos, terrenos baldíos, cuerpos de agua y erosión.

La exactitud de la interpretación se evaluó con una matriz de confusión, y además, con el objeto de validar la calidad espacial de la base de datos, se realizó la verificación de polígonos siguiendo la técnica descrita por Bocco y Riemann (1997).

El material cartográfico necesario para la elaboración de la investigación consistió en las cartas topográficas (1:50,000) y de suelos (1:50,000) de INEGI, así como la geomorfología de Mendoza et al (2001). La generación y manipulación de la información espacial se realizó con el programa ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*) versiones 1.41 (ILWIS 1990) y 2.23 (ILWIS 1998).

Una vez realizada la fotointerpretación de la cobertura vegetal y del uso del terreno, así como su validación en campo, se procedió a su digitalización en un modelo vectorial dentro del SIG. Posteriormente, los arcos digitalizados se restituyeron automatizadamente dentro del sistema, a fin de generar las bases de datos de los mapas de cobertura de 1975 y 2000.

Finalmente se realizó la sobreposición espacial de las bases de datos de cobertura vegetal y uso del terreno, a fin de reconocer cuáles eran los principales procesos de cambio que ocurrieron en la cuenca en el periodo de estudio.

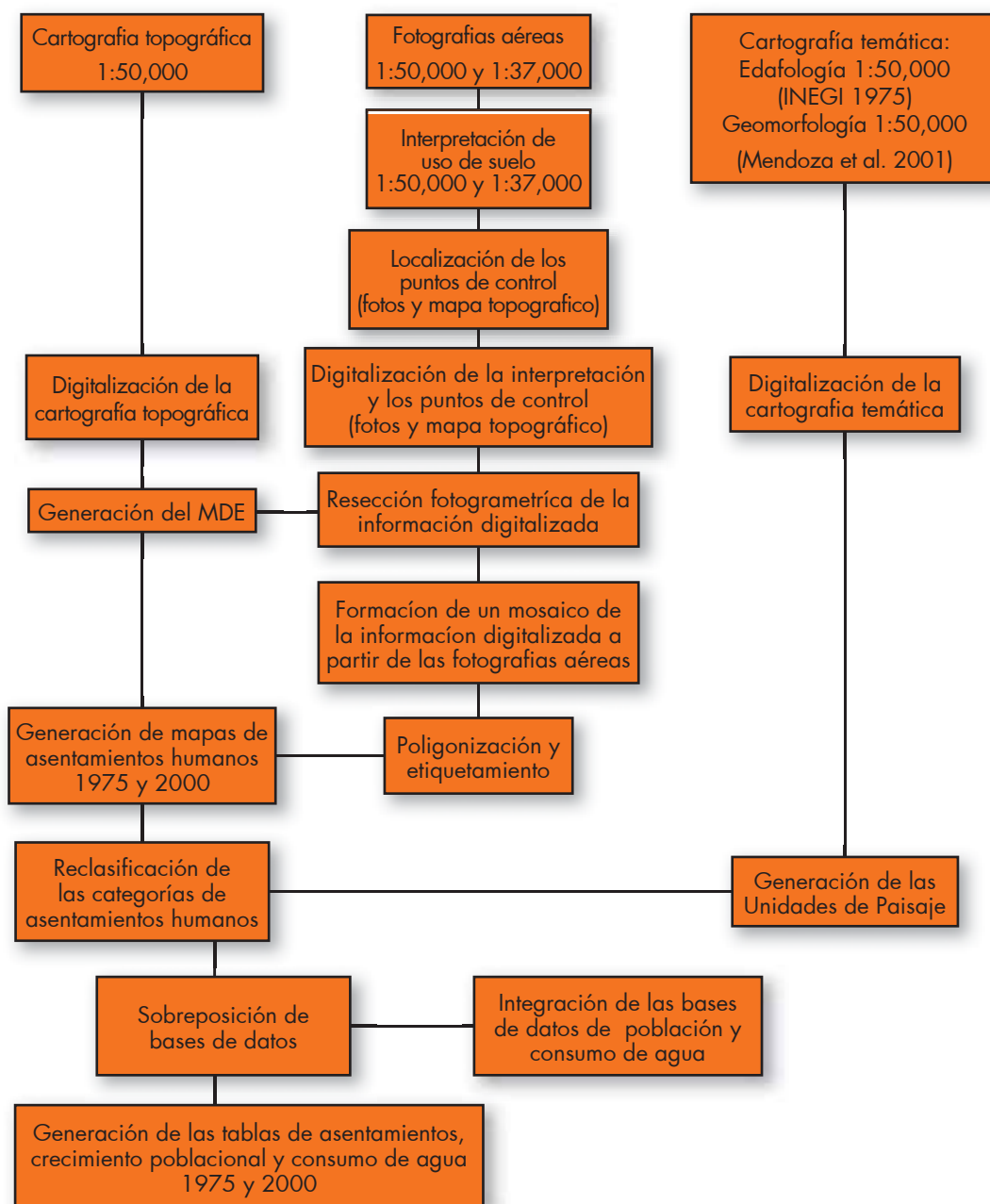


Fig. 3. Diagrama del procedimiento utilizando en la investigación.

Resultados

Calidad de la base de datos

De acuerdo con la matriz de confusión todas las categorías se encuentran por arriba del valor mínimo de exactitud (90%). La exactitud obtenida es alta debido a que durante las salidas a campo se etiquetó, al menos, el 30% de los polígonos de cada clase de la interpretación de las fotografías aéreas.

La confiabilidad de la corrección geométrica de la fotointerpretación se localiza dentro del error aceptable para la escala del trabajo (menos de 1 mm en el papel - 50 m en el terreno). Con relación al nivel de confianza de la base de datos digital (Bocco y Riemmann 1997) se puede indicar que los muestreos realizados para los años 1975 y 2000, presentaron valores de confianza mayores a 97.

Cobertura vegetal y uso del terreno

En el tabla 2 se observa claramente que las coberturas predominantes por superficie, en orden decreciente, para el año 1975, fueron cultivos de temporal, matorrales, bosques y cultivos de riego; mientras que en el año 2000 fueron matorrales, bosques, cultivos de temporal y cultivos de riego. Proporcionalmente, los asentamientos humanos crecieron al doble, lo que indica una alta tasa de transformación de otras coberturas hacia asentamientos humanos.

La distribución espacial de las coberturas vegetales y usos del terreno para cada año se presenta en las figuras 4 y 5. En ellas se aprecia claramente que la cobertura de bosques templados se localiza en la porción sur de la cuenca, mientras que la cobertura de matorrales se presenta principalmente en la porción centro y norte de la misma. El asentamiento urbano más importante dentro de la cuenca, la ciudad de Morelia, está localizada en la sección central de la zona de estudio.

Tabla 2. Superficie en hectáreas (ha) y % que ocupan cada clase de cobertura y uso de terreno en la cuenca del Lago de Cuitzeo, en los años 1975 y 2000.

Categorías de Cobertura	1975		2000	
	Área (ha)	Porcentaje de cobertura (%)	Área (ha)	Porcentaje de cobertura (%)
Bosque	67.485	16.9	80.390	20.1
Matorrales	74.475	18.6	94.073	23.5
Pastizales	33.743	8.4	27.062	6.8
Cultivos de Temporal	117.603	29.4	68.344	17.1
Cultivos de Riego	56.794	14.2	64.313	16.1
Plantaciones	897	0.2	3.165	0.8
Vegetación Acuática	1.999	0.5	5.718	1.4
Lago	37.685	9.4	32.258	8.1
Bordo	1.225	0.3	1.638	0.4
Asentamientos Humanos	8.115	2.0	23.060	5.8

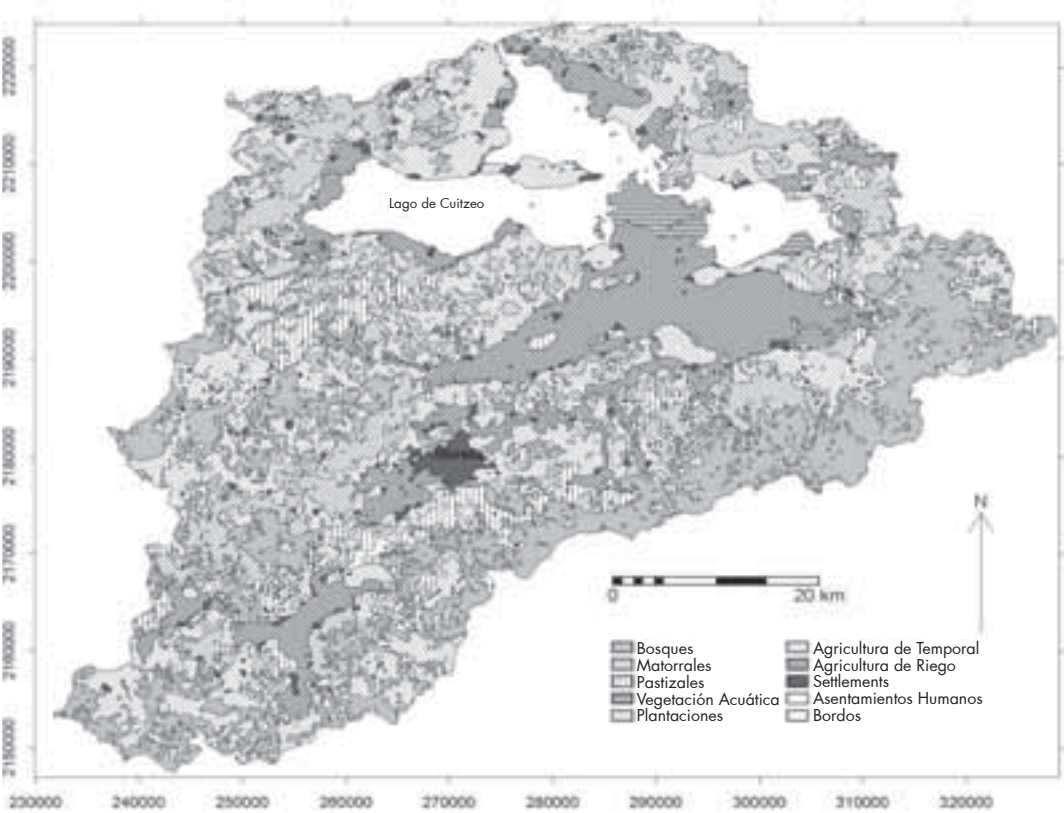


Fig. 4. Distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del Lago de Cuitzeo en 1975.

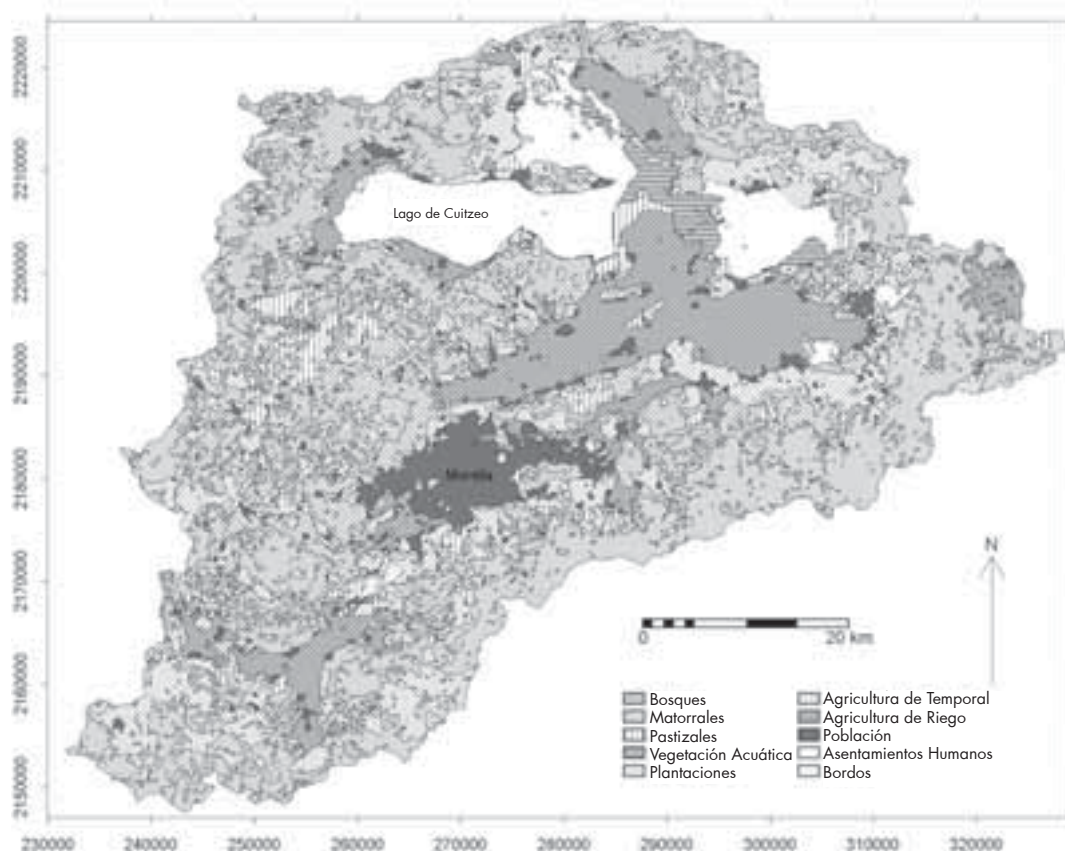


Fig. 5. Distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del Lago de Cuitzeo en 2000.

Análisis de cambio de la cobertura vegetal y uso del terreno

El análisis anterior permitió generar un mapa de procesos de cambio predominantes en la cuenca (figura 5) y calcular las superficies de estos cambios (figura 6). Los procesos con mayor distribución corresponden a la matorralización y recuperación del bosque, cada uno de ellos con alrededor del 10% de superficie en relación con la cuenca; la deforestación (6%) y la degradación de las coberturas boscosas (2%), así como la urbanización (4%) y la reducción de la cobertura del lago (1%) son los procesos que siguen en importancia relativa en la cuenca. Estos procesos pueden ser vistos como indicadores del estado en el que se encuentra la cuenca.

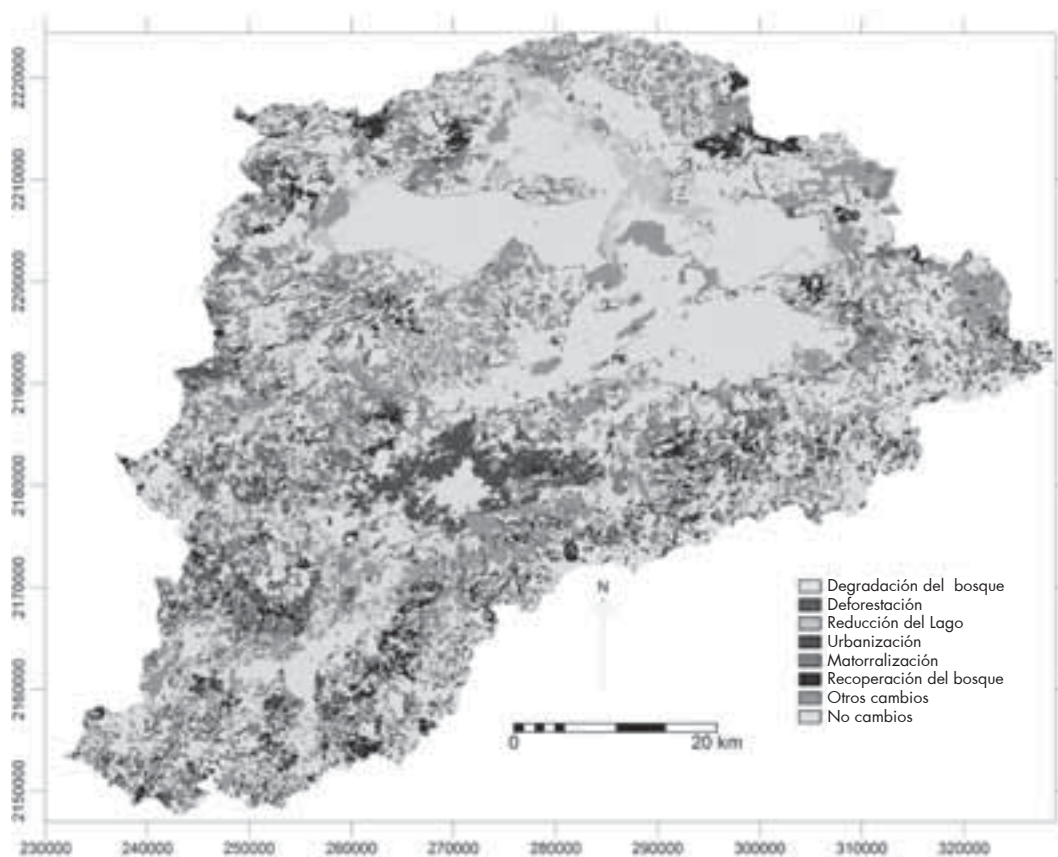


Fig. 6. Mapa de procesos de cambio entre 1975 y 2000.

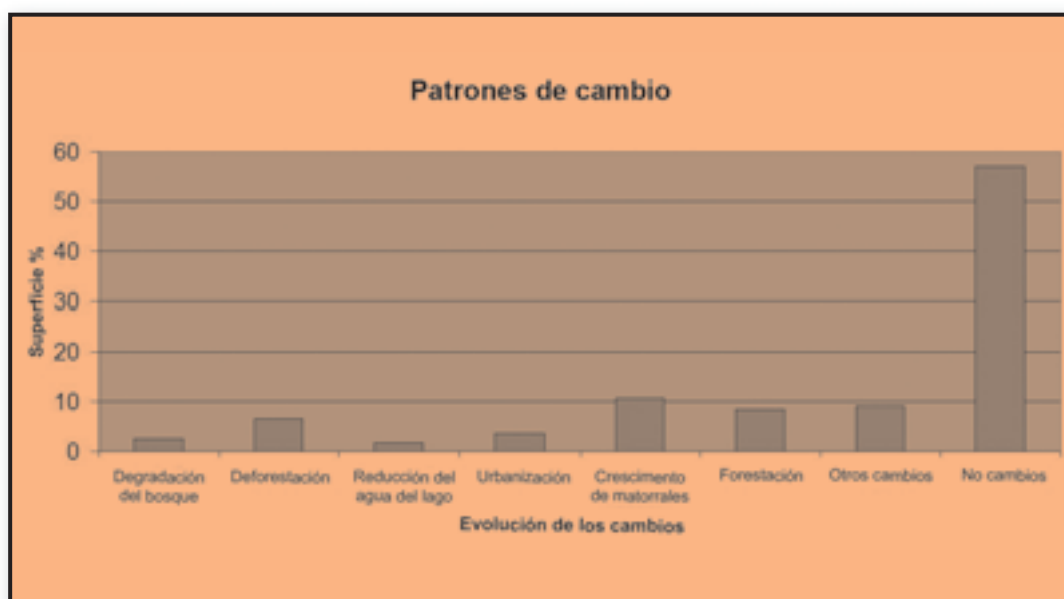


Fig. 7. Superficies porcentuales de los principales procesos de cambio en la cuenca de Cuitzeo entre 1975 y 2000.

Análisis de cambio en las áreas urbanas

En la cuenca de Cuitzeo se localizaban 392 asentamientos humanos en el año de 1970 y 687 en el año 2000; en ambos casos el 4% del total de los asentamientos eran urbanos (tabla 3). Es decir, a pesar de que el número total de asentamientos (urbanos y rurales) creció el 70% entre 1970 y 2000, la relación entre el número de asentamientos rurales y urbanos se mantuvo. En el presente trabajo se estudiaron únicamente 26 asentamientos urbanos, es decir: aquellos con más de 2.500 habitantes.

Es importante resaltar que la distribución de los asentamientos humanos no es totalmente al azar. Una revisión de los mapas de cobertura (en conjunto con el resto de las bases de datos temáticas) permite reconocer que ellos están alineados este-oeste y suroeste-noreste. Esta alineación se debe a que están ubicados en zonas relativamente altas y ligeramente inclinadas.

En primera instancia este patrón obedece a la necesidad de aprovechar las tierras bajas y planas con mejores suelos para la actividad agrícola (distrito de riego Morelia-Queréndaro), además de alejarse de las tierras inundables. Las zonas elevadas e inclinadas están estrechamente asociadas a las características geológicas de la región. En especial, las áreas alineadas con las direcciones mencionadas corresponden a planos de fallas geológicas con algún nivel de actividad.

La ciudad de Morelia es un caso excepcional dentro de la cuenca porque se está expandiendo hacia zonas fuertemente inclinadas (escarpes de falla activos) y zonas inundables. Este patrón de expansión está incrementando el nivel de riesgo y, consecuentemente, la vulnerabilidad de la población de la ciudad ante las amenazas naturales (Lopez et al. 2001).

Tabla 3. Superficie de los diferentes asentamientos urbanos en los años de 1975 y 2000.

Asentamientos urbanos	Superficie (Ha)	Superficie (Ha)	Crecimiento 1975-2000	
	1975	2000	Ha	%
Acuitzio del Canje	95	103	8	8
Álvaro Obregón	48	199	151	315
Bocaneo	9	47	38	422
Capula	39	72	33	85
Charo	32	87	55	172
Copándaro de Galeana	47	72	25	53
Cuanajo	47	89	42	89
Cuitzeo del Porvenir	130	209	79	61
Cuto del Porvenir	12	76	64	533
Huandacareo	120	285	165	138
Huiramba	27	52	25	93
Indaparapeo	51	207	156	306
Iramuco	85	139	54	64
Jesús del Monte	10	28	18	180
Mariano E. y San Agustín	91	139	48	53
Morelia	1.830	6.304	4.474	244
Queréndaro	132	215	83	63
San Lucas Pío	6	51	45	750
Santa Ana Maya	75	294	219	292
Tarímbaro	39	316	277	710
Téjaro de los Izquierdo	44	133	89	202
Tenencia Morelos	34	163	129	379
Ucareo	15	37	22	147
Uruétaro	23	54	31	135
Zinapécuaro de Figueroa	97	493	396	408
Total	3.244	10.083	6.839	211

Las ciudades con mayor crecimiento relativo fueron Bocaneo, Cuto del Porvenir, San Lucas Pío, Tarímbaro y Zinapécuaro; sin embargo, 16 de las ciudades consideradas crecieron en superficie más del 100% desde 1975 hasta el 2000 (tabla 3).

El crecimiento de estas ciudades se debe a que atraen a gran cantidad de población, tanto del interior del municipio como del estado, y originan una mayor demanda de terreno para el establecimiento de fraccionamientos, comercios y escuelas dentro de las ciudades y en el perímetro de las mismas. La ciudad de Morelia, por ejemplo, es la ciudad más importante de la zona y ella sola representa el 66,5% de la superficie total de crecimiento urbano en la cuenca (4,474 ha), ya que alberga al 79% de la población urbana que vive en ella.

La población urbana en la cuenca tuvo un incremento de 187% en el periodo de 1970-2000. En el tabla 4 se observa que seis asentamientos urbanos tuvieron un crecimiento

poblacional mayor al 100% en el periodo del estudio. Las localidades urbanas de Jesús del Monte y Tenencia Morelos obtuvieron los porcentajes más altos de crecimiento poblacional, lo que es provocado por su cercanía a la ciudad de Morelia; en el caso de Jesús del Monte; este asentamiento se encuentra actualmente conurbado a Morelia (Acosta-Villegas 2001).

Tabla 4. Población correspondiente a los asentamientos urbanos que existen en la cuenca de Cuitzeo en los años de 1950, 1960, 1970, 1980, 1995 y 2000.

Asentamientos Urbanos	Población por año					
	1950	1960	1970	1980	1995	2000
Acuitzio del Canje	2.965	3.436	3.123	3.059	5.460	5.766
Álvaro Obregón	1.904	2.923	3.592	5.520	7.887	7.911
Bocaneo	1.130	1.457	1.766	1.177	2.307	2.578
Capula	1.961	2.308	2.449	3.355	3.960	4.558
Charo	2.190	2.725	2.541	3.384	4.566	4.568
Copándaro de Galeana	1.448	2.611	3.020	3.223	3.834	3.408
Cuanajo	1.913	1.653	2.958	3.761	4.703	4.978
Cuitzeo del Porvenir	3.493	4.485	4.875	7.036	8.760	8.824
Cuto del Porvenir	1.131	1.544	1.504	1.804	3.256	3.608
Huandacareo	4.121	5.483	5.952	6.723	7.032	6.700
Huiramba	-	1.418	1.588	1.913	2.559	2.630
Indaparapeo	3.059	3.383	3.657	5.795	7.044	6.729
Iramuco	-	-	4.300	5.015	6.368	6.232
Jesús del Monte	510	775	877	803	2.375	2.665
Mariano E. y San Agustín	1.953	2.703	3.548	4.288	5.783	6.238
Morelia	63.245	100.828	161.040	297.544	512.169	549.996
Queréndaro	5.474	5.897	5.810	8.065	8.992	8.544
San Lucas Pío	881	993	979	1.554	2.704	6.835
Santa Ana Maya	3.066	3.784	4.226	5.375	6.371	6.835
Tarímbaro	1.415	1.660	2.654	3.888	5.012	5.006
Téjaro de los Izquierdo	1.530	2.134	2.259	2.404	4.197	4.208
Tenencia Morelos	1.173	1.533	2.184	2.467	10.581	11.379
Ucareo	1.615	1.846	2.208	2.490	2.718	2.580
Uruétaro	945	1.410	1.599	2.011	2.871	2.821
Zinapécuaro de Figueroa	3.095	5.719	7.382	9.481	14.640	14.547
Total Población	114.135	169.095	242.655	398.730	652.513	696.243

Fuente: Elaborada a partir de DGE (1950, 1960, 1970), INEGI (1980, 1995, 2000).

Una característica de los asentamientos que se ubican en la zona de estudio es la carencia de planeación en el desarrollo urbano. Las ciudades que se ubican en la cuenca, especialmente

Morelia, se encuentran sujetas a un crecimiento desproporcionado desde mediados de la década de 1970, patrón que se repite en las ciudades grandes y medias de la República Mexicana.

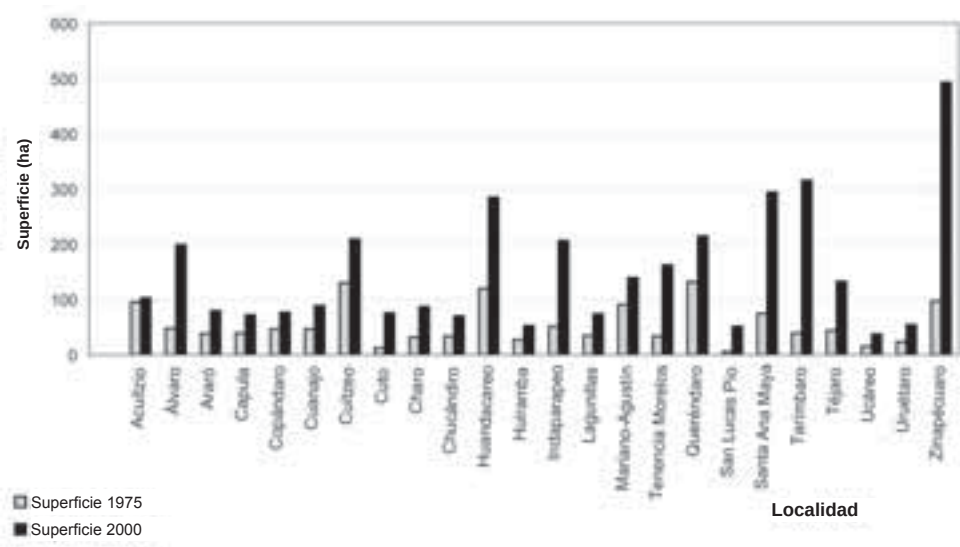


Fig. 8. Superficie de los asentamientos urbanos en la cuenca entre 1975 y 2000.

* No se grafica Morelia por presentar valores muy altos en relación a las otras ciudades.

Las clases de cobertura sobre las que más crecieron los asentamientos urbanos fueron los cultivos de temporal (72%), cultivos de riego (42%) y asentamientos rurales (21%) (tabla 5). Es importante señalar que el crecimiento de las ciudades ocurre en suelos con capacidad agrícola. Además, las ciudades al crecer engloban otros asentamientos rurales que existen a su alrededor.

Tabla 5. Superficie y porcentaje de las coberturas sobre las que crecieron los asentamientos urbanos.

Cobertura sobre la que crecieron los asentamientos urbanos	Superficie de cambio (ha)	% de la superficie sobre la que cambiaron los asentamientos
Cultivos de temporal	3389	72
Cultivos de riego	1958	42
Asentamientos rurales	987	21
Matorral	833	18
Pastizal	717	15
Bosques	81	2
Plantaciones	58	1
Lago	46	1

El incremento poblacional está ligado al incremento en el volumen de agua consumida y al volumen de aguas residuales producidas en los asentamientos humanos. El volumen de agua consumida por la población en el año de 1970 era de 21,49 miles de m³ y en el año 2000 era de 77,8 miles de m³; es decir, el agua consumida por la población urbana aumentó en 215,5% en el periodo de estudio (tabla 6).

La zona de investigación tiene tres plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales resultan insuficientes para sanear el agua que desemboca en el Lago de Cuitzeo. Una vez que ésta sale de las ciudades, sin tratamiento de por medio, riega los campos agrícolas que se localizan alrededor del lago.

Tabla 6. Consumo de agua poblacional en los diferentes asentamientos urbanos de la cuenca de Cuitzeo.

Localidad	Miles de m ³ 1970	Miles de m ³ 1995	Miles de m ³ 2000	Miles de m ³ 2010
Iramuco	0.20	0.30	0.30	0.35
Acuitzio del Canje	0.15	0.26	0.27	0.28
Álvaro Obregón	0.17	0.37	0.38	0.45
Charo	0.12	0.22	0.22	0.24
Chucándiro	0.11	0.10	0.10	0.09
Copándaro	0.14	0.18	0.16	0.20
Cuitzeo del Porvenir	0.23	0.42	0.42	0.48
Mariano Escobedo y Sn. Agustín	0.08	0.14	0.15	0.17
San Agustín del Pulque	0.07	0.14	0.14	0.16
Huandacareo	0.28	0.33	0.32	0.37
Huiramba	0.08	0.12	0.12	0.14
Indaparapeo	0.17	0.33	0.32	0.38
San Lucas Pío	0.05	0.13	0.32	0.26
Lagunillas	0.08	0.11	0.11	0.12
Capula	0.12	0.11	0.22	0.23
Jesús del Monte	0.04	0.19	0.13	0.13
Morelia	17.63	56.08	60.22	70.04
Tenencia Morelos	0.10	0.50	0.54	0.59
Cuanajo	0.14	0.22	0.24	0.27
Queréndaro	0.28	0.43	0.41	0.46
Santa Ana Maya	0.20	0.30	0.32	0.36
Cuto del Porvenir	0.07	0.15	0.17	0.18
Tarímbaro	0.13	0.24	0.24	0.29
Téjaro de los Izquierdo	0.11	0.20	0.20	0.22
Uruétaro	0.08	0.14	0.13	0.16
Araró	0.12	0.09	0.09	0.10
Bocaneo	0.08	0.11	0.12	0.12
Ucareo	0.10	0.13	0.12	0.14
Zinapécuaro de Figueroa	0.35	0.69	0.69	0.82
Total	21.49	62.74	67.16	77.80

La zona de riego cercana a la ciudad ocupaba una superficie de 56,794 ha en 1975 y creció a 64,313 ha en el año 2000, lo que representa un crecimiento porcentual de 13% (tabla 1, figuras 3 y 4).

De acuerdo con la CNA (2001), en el año 1975 el agua que se utilizaba en los cultivos de riego correspondía a 190 millones de m³; en el año 2000 el volumen utilizado para la misma actividad era de 342,8 millones de m³. Al dividir la superficie de siembra entre el volumen de agua utilizado para los campos, se obtuvo que en 1975 se gastaban 3.750m³/ha y en el año 2000 se gastaban 5.330 m³/ha; es decir, se consumió mayor cantidad de agua por unidad de superficie en el año 2000 que en 1975.

Esta información ayuda a comprender la actual desecación que ocurre en el Lago de Cuitzeo. Antiguamente (antes de la época colonial) el agua proveniente de los ríos Chico y Grande drenaba directamente al lago; actualmente se utiliza para satisfacer las demandas urbanas, industriales y agrícolas.

El agua que alcanza el Lago de Cuitzeo se caracteriza por ser escasa y presentar niveles de contaminación, principalmente materia orgánica proveniente de los asentamientos humanos, fertilizantes y pesticidas de las áreas agrícolas de riego. El lago actualmente sufre un proceso de desecación recurrente (anual), por ser un sistema lacustre somero, con eventos extremos alrededor de cada 10 años (Mendoza et al. 2006).

Conclusiones

El utilizar herramientas basadas en la percepción remota y los sistemas de información geográfica permitió conocer el incremento de los asentamientos humanos, las superficies de riego agrícola y las zonas hacia donde los asentamientos urbanos están creciendo; ayudando a comprender los procesos que ocurrieron en la cuenca y relacionarlos con volúmenes de consumo de agua urbanos. Los procesos encontrados son similares a los que ocurren en varias ciudades medias y grandes de México.

El análisis de los principales procesos de cambio indica que la deforestación y degradación de bosques es compensada (en superficie) por los procesos de matorralización y regeneración del bosque. Sin embargo, los procesos de urbanización no están compensados, lo cual permite inferir que los principales procesos de degradación a nivel de cuenca se relacionan con el rápido crecimiento de las ciudades y la consecuente salida de aguas negras al distrito agrícola de riego de Morelia-Queréndaro. Durante este trayecto las aguas negras riegan los campos agrícolas y son contaminadas por pesticidas, herbicidas y fertilizantes.

Los asentamientos humanos en la cuenca crecieron 14.945 ha (casi triplicando la superficie de 1975). El porcentaje en el incremento de consumo de agua en el periodo de estudio fue el siguiente: el uso público (64%), el consumo de agua para riego (45%).

Este análisis sugiere que las razones que favorecieron el desarrollo urbano original (suelos agrícolas y agua) actualmente se encuentran sujetas a fuerte presión. Las ciudades están creciendo sobre suelos agrícolas de alta productividad (vertisoles) localizados en las planicies fluvio-lacustres alrededor de las ciudades, especialmente de Morelia. El incremento de la población implica el uso de aguas superficiales, mayor extracción de los mantos acuíferos, mayor desperdicio, pérdida y contaminación del agua.

Agradecimientos

Una parte de esta investigación fue apoyada por la Universidad de California través del Instituto Inter-Americano para Investigación del Cambio Global (IAI), en el proyecto denominado *"The human dimension of global environmental change in urban areas of Latin America. A network approach"*.

Los autores reconocen el apoyo brindado por el Programa SIMORELOS (CONACyT) dentro del proyecto de investigación "Regionalización ecológica, conservación de recursos y ordenamiento territorial de la cuenca de Cuitzeo", investigación realizada en la UNAM-Campus Morelia. Los dos primeros autores recibieron becas de doctorado proporcionadas por el CONACyT y la UNAM.

Bibliografía

Acosta Villegas, A. 2001. *Crecimiento de los Asentamientos Urbanos en la Cuenca del Lago de Cuitzeo y su Consumo de Agua, 1975–2000*. Tesis, B. S. grado en Biología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ciudad de Morelia, Michoacán. México: 110 pp.

Bocco, G. y Riemann, H. 1997. "Quality Assessment of Polygon Labeling." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 63(4):393–395.

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2001. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Comisión Nacional del Agua, Distrito Federal, México. (Available at: <http://www.cna.gob.mx/portal/switch.asp?param=4015>).

DGE (Dirección General de Estadística). 1950. *VIII Censo Nacional de Población, Michoacán*. Ciudad de México, México. 845 pp.

DGE (Dirección General de Estadística). 1960. *IX Censo Nacional de Población, Michoacán*. Ciudad de México, México. 932 pp.

GRÜBLER, A. 1994. *Technology*. In: *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (Meyer, W. B., and Turner, B.L. II, Eds.). Univ. of Cambridge Press, Cambridge, England. pp. 287–328.

Houghton, R. A., Hackler, J. L. y Lawrence, K. T. 1999. "The U.S. carbon budget: contribution from land-use change." *Science* 285:574–578.

ILWIS (Integrated Land and Watershed Management Information System). 1990. *User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Eschede, The Netherlands. 132 pp.

ILWIS (Integrated Land and Watershed Management Information System). 1998. *User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Eschede, The Netherlands. 435 pp.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1970. *IX Censo General de Población y Vivienda, México*. Ciudad de México, México. 923 pp.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1980. *X Censo General de Población y Vivienda, México*. Ciudad de México, México. 923 pp.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. *Anuario Estadístico del Estado de Michoacán*. Ciudad de Aguascalientes, México. 382 pp.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000 *XII Censo General de Población y Vivienda, México*. Ciudad de Aguascalientes, México. 987 pp.

Juppenlatz, M. 1990. "The role of urban surveys in Third World development." *ITC Journal*

4:352–362.

Kasperson, J. X., KASPERSON, R. E. y Turner, B. L. II (Eds.). 1995. *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. United Nations Univ. Press, Tokyo, Japan. 588 pp.

Kummer, D. M. y Turner, B. L. II. 1994. "The human causes of deforestation in Southeast Asia." *BioScience* 44(5):323–328.

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. y Xu, J. 2001. "The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths." *Global Environmental Change* 11:261–269.

Lopez, E., Bocco, G., Mendonza, M.E., Duhau, E. 2001. "Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia City, México". *Landscape and Urban Planning* 55 (4), 271-285.

Mendoza, M. E. 2002. *Implicaciones del Cambio de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo en el Balance Hídrico a Nivel Regional. El Caso de la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. Doctoral Tesis de Doctoral en Ciencia de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 188 pp.

Mendoza, M. E., López, E. y Bocco, G. 2001. *Regionalización Ecológica, Conservación de Recursos Naturales y Ordenamiento Territorial en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*. SIMORELOS-COACyT. Proyecto 983060024. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán, México. 262 pp.

Mendoza, M. E., Bocco, G., Bravo, M., López-Granados, E. y Osterkamp, W. R. 2006. "Predicting water-surface fluctuation of continental lakes: A GIS and RS based approach in Central México." *Water Resources Management* 20(2):291–311.

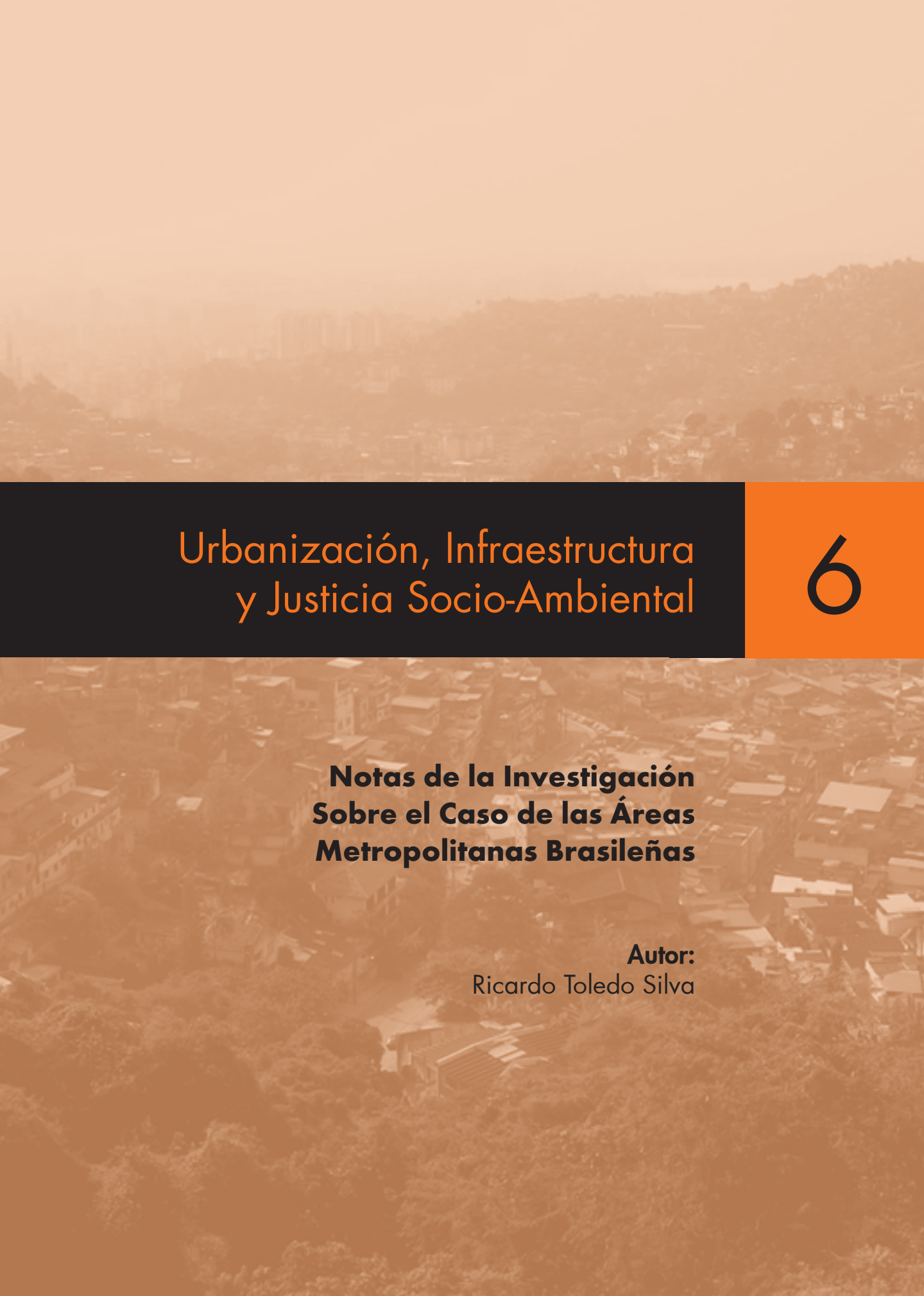
Pasquarè, G., Ferrari, L., Garduño, V. H., Bibaldi, A. y Vezzoli, L. 1991. *Geologic Map of Central Sector of Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán, México*. Map and Chart Series MCH072. Geological Society of America. Boulder, CO.

Skole, D. L., Chomentowski, H., Salas, W. A. y Nobre, A. D. 1994. "Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia". *BioScience* 44(5):314–322.

Tolba, M. K. y El-Kholy, O. A. (Eds.). 1992. *The World Environment 1972–1992: Two Decades of Challenge*. Chapman & Hall, London, England. 884 pp.

Veldkamp, A. y Verburg, P. H. 2004. "Modelling land use change and environmental impact." *Journal of Environmental Management* 72:1–3.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. y Melillo, J. M. 1997. "Human domination of earth's ecosystems." *Science* 277:494–499.



Urbanización, Infraestructura y Justicia Socio-Ambiental

6

Notas de la Investigación Sobre el Caso de las Áreas Metropolitanas Brasileñas

Autor:
Ricardo Toledo Silva

Resumen

Este capítulo aborda la escasez de infraestructura y las asimetrías de acceso como elementos estructurales de una realidad urbano-metropolitana compleja, que demanda instrumentos de planificación y gestión que sean flexibles en cuanto a las posibles soluciones, pero al mismo tiempo, rigurosos con respecto a los criterios de análisis.

En la primera parte del capítulo se analiza las asimetrías en la oferta de infraestructura y servicios en red como expresión de una creciente desigualdad social. Paradójicamente, las asimetrías de acceso permitirán que la oferta global de servicios, bajo un modelo de oferta estatal, se expanda sobre la base de los subsidios cruzados que se generan entre los segmentos de mayores ingresos. Para que sea factible la oferta privada, se impone una reforma regulatoria y una fragmentación de la oferta que disminuyen drásticamente el posible carácter compensatorio de los subsidios cruzados. A ésto se suman nuevas exigencias de la demanda que pasa a tener una mayor necesidad de acceso a los servicios para una reproducción social más compleja.

En esta situación, las interacciones entre las diferentes formas de infraestructura, y entre éstas y el medio ambiente se intensifican, abriendo el camino para un abordaje sobre interacciones más amplias que las del ámbito sectorial, origen de los subsidios cruzados.

La segunda parte discute los elementos de planificación y gestión integrada de cuencas densamente urbanizadas, sobre la base de la experiencia de grupos de investigación aplicada de las universidades de São Paulo (USP) y Federal de Minas Gerais (UFMG). En ese proceso se desarrollaron instrumentos de gestión integrada intersectorial, en la cual se enlazan medidas de carácter estructural y no estructural para satisfacer los objetivos comunes del ambiente metropolitano. La complejidad del contexto obliga al desarrollo de sistemas de información y apoyo a la toma de decisiones enfocados en la uniformidad de criterios analíticos y en la flexibilidad de las medidas estructurales y no estructurales aplicables. Los sistemas apuntan hacia la interacción entre las diferentes formas de vulnerabilidad social y ambiental, que a veces se agravan y a veces se compensan mutuamente. Las herramientas descritas de gestión integrada desarrollada experimentalmente para las ciudades brasileñas, parecen contener elementos básicos de gestión de incertidumbres y *trade-offs* entre vulnerabilidades sociales y ambientales eventualmente sujetas a extrapolación para el contexto más amplio y complejo de las grandes concentraciones urbanas expuestas simultáneamente a los efectos de la globalización económica y el cambio climático.

Infraestructura, urbanización y exclusión social

Esta sección plantea la exclusión social representada en la asimetría de la oferta de infraestructura a partir de un análisis de los espacios de atención privilegiada, y argumenta la opción estratégica de la exclusión como alternativa para viabilizar la expansión del sistema, la que, en general, se materializa en forma de subsidios cruzados por medio de los cuales los excedentes generados en las áreas de mayores ingresos financian la expansión global de la oferta. Esta estrategia involucra la creciente necesidad de integración geográfica de las redes, toda vez que las asimetrías de los ingresos se manifiestan en un complejo regional marcadamente desequilibrado. La expansión de cobertura no implica, necesariamente, la democratización del acceso, ya que la simple presencia de la red no garantiza la conectividad equilibrada de la capacidad instalada. Con el agotamiento del modelo de oferta estatal, la fragmentación de las áreas operacionales para la concesión privada compromete el modelo de subsidios cruzados. Por otro lado, el perfil de exigencias de la demanda, en relación con la infraestructura, se vuelve más complicado debido al trabajo desde el hogar. Si se consideran los escenarios conjuntos de escasez de recursos naturales y de exclusión de la demanda social, se torna más aparente el panorama de gran complejidad socio-ambiental para el cual las fórmulas tradicionales de organización de la oferta no ofrecen respuesta.

Formación de espacios urbanos privilegiados

El acceso a la infraestructura pública y a los servicios en red constituye, en general, un elemento de justicia distributiva. Por mucho tiempo, la investigación urbana ha aceptado la consideración del acceso como parte del salario indirecto, absorbido por la sociedad como un todo, en forma de condiciones generales para la reproducción social. Con enfoques esencialmente distintos entre sí, textos de referencia de la investigación regional y urbana, tales como Mumford (1961), Castells (1975) y Harvey (1976) coinciden en reconocer esa dimensión distributiva asociada con la oferta pública de servicios.

En su estudio sobre la ciudad en la historia, Mumford (1961) reconoce la desmaterialización de las relaciones y de las instituciones de la ciudad, por medio de redes físicas o culturales, en su perspectiva más avanzada de progreso y modernización. Para él, esa desmaterialización se identifica como el concepto de red, en el sentido de un sistema accesible desde las diferentes partes del territorio y cuyas capacidades sean distribuidas de forma relativamente homogénea. Al referirse a ese ideal de red, basándose en el caso de la energía eléctrica, destaca como predicado central del sistema el hecho de que sus partes, aunque relativamente independientes, pudieran funcionar como un todo, "...compensando aquello que falta en una determinada área" (Mumford, p. 608). Reconoce, además, que esta función de red identificada va mucho más allá del ámbito tecnológico como en la esfera cultural, en relación con la cual se anticiparon los profundos cambios causados más tarde por la tecnología informática. A pesar de esta anticipación visionaria sobre el carácter cultural y democrático de las redes, Mumford jamás afirmó que éste sería un proceso inexorable de progreso

social asociado con el desarrollo de las ciudades. Lo que hizo fue identificar el progreso tecnológico de las redes con dimensiones distributivas que rebaten la democratización de la cultura urbana.

La literatura sobre investigación urbana más de izquierda, la de los años 70, no niega esas dimensiones, pero afirma que las contradicciones estructurales del crecimiento económico capitalista establecen límites estrictos para la generalización del acceso. En todos los estudios analíticos acerca de la infraestructura pública en las ciudades, se contraponen dos funciones que éstas deben cumplir: una de apoyo directo a la producción económica y otra de soporte a las necesidades de consumo de los trabajadores. Con diferentes palabras en estudios específicos, la investigación urbana se basa esencialmente en el concepto marxista de condiciones generales para la producción, desdobladas en condiciones directamente centradas en la acumulación capitalista y condiciones necesarias para la reproducción de la fuerza laboral. Posiblemente, una de las interpretaciones más directas sobre esa dualidad de las condiciones generales de producción fue aquella formulada por O'Connor (1973), al proponer que las funciones de acumulación y de legitimación del Estado capitalista son parte de una misma estrategia, y que los mayores flujos de inversión estatal en beneficio de los trabajadores ocurren solamente en la medida estricta de la necesidad de legitimación política. El resultado es un sistema en permanente tensión, en el cual cada concesión a favor de la reproducción social sólo se da como fruto de una presión política específica.

La evolución de la oferta de los servicios públicos en la década de 1980 y las siguientes, dentro de un panorama que comprende la privatización y la reforma reguladora, parece dar la razón a esa visión de conflicto permanente y conquistas puntuales. Por más que se expandan las coberturas de redes de infraestructura en las ciudades, las asimetrías distributivas parecen haberse acentuado más de lo que se han atenuado. Es verdad que los patrones de acceso básico, en el umbral de la subsistencia física, se generalizarán y que las redes pasarán a tener una presencia diseminada en la mancha urbana. Sin embargo esas condiciones no apuntan a la universalidad del acceso, ya que las cantidades y patrones de servicios que se ofrecen a diferentes segmentos de la demanda son cada vez más asimétricos. La detección de asimetrías, por lo tanto, no es asunto trivial y exige información y procedimientos de análisis que van más allá de un simple examen de cobertura.

En el trabajo sobre las diferencias de conectividad y la capacidad de infraestructura en la región metropolitana de São Paulo (Silva 2000), se muestra que la complejidad del acceso a los servicios se define a partir de tres dimensiones básicas: (1) la generalización aparente de la cobertura, que enmascara las diferencias fundamentales entre los patrones de oferta de las capacidades centrales; (2) la transformación de la demanda esencial que pasa a incluir más exigencias que la simple satisfacción de las necesidades básicas de la reproducción física; (3) la ambigüedad de los derechos potenciales de acceso bajo la lógica de la oferta estatal, en contraste con los derechos objetivos de acceso bajo la lógica de la oferta privada. Estas tres dimensiones mostrarían elementos conceptuales robustos, probados en las profundizaciones posteriores de la investigación sobre las cuales se basaba aquel artículo.

El análisis de los espacios privilegiados (o super-incluidos), como procedimiento metodológico vuelto a la detección de las diferencias distributivas en la mancha urbana, ha obtenido resultados más precisos que el análisis directo de los espacios de exclusión. Teóricamente, las diferencias de acceso a la infraestructura y los servicios en red pueden detectarse tanto desde el punto de vista de los incluidos como de los excluidos. Los resultados tienden a ser complementarios y mutuamente explicativos.

En la práctica, sin embargo, en contextos en los cuales la exclusión es la regla y la inclusión la excepción, el análisis de la parte de la inclusión se torna más preciso porque se trabaja con una estratificación más detallada. En general, las investigaciones sobre pobreza urbana originadas por la sociología urbana¹ se elaboraron directamente sobre las áreas consideradas más pobres, en contextos en los cuales éstas eran minoría en relación con los tejidos urbanos formados, principalmente, por distritos de ingresos medios.

En el caso de las grandes concentraciones urbanas del tercer mundo – y de las metrópolis brasileñas en particular – las áreas pobres y excluidas son la mayoría. Por eso, la desigualdad puede ser analizada con mayor precisión a partir de la concentración en las áreas conectadas que constituyen la minoría.

La parte de mayor robustez analítica – de la cual se darán algunos ejemplos en capítulo – corresponde al estudio de los espacios privilegiados y ayuda a comprender la lógica del financiamiento y la generación de subsidios cruzados asociada al proceso de expansión de la infraestructura en las ciudades brasileñas. Mucho antes de la supuesta crisis fiscal que tenía estrangulada la capacidad de inversión del Estado en infraestructura para el consumo social, los intentos de generalización de la oferta ya habían dado origen, en Brasil a un modelo híbrido de financiamiento, basado en la auto-sustentación económica de los servicios. El ápice de ese modelo originado en el sector eléctrico desde los años 1930, se hace presente en el Plan Nacional de Saneamiento Básico, implantado a partir de los años 70 en Brasil.

Responsable de un salto en la cobertura sin precedentes en el país, el modelo se basaba en una estructura de subsidios cruzados, según la cual los consumidores con los desagües más grandes – los mejor abastecidos – subsidiaban la expansión de la red a las áreas más pobres. Debido a que era necesario contar con una escala significativa en número absoluto de consumidores con mayor disponibilidad para pagar por los servicios, la agregación se extendía más allá de los límites de cada ciudad, hasta el ámbito estatal. La lógica de la integración territorial – y, por consiguiente, de la escala regional de la oferta – se impuso como pre-requisito de viabilidad para una expansión de cobertura basada en la capacidad de pago de la minoría².

¹ Procedimientos basados en los modelos de la Escuela de Chicago, a partir de la estratificación de información censaria por diferentes distritos o sectores del tejido urbano.

² En los estudios brasileños sobre el Plan Nacional de Saneamiento Básico de los años 70, es común atribuir la integración territorial de aquel modelo al carácter centralizador del régimen autoritario. Mientras tanto, el análisis objetivo de las condiciones técnicas de oferta muestra que la expansión física de la oferta, en la magnitud en la que se dio, no sería viable si se basa en la operación de cada sistema municipal.

Luego de superado el esquema de financiamiento estatal a lo largo de la década de 80, la reorganización de la infraestructura comenzó a definirse en un segundo modelo más fragmentado de oferta, bajo el cual se desarticularían grandes complejos de oferta regional integrada. Ésta es una consecuencia lógica del financiamiento privado porque, toda vez que las grandes estructuras de oferta, al asignar parte de los excedentes de facturación de las áreas con superávit al subsidio de áreas deficitarias, reducían las tasas de retorno neto del conjunto de las inversiones. No obstante, sería inútil procurar evidencias inmediatas de una concentración mayor de acceso privilegiado a los servicios bajo la protección de la nueva oferta privada. El modelo anterior, como reiteradamente han apuntado numerosos análisis críticos de la época, era concentrador y excluyente, con un perfil de atención social insatisfactorio en relación con las necesidades de una demanda explosiva.

El principal problema de la formación contemporánea de espacios urbanos privilegiados, bajo la protección del neoliberalismo que reemplazó al intervencionismo estatal vigente hasta mediados de la década de 80, consiste en la eliminación de las imposiciones reguladoras que disciplinaban los subsidios cruzados. Por más heterónimo y centralizado que fuera el sistema anterior, éste encaminaba flujos de financiamiento subsidiado hacia la expansión de la infraestructura que, en la práctica, implicaban alguna justicia distributiva. La relativa estabilidad del esquema de financiamiento, basado en fondos para-fiscales regulados más que en recursos tributarios, estaba garantizada por la aplicación de tasas de retorno inferiores a los intereses de mercado. El modelo de la oferta privada que se estableció a partir de la década de 90, sin el respaldo de una reforma reguladora que sustituyera los mecanismos anteriores de compensación social y estabilidad financiera, muestra una clara tendencia a la reconcentración del acceso, a pesar de una aparente generalización de la cobertura. No es que el mercado ampliado de la demanda social sea poco atractivo, por el contrario, es muy tentador por su magnitud. Pero la casi ausencia de una regulación social paradójicamente aleja ese mercado promisorio de gran parte de los servicios, reforzando la re-concentración y las asimetrías de acceso. La lectura de esta tendencia, dada su ambigüedad y la diversidad de sus manifestaciones, es más compleja que la de la simple expansión de cobertura, generalmente aceptada como sustituto de la universalidad de acceso en los estudios sobre infraestructura.

Diferencia entre cobertura y acceso

La extensión de una red de infraestructura se refiere a la cobertura territorial y a la capilaridad de cada sistema. La cobertura sobre el territorio está asociada a la presencia de estructuras de distribución arterial como líneas de transmisión de energía, redes primarias de agua potable y colectores troncales de aguas negras. La capilaridad está asociada con la proporción de conexiones individuales a los tramos finales de la red, que expresa el potencial de acceso al servicio para las viviendas del área considerada. Cuanto mayor sea el porcentaje de viviendas conectadas, más cubierta estará el área.

La medida de cobertura ha sido largamente aceptada en la investigación urbana como expresión de acceso y de universalidad del servicio. De hecho, en las etapas iniciales de

desarrollo de las redes, la medida de cobertura daba una idea bastante aproximada del acceso efectivo por áreas de la ciudad. Un distrito que tenía, por ejemplo, el 60% de sus viviendas conectadas a la red pública de abastecimiento de agua es claramente menos privilegiado que otro que presente índices del 95% para el mismo parámetro. Las diferencias son evidentes ya que físicamente no es posible que las viviendas del primer distrito tengan mayor acceso al agua potable que las del segundo. Cuando los sistemas evolucionan, sin embargo, es menos fácil detectar las diferencias.

En un escenario de expansión de redes, la mayoría de las viviendas urbanas tendrá conexiones individuales, haciendo prácticamente homogéneos los índices de cobertura en los diferentes distritos. Pero esto no implica, automáticamente, una igualdad de acceso a las capacidades de distribución de la red. Una conexión domiciliaria habla respecto de una condición necesaria, pero no suficiente, de acceso a las capacidades producidas en el sistema como un todo. El acceso efectivo a estas capacidades potenciales depende del equilibrio entre las capacidades de producción, de distribución arterial y de distribución capilar en cada tramo de la red. Este equilibrio no se observa en las grandes ciudades de los países emergentes, en las cuales el crecimiento de la demanda fue mucho más rápido que la expansión de la oferta.

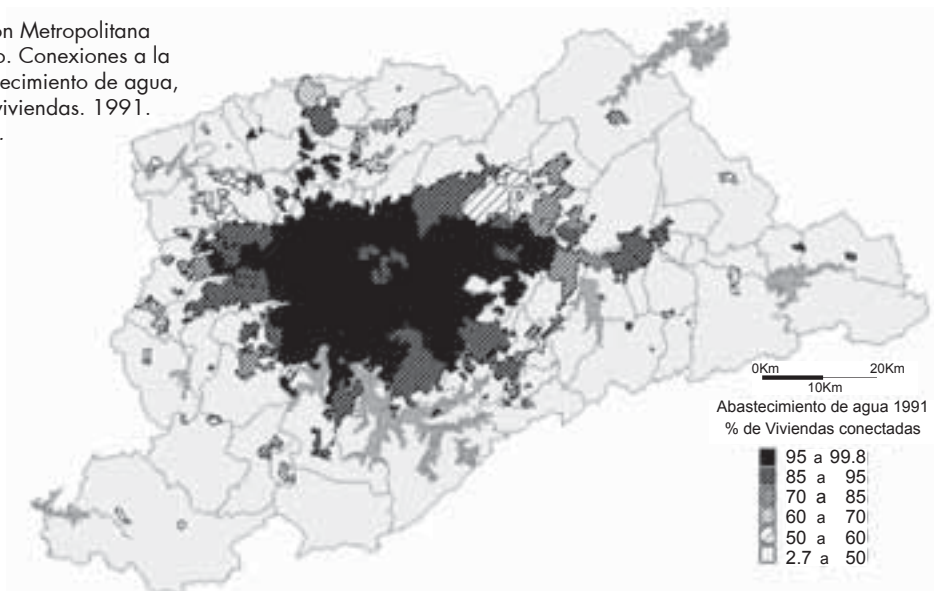
El análisis de las condiciones de acceso a la infraestructura en la región metropolitana de São Paulo (Silva 2000) mostró que el servicio a la demanda explosiva por servicios en red, en gran medida se ha basado en la expansión asimétrica de los sub-sistemas de distribución capilar, sin la correspondiente ampliación en la capacidad de producción central y distribución arterial. Esto lleva a una situación de aparente universalidad de la cobertura que enmascara los desequilibrios distributivos del sistema como un todo. Por ejemplo, el caso de la distribución metropolitana de agua en São Paulo es emblemático.

Desde el final de los años 90, la cobertura por red pública de abastecimiento de agua en los distritos urbanos de la región metropolitana de São Paulo es prácticamente universal. De acuerdo con el Censo de 2000 (Brasil, IBGE 2001), sólo 16 de los 161 distritos censatarios metropolitanos (incluyendo los rurales) presentaban una cobertura igual o inferior al 70%. De éstos, 95 de los 96 distritos del municipio de São Paulo (que abarcan cerca del 58% de la población metropolitana) presentaban una cobertura superior al 90%, la mayoría alrededor del 98%. Descontado un porcentaje probable de conexiones temporalmente inactivas o en vías de conexión, se debe admitir que esas tasas más elevadas se traducen, en la práctica, en una cobertura generalizada, inclusive sobre los distritos de menores ingresos. Esto, sin embargo, no garantiza el acceso homogéneo al servicio.

En la investigación citada sobre asimetrías entre cobertura y acceso (Silva 2000), mostramos que ya en 1991, la cobertura metropolitana del servicio de abastecimiento de agua estaba bien expresada en São Paulo (figura 1).

El Censo del 2000 en general presenta una mejor situación en todas las áreas, pero aquellas en las cuales la cobertura es todavía inferior al 70% son básicamente las compuestas por los mismos distritos periféricos más precarios, indicados en el cartograma relativo a 1991.

Fig. 1. Región Metropolitana de São Paulo. Conexiones a la red de abastecimiento de agua, como % de viviendas. 1991. (Silva 2000).



La figura 2 presentada a continuación, muestra el esquema de la red metropolitana de abastecimiento y los dos principales sistemas productivos – Cantareira en el norte y Guarapiranga en el sur – están marcados con un círculo. Esos dos sistemas producen respectivamente 33 y 12 m³/s de una producción metropolitana total a fines de los 90, cercana a los 59 m³/s (Sabesp 1996, Silva 2000). A pesar del carácter esquemático de la ilustración, es posible identificar claramente un sistema principal de abastecimiento que forma un conjunto aproximado de anillos concéntricos en torno al centro histórico y a otro brazo principal, y exhiben también alguna redundancia a lo largo del vector sur-sureste de la región metropolitana. Esta redundancia de abastecimiento, representada por redes arteriales paralelas, en la práctica identifica las áreas de la mancha urbana servidas por múltiples sistemas de producción, menos sujetas a la intermitencia de abastecimiento. Por otro lado, las áreas cubiertas por derivaciones simples, originadas en los nodos periféricos de los sistemas principales, serían mucho más vulnerables a la escasez, toda vez que están inequívocamente vinculadas a una única salida o a un sistema secundario de producción.

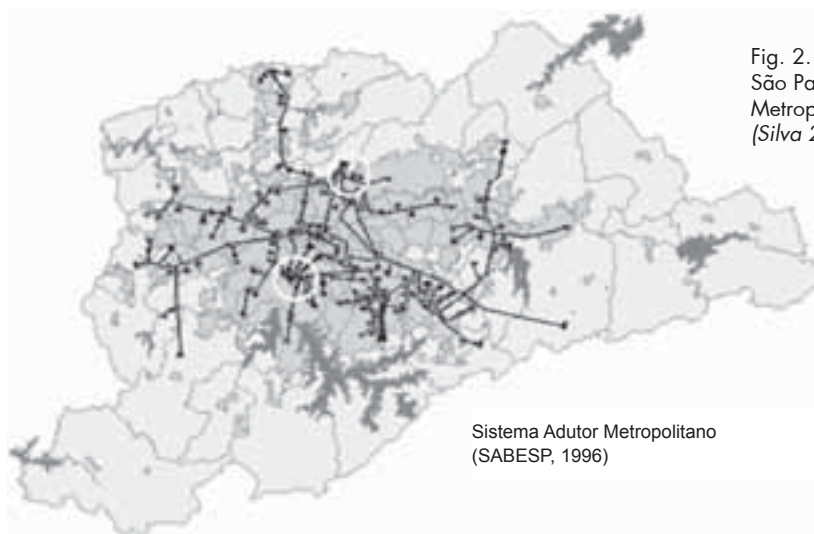
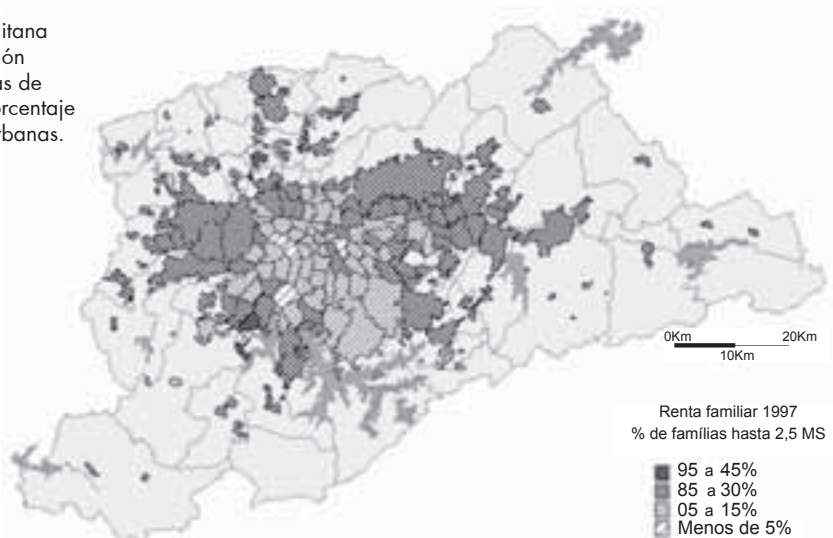


Fig. 2. Región Metropolitana de São Paulo. Esquema del Sistema Metropolitano de Abastecimiento. (Silva 2000).

En los registros operativos de la empresa responsable del abastecimiento metropolitano (Sabesp 1996, Silva 2000), se puede observar que en las áreas donde el sistema de abastecimiento presenta menor redundancia – en todos los distritos fuera del centro expandido de la metrópoli – existe registro de una intermitencia significativa del abastecimiento, al igual que en los casos en que la cobertura era más alta. La comparación entre el esquema del sistema de abastecimiento y el mapa de la cobertura de conexiones de agua en la región metropolitana (figura 1) muestra que todos los distritos periféricos con baja cobertura están localizados en zonas de derivación secundaria del sistema arterial. Pero esa relación no es recíproca: algunas de las derivaciones secundarias están localizadas en áreas con buena cobertura en cuanto a proporción de viviendas conectadas, sugiriendo la posibilidad de interrupciones más frecuentes del abastecimiento. De hecho, los registros analizados en Silva (2000) confirman esta hipótesis para las áreas sujetas a cortes sistemáticos de abastecimiento entre 1994 y 1997. Con respecto a las áreas con mala cobertura de la periferia extrema – con menos del 70% de viviendas conectadas – están más sujetas a cortes estacionales, mientras que las áreas relativamente bien cubiertas localizadas en la periferia sur, oeste y norte de los principales anillos del sistema de abastecimiento son las que sufren interrupciones del servicio a lo largo de todo el año.

La correspondencia entre la localización de los distritos más sujetos a la escasez y la concentración de la pobreza urbana es visible. En la figura 3 a continuación, se observa la mayor concentración de viviendas de bajos ingresos en los distritos periféricos, que a la vez son los que también presentan las mayores tasas de crecimiento demográfico.

Fig. 3. Región Metropolitana de São Paulo. Distribución espacial de las viviendas de bajos ingresos como porcentaje del total de viviendas urbanas. 1997. (Silva 2000).



El patrón espacial de concentración de la riqueza en la región metropolitana de São Paulo, al igual que en las demás metrópolis brasileñas, ocurre alrededor de un centro expandido, ya que la pobreza se extiende hacia la periferia. En el caso de São Paulo ese patrón resulta una interferencia marcada con los manantiales de agua, vulnerables a los procesos de contaminación concentrada y difusa, causados por la ocupación urbana en sus márgenes. El proceso de ubicación periférica de la pobreza limita drásticamente las perspectivas de una ocupación suburbana de ingreso medio alto y baja densidad, evocada en el pasado como alternativa para el aprovechamiento sostenible de las áreas de protección ambiental.

Del análisis de la relación entre cobertura y acceso al servicio de agua en los moldes del ejemplo anterior, se deriva un concepto importante en la interpretación de las condiciones efectivas de acceso, que es la conectividad. El concepto de conectividad involucra, de acuerdo con Dupuy (1987, 1993, en Silva 2000), la existencia simultánea de conexiones directas y alternativas entre varios puntos de una red. Esta condición de redundancia de la conexión es la que torna homogéneo el acceso a las capacidades comunes en cada sistema de infraestructura y, en el límite, condiciona la universalidad.

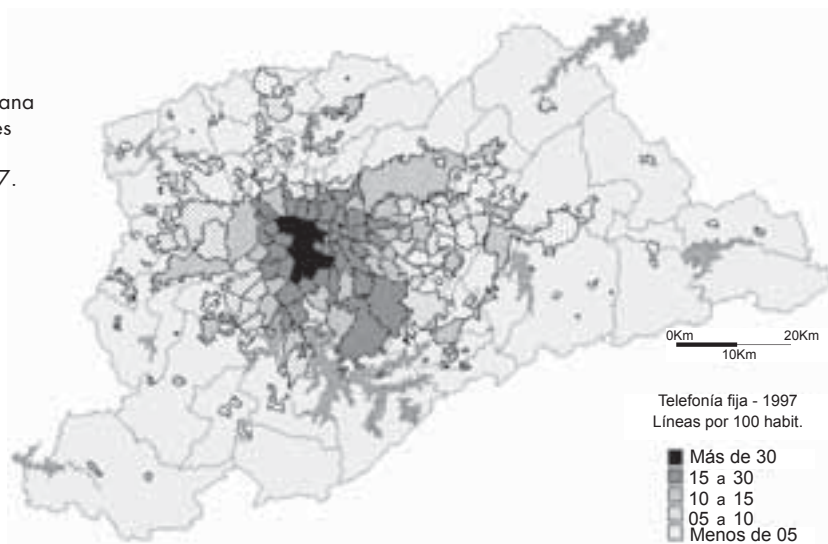
La figura 2 deja claro que en el centro metropolitano expandido, donde los sitios conectados representan la mayoría dentro de esa área, es la redundancia de accesos alternativos y simultáneos la que garantiza la atención estable de la demanda. Si se superpone a la figura 3, que define los espacios de mayor y menor concentración de domicilios pobres, el diagrama de la red arterial de la figura 2, no queda duda en cuanto a la relación directa entre conectividad e ingreso.

Esta estratificación de espacios conectados y no conectados consolida una morfología urbana en la cual los espacios privilegiados se desarrollan continuamente a partir del centro, en contraste flagrante con la mancha urbana de las metrópolis en países capitalistas avanzados.

Lo que distingue una gran ciudad emergente de una gran ciudad desarrollada, en términos de la infraestructura, es la cobertura territorial de los espacios con acceso alternativo y simultáneo a las capacidades instaladas.

Analizando ahora el caso de la red de telefonía fija, con cobertura metropolitana en estado mucho menos avanzado que el del abastecimiento de agua, se observa que el indicador simple de cobertura evidencia una fuerte correlación con la concentración de los ingresos. Más que la cobertura del abastecimiento de agua, la distribución espacial de las densidades de líneas de telefonía fija por cada 100 habitantes (figura 4) expresa la intensa correspondencia entre capacidad / densidad de servicios en red y la concentración de los ingresos.

Fig. 4. Región Metropolitana de São Paulo. Conexiones de telefonía residencial por 100 habitantes. 1997. (Silva 2000).



La correlación visual es confirmada por el análisis estadístico, que muestra un coeficiente de regresión lineal significativo en la relación inversa con la presencia de hogares de bajos ingresos (figura 5).

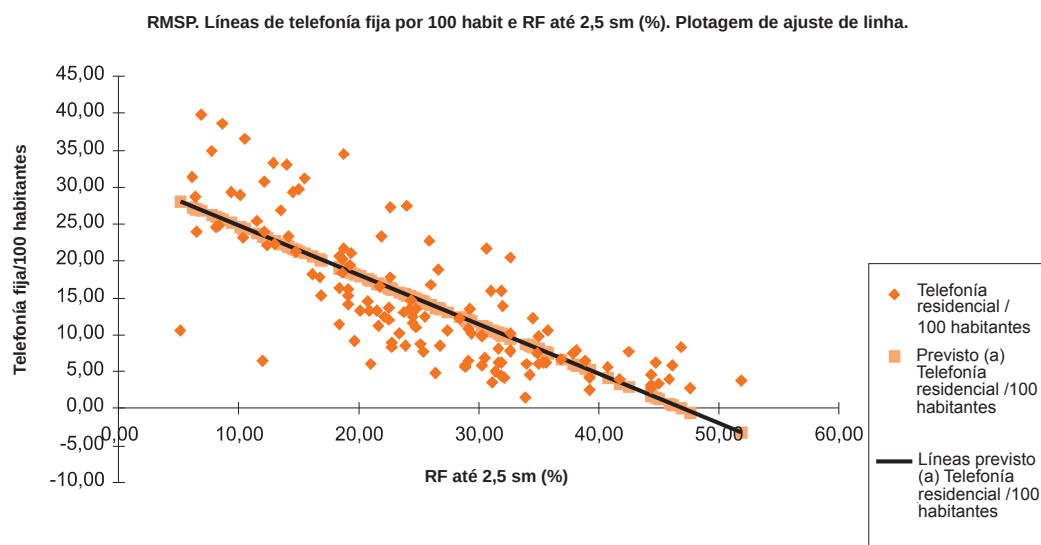


Fig. 5. Región Metropolitana de São Paulo. Análisis de regresión: conexiones de telefonía residencial por 100 habitantes y porcentual de hogares con ingresos hasta 2,5 salarios mínimos. 1997. (Silva 2003).

El coeficiente de determinación (r^2 ajustado) obtenido en la correlación anterior fue de 0,6, el cual es satisfactorio para admitir la explicación de la variable “líneas telefónicas por 100 habitantes” en función de la concentración de hogares de bajos ingresos. Sin embargo, si en su lugar buscamos una correlación inversa con las mayores concentraciones de hogares de bajos ingresos, trabajamos la correlación directa con las concentraciones de hogares más ricos (ingreso familiar superior a 20 salarios mínimos), el coeficiente de determinación es aún más significativo.

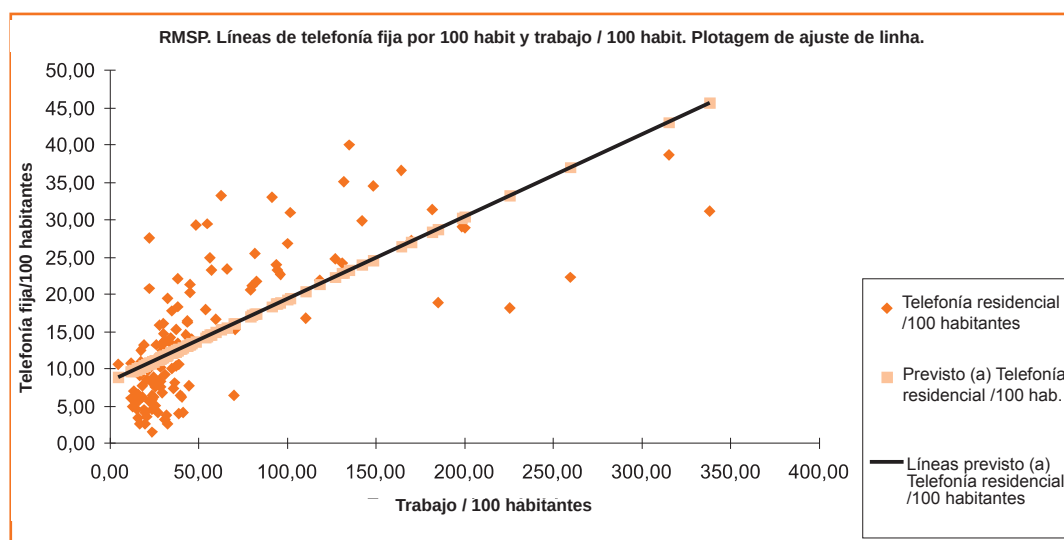


Fig. 6. Región Metropolitana de São Paulo. Análisis de regresión: conexiones de telefonía residencial por 100 habitantes y porcentual de hogares con ingresos superiores a 20 salarios mínimos. 1997. (Silva 2003).

En este caso, el coeficiente de determinación (r^2 ajustado) obtenido en la correlación fue de 0,74, o sea, casi 25% más preciso que el anterior, apoyado en la correlación inversa de los bajos ingresos. Tratándose de la misma base de datos y de la misma relación entre líneas telefónicas por 100 habitantes e ingresos familiares, la comparación entre los análisis estadísticos de las figuras 5 y 6 muestra que el estudio de la oferta abundante en los espacios de inclusión puede ser más expresivo sobre el proceso de concentración que el estudio sobre la escasez en los espacios de exclusión.

De este breve análisis de las diferencias entre cobertura y acceso efectivo a la infraestructura en São Paulo, es posible generalizar algunas observaciones que, aún si no aceptadas como premisas para otros casos de grandes ciudades emergentes, pueden prestarse al menos como hipótesis a ser probadas:

- a) la expansión asimétrica de las redes de distribución capilar, en relación con los sub-sistemas de distribución arterial y de producción central, crean una heterogeneidad de acceso que segrega a las periferias pobres, aún si aparentemente están cubiertas por los servicios;
- b) la consecuente delimitación de los espacios urbanos privilegiados dentro de los perímetros de expansión más homogénea de las redes, en áreas adyacentes al centro, en contraste con un proceso más disperso de valorización inmobiliaria en las grandes ciudades de los países de economía avanzada;
- c) la mayor precisión en el estudio de contrastes y concentración a partir de las áreas incluidas, más que por la detección directa de las carencias en las áreas excluidas.

La disputa por la escasez de capacidades

En Brasil, las redes más importantes de infraestructura urbana privatizadas hasta el momento son las de energía eléctrica y telecomunicaciones. Aún, la privatización de los servicios de saneamiento no ha afectado las grandes concentraciones metropolitanas, mayoritariamente atendidas por empresas estatales y formadas bajo el modelo de PLANASA. Esas empresas, aunque controladas por capital estatal, tienen personalidad jurídica de derecho privado, lo que les permitió obtener préstamos de la red bancaria internacional cuando el modelo de financiamiento para-estatal entró en colapso, a finales de la década de 80. El esquema de financiamiento implica costos de deuda y tasas de retorno sobre inversiones semejantes a las de las operadoras privadas, lo que torna la lógica de gestión de los prestadores estatales y privados muy parecidas entre sí.

Los estudios realizados a la fecha en Brasil sobre los pocos casos de gestión privada de los servicios de agua y saneamiento no han registrado, como regla, una práctica de tarifas abusivas o un movimiento sistemático de restricción de cobertura en las áreas más pobres. Por el contrario, el análisis profundo de Vargas (2005) sobre tres servicios operados en el régimen de concesión privada en los estados de São Paulo y Rio de Janeiro (incluyendo el de Niterói, en la región metropolitana de Rio), muestra que los prestadores han procurado

ampliar la atención de la demanda social por medio de ganancias en la eficiencia operacional. Sin embargo, los ingresos por tarifas han sido insuficientes para cubrir, por sí mismos, las metas de atención social. En todos los casos analizados, alguna forma de aporte de recursos públicos adicionales ha sido negociada con los reguladores, con vistas a cubrir la atención de la demanda social.

Este movimiento no difiere en esencia del observado a lo largo del modelo de oferta estatal, cuando la expansión de la atención social fue – en la mayoría de los casos – beneficiaria de aportes específicos de recursos presupuestarios o de transferencia de créditos especiales, a intereses subsidiados. No se registra, hasta el momento, una diferencia significativa en la actitud gerencial u operacional de parte de los prestadores privados en relación con las grandes operadoras estatales en cuanto a la cobertura de las áreas de bajos ingresos. La mayor diferencia reside, a nuestro juicio, en las grandes estrategias de planificación y regulación, sobre los conjuntos de servicios a escala regional y nacional, ésta sí más fragmentada y heterogénea bajo la práctica de las concesiones privadas.

Las estrategias sectoriales de los grandes sistemas estatales de oferta vigentes hasta mediados de los años 80 incluían fórmulas sofisticadas de compensación regional y manejo de excedentes, a manera de garantizar la continuidad de inversiones en la expansión de capacidades y cubrir las necesidades básicas de atención social.

Los grandes sistemas institucionales de infraestructura regional y urbana en Brasil, fueran éstos de telecomunicaciones, energía eléctrica, saneamiento ambiental o transporte urbano, estaban todos regidos por una lógica de articulación entre planificación financiera, regulación centralizada y operación parcialmente descentralizada. La planificación financiera se basaba en la reglamentación de fondos para-fiscales e instrumentos de compensación y resarcimiento de obligaciones entre los diferentes agentes del sistema, con un margen para la práctica de subsidios cruzados y de aplazamiento de deudas, buscando la menor dependencia posible de aportes fiscales directos.

Ésta fue la fórmula de los sistemas financieros de vivienda y de saneamiento bajo la coordinación del Banco Nacional de Vivienda – BNH, del sistema de energía eléctrica bajo la coordinación de Eletrobrás, del sistema de telecomunicaciones bajo la coordinación de las poderosas Telebrás y Embratel y del sistema de transporte urbano bajo la coordinación de la Empresa Brasileña de Transporte Urbano – EBTU.

La fórmula incluía siempre una gran y poderosa entidad para – estatal de alcance nacional con atribuciones de coordinación financiera y operacional del conjunto, uno o más órganos de la administración pública directa con atribuciones reguladoras generales y un sistema de agentes para-estatales operadores, por concesión, en el ámbito estatal o regional. Estos últimos rara vez correspondían a la escala de municipios, sino más bien a la de estados, micro-regiones o regiones metropolitanas. Por eso el sistema de oferta estatal de los años 50 y subsiguientes se fue distanciando de la escala local y, como regla, era considerado heterónimo y centralizador.

No obstante, los saltos de expansión de la oferta fueron marcados en todos ellos y, como rasgo común, y se basaron en fórmulas de gestión de escasez y subsidios cruzados a escalas tales que permitieran la generación de excedentes. Ese modelo implicó una enorme concentración de poder en los sistemas centrales de coordinación operacional y, de hecho, se apropiaron de las competencias de planificación y regulación en sus áreas sectoriales. La propia territorialidad de los sub-sistemas era regida por la lógica operacional, dando origen a agregados que muchas veces entraban en conflicto con la geografía de las jurisdicciones políticas y administrativas de los territorios que abarcaban. Ese carácter heterónomo de la oferta sectorial era acentuado por las distorsiones del modelo político impuesto por el régimen autoritario vigente entre 1964 y 1985 en Brasil, que cercenó, sistemáticamente, la autonomía de los estados y municipios.

A pesar de las distorsiones y componentes autoritarios, la oferta para-estatal desarrolló una lógica de gestión de la escasez que consiguió establecer niveles mínimos de homogeneidad de acceso en el ámbito interno de cada agregado operacional, a despecho de las brutales desigualdades de ingresos que caracterizan a Brasil y sus regiones hasta el día de hoy. En la destinación de capacidades para la producción económica y para la reproducción social, nunca dejó de ser prioritaria la atención a la primera, pero una serie de artificios reglamentarios y operativos permitió que la segunda también tuviese una expansión significativa. Uno de ellos, en todas las modalidades de infraestructura con variaciones de acuerdo con las especificidades de cada caso, fue la “tarifa social” siempre asociada a niveles mínimos de consumo remunerados por debajo del costo marginal de provisión. Para que ese esquema funcionara, siempre había, en alguna otra parte del complejo de oferta, una demanda que pagaba más que el costo marginal del servicio en su franja de consumo, lo que implicaba trabajar con agregados de oferta y demanda cada vez más abarcadores del territorio, y restringía el concepto de atención social al mínimo posible de la capacidad requerida para ese fin. Esta última dimensión de aquel modelo de oferta era crucial para su supervivencia, puesto que de una determinada capacidad agregada por área operativa, era necesario destinar el máximo posible de ésta para usos que pagaran el costo marginal pleno de producción y generaran excedentes para la expansión de la oferta social.

En ese sentido, la existencia de segmentos de demanda privilegiada siempre fue estratégicamente indispensable para la expansión de la oferta social en los sistemas sectoriales de infraestructura en Brasil.

Con el agotamiento de aquel modelo y la adopción de estrategias de oferta más próximas a las de bienes y servicios competitivos, como condición para la inversión privada en infraestructura, no es la disposición individual de cada operador en atender la demanda social sino la estructura reguladora que establecía mecanismos compensatorios de acceso en la gestión de la escasez. La privatización, entendida como proceso más amplio que pasa a predominar en la mayoría de los modos de infraestructura y servicios en red a partir de los años 90, dice más al respecto de la aplicación de una lógica privada en el complejo planificación, financiamiento y regulación sectorial, que de la personalidad jurídica de las operadoras de servicios.

Como agravante de ese agotamiento, surge un nuevo perfil de necesidades de consumo en el ámbito de la demanda social emergente, todavía poco estudiado, pero potencialmente muy importante. Se trata de las nuevas necesidades de consumo de servicios públicos para la ejecución de trabajo autónomo, en el hogar o fuera de él, en un escenario de nítida disminución del empleo tradicional en una fábrica o en un escritorio. La investigación basada en una muestra de 1041 hogares en el Municipio de São Paulo, de los cuales 341 estaban exclusivamente en barrios populares y 700 distribuidos por toda la ciudad, mostró la importancia del trabajo en el hogar, detectado en aproximadamente 15% de los hogares investigados (Silva 2003).

Esa investigación muestra, entre otros indicadores de uso creciente de la infraestructura para el trabajo en el hogar, una expresiva correlación entre el consumo residencial de energía eléctrica y el número de empleos totales (fig. 7), que resulta en un coeficiente de 0,66 y una determinación de 0,44.

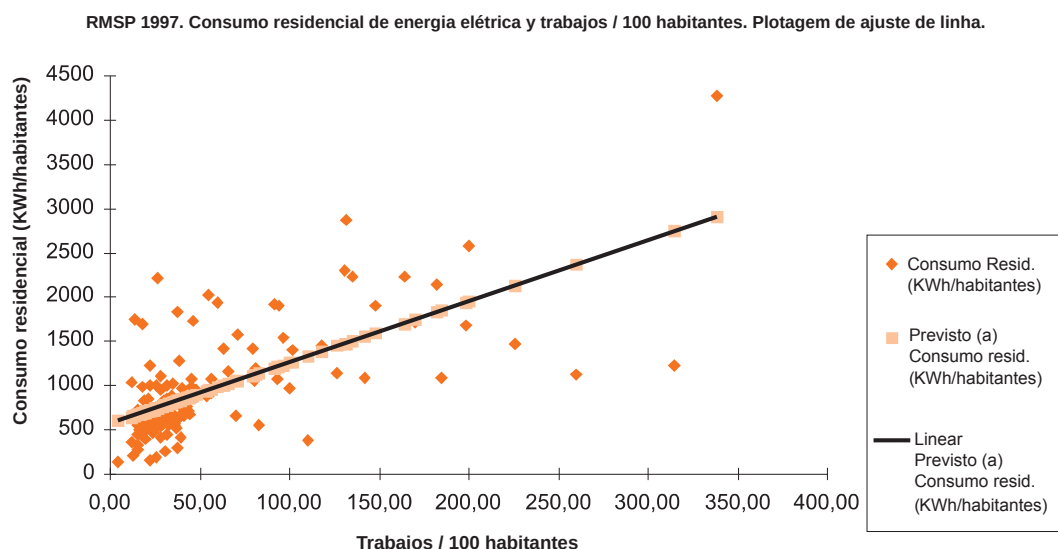


Fig. 7. RMSP. Estudios de regresión. Consumo residencial de energía eléctrica en función del número de empleos totales. 1997. (Silva 2003).

Es importante advertir que la relación se da entre empleo total y consumo residencial – y no consumo total – lo que puede incluir una porción significativa de consumo de energía eléctrica en actividades informales, no registradas como conexiones no residenciales. El resultado es interesante, no sólo por la expresividad del coeficiente de correlación obtenido en sí mismo, sino por su comparación con la correlación de bajo ingreso familiar (concentración de hogares con ingresos familiares hasta 2,5 salarios mínimos), que resultó en un coeficiente de 0,48 y una determinación de 0,23. Al contrario del caso de la cobertura de líneas de telefonía fija que presenta correlaciones con ingreso y empleo muy similares entre sí y ligeramente más fuertes en relación con los ingresos, en el de la energía eléctrica los coeficientes son heterogéneos y claramente más expresivos en relación con el empleo. Considerando que las investigaciones de empleo se refieren a empleo total, sin distinción entre cartera asignada,

autónomo o asalariado sin cartera, esa relación es un indicio importante del uso intensivo de la infraestructura pública y sus servicios por los segmentos informales de la actividad económica.

Las actividades de trabajo a domicilio detectadas en la investigación tienden, en su mayoría, a ser ejercidas por mujeres: costurera, niñera, manicura, salón de belleza, cocinera, bordadora, tejedora, comida salada / repostería, representando cerca del 53% de los casos investigados. Sin embargo, la presencia de actividades masculinas o mixtas tampoco es despreciable: se puede identificar cerca del 20% de actividades con tendencia al ejercicio predominantemente masculino (mecánico, plomero, electricista, ebanista, comerciante / bar) y el resto, aproximadamente 27%, de actividades que pueden ser ejercidas por hombres o mujeres indistintamente. Esa situación contrasta, discretamente, con los casos relatados en la revisión bibliográfica que apuntan hacia el predominio más acentuado de actividades típicamente femeninas. Pero no llega a invertir las tendencias, ya que aunque de forma menos marcada, continúa predominando el trabajo femenino, tal como se apunta en investigaciones específicas sobre el trabajo a domicilio en Brasil (ver Abreu y Sorj 1993; Lavinas et al., 2001). En el futuro, se debe investigar la comparación de esa condición con el aumento relativo de hogares cuyos jefes son mujeres, invalidando el carácter complementario a veces atribuido al trabajo femenino.

No fue posible valorar, a partir de las respuestas obtenidas en el campo, la sensibilidad específica en relación con los costos crecientes de los servicios públicos. En el desarrollo posterior de la investigación citada está previsto hacerlo, ya que los únicos datos secundarios disponibles sobre el peso relativo de los costos de los servicios públicos para el ejercicio de actividades de trabajo informal, de la PNAD 1997 (Brasil, IBGE 1998), apuntan a franjas nada despreciables de incidencia. La tabla 1 a continuación muestra los porcentajes de gasto de diferentes grupos de actividades informales en servicios públicos en red (agua, luz, teléfono), a partir del procesamiento de los datos de la investigación sobre trabajo informal, según el PNAD 1997, para São Paulo, Rio de Janeiro y Belo Horizonte. No hay información disponible relativa a otros años, lo que hace imposible montar una serie histórica. Sin embargo, el corte en el año base de 1997 sugiere algunas relaciones importantes de la actividad informal con la infraestructura y los servicios en red.

Tabla 1. Trabajo informal y gasto en servicios públicos en red. En porcentaje de los gastos totales. 1997. (Silva 2003)

Grupos de Actividad	RMSP		RMRJ		RMBH	
	Porcentaje s/ total	Porcentaje s/ total depurado*	Porcentaje s/ total	Porcentaje s/ total depurado *	Porcentaje s/ total	Porcentaje s/ total depurado*
Total	4,30	7,35	4,88	10,12	3,33	4,83
Industrias de transformación y extracción de minerales	3,83	11,75	5,17	18,38	3,73	5,65
Industrias de la construcción	0,28	0,30	2,31	2,70	2,33	2,34
Comercio de mercaderías	2,22	6,08	3,88	12,68	2,29	4,09
Servicios de alojamiento y alimentación	5,63	13,55	4,85	12,73	3,20	6,21
Servicios de transporte	0,17	0,17	0,01	0,01	0,47	0,47
Servicios de reparación, personales, domiciliarios y de diversiones	8,04	9,93	7,02	8,85	5,27	6,30
Servicios técnicos y auxiliares	6,85	7,11	9,76	10,52	7,16	8,08
Otros servicios	13,99	13,99	19,90	19,90	37,91	37,91

Fuente original: IBGE, Dirección de Investigaciones, Departamento de Empleo y Rendimiento PNAD 1997 (Brasil, IBGE 1998). Comparaciones y análisis del autor.

(*) Total depurado de los costos relativos a materias primas y mercaderías para la venta.

La incidencia de los costos de servicios en red es significativa para la mayoría de las actividades informales, con excepción de los servicios de transporte en las tres ciudades y de la construcción civil en São Paulo. Las incidencias de los costos de agua, luz y teléfono en las actividades de servicios de reparación, auxiliares, personales y de diversión, y en los servicios técnicos y auxiliares en general son relativa y homogéneamente más elevadas en las tres ciudades. La categoría 'otros servicios' es la que presenta las incidencias porcentuales más elevadas, a pesar de su comportamiento no homogéneo en las tres ciudades. En el caso de Belo Horizonte, la incidencia de los gastos de agua, luz y teléfono en esa categoría afecta a una franja cercana al 40%.

Frente a este panorama, el concepto estricto de consumo esencial para la reproducción física, que permitió al modelo de oferta para-estatal alcanzar niveles significativos de atención, debe ser profundamente revisado. Evidentemente, las necesidades mínimas de sobrevivencia física y sanitaria que inspiraban aquel concepto de consumo esencial continúan existiendo y deben ser atendidas. Sin embargo, el reconocimiento de la mayor complejidad en el cuadro de demanda social es importante para que se descarten tentativas

ingenuas de solución, como la simple re-edición de los contratos aislados de concesión, de la tarifa social para consumo mínimo. Lo que ocurre hoy, con tendencia a una mayor demanda de servicios para uso en la generación de ingreso en las familias, es la redefinición de los límites de capacidades destinadas a la producción económica y a la reproducción social que en los modelos anteriores de oferta eran claramente distintas entre sí. La dicotomía teórica que contrapone la oferta de infraestructura para la producción a la oferta destinada para el consumo, posiblemente, continúa siendo válida. Pero los límites tangibles entre esas dimensiones, en el plano material y operativo de los servicios, ciertamente se muestran mucho más fluidos y difíciles de identificar. Y por consiguiente, menos susceptibles de control a partir de mecanismos compensatorios simples, en el ámbito estricto de las políticas de tarifas.

Perspectivas de acceso universal y papel de la regulación

La relación entre la oferta de infraestructura y la creación de espacios privilegiados en la ciudad no es un proceso nuevo, sino se reaviva bajo la protección de la liberalización generalizada de la economía y el relajamiento de los instrumentos burocráticos de control. Pero el poder inductor de la infraestructura o el secreto de crear nuevos valores inmobiliarios es objeto de controversia en la literatura especializada. Como argumenta Offner (2000), es discutible la relación de causalidad entre la valorización inmobiliaria y la oferta de infraestructura, ya que ésta puede ser posterior a la otra. Sin embargo, independientemente del orden que determina los procesos, la concentración de las mejores ofertas en áreas más valorizadas tiene un papel central en la definición de desigualdad de acceso a las capacidades de infraestructura.

En un país marcado por la concentración de ingresos como Brasil, es natural que tales desequilibrios se agraven en el contexto de una oferta desregulada, no en cuanto a formalidad de los contratos de concesión y derechos y obligaciones comerciales, sino en cuanto al carácter público de los servicios. Y para rescatar esa dimensión reguladora es indispensable que se consideren – a la par de los instrumentos sectoriales de regulación – los múltiples sistemas institucionales que pueden, en su conjunto, rescatar el control público sobre los servicios.

La reforma reguladora de los años 80 en Europa y Estados Unidos (Majone 1988) convergió para la identificación de dos ámbitos adicionales al sectorial, en el proceso de re-regulación de los servicios públicos: (1) los sistemas de regulación económica (*antitrust*); (2) los sistemas de regulación ambiental.

La pertinencia de los servicios en red para los sistemas de defensa económica (*antitrust*) es un tema bastante controvertido porque el origen de las agencias y comisiones reguladoras específicas se basó en el reconocimiento de que tales servicios, por constituir necesariamente estructuras de monopolio, no serían capaces de encuadrarse en los sistemas de mercado abierto, los cuales por su naturaleza se sustentan en la libre competencia entre proveedores de productos y servicios.

Aunque a lo largo de la historia reguladora americana y británica del Siglo XX anterior a la reforma de los años 80 haya habido casos marcados de intervención del sistema anti-monopolio (*antitrust*) en las prácticas de abuso del poder económico por parte de prestadores privados de servicios, no se verificaba, hasta entonces, una inserción sistemática en el sentido de cobrar competitividad en relación al servicio regulado como tal.

La emblemática privatización británica de los servicios públicos, iniciada en la segunda mitad de la década de 80, tuvo como premisa organizacional la reestructuración tecnológica de las redes de infraestructura. La propuesta neo-conservadora británica tenía como premisa que la reestructuración tecnológica implicaría la transformación de los servicios en actividades competitivas, especialmente mediante el desmembramiento de funciones de producción central y de diferentes niveles de distribución de los servicios. Sobre la base de ese supuesto, la regulación sectorial sería reducida significativamente y los servicios pasarían a tener pertinencia – como actividades competitivas que serían – para el sistema regulador de las actividades económicas en general, inclusive el de defensa del público. Ocurre que las reformas tecnológicas necesarias para transformar los servicios en competitivos demandarían mucho más tiempo y mucho más dinero que el imaginado por los idealizadores de ese proceso (Bishop y Kay 1988). Frente a esas limitaciones, el gobierno decidió privatizar monopolios enteros con la misma estructura tecnológica vigente bajo el régimen de oferta estatal. Este desacuerdo entre la teoría y la práctica de la liberalización económica se ha visto repetido en la mayoría de los países, especialmente, entre los más pobres, dando origen a la transferencia de grandes redes abarcando unidades territoriales enteras y todo el espectro vertical de funciones (producción, distribución arterial, distribución capilar) con base en modelos reguladores en principio enfocados hacia estructuras tecnológicas competitivas.

Al gigantismo territorial y funcional de los complejos de infraestructura privatizados, se suma la práctica de los negocios combinados de grandes grupos empresariales de espectro múltiple, con posibilidad de dominar, al mismo tiempo, varias redes de servicios sobre un mismo complejo territorial. Ese tipo de monopolio no cubierto por la competencia del regulador sectorial, tampoco está tipificado en la esfera de los sistemas de defensa económica (*antitrust*), enfocados esencialmente a inhibir la concentración de mercados específicos.

En esta perspectiva, se destaca la relevancia de los servicios públicos y de las formas particulares de regulación y control que se aplican a la esfera de la política urbana. De hecho, existe una posibilidad de dominio territorial sobre la ciudad y la región, por parte de agentes privados, lo que no está previsto entre las formas tradicionales de dominio de mercados controlados por los sistemas de defensa del público. Pero sus efectos pueden ser determinantes en la creación de áreas privilegiadas y en el dominio de un 'mercado' de producción de la ciudad que, más que un dominio sobre segmentos específicos de la economía, afecta a vida de toda la colectividad urbana. De manera análoga se define la relevancia de la infraestructura y de los servicios en red al sistema de regulación ambiental, dado que la mayoría de éstos involucran interacciones e impactos relevantes al medio ambiente natural y construido.

Las interacciones se dan por las vertientes: (1) del consumo o apropiación de recursos como en el caso de las hidroeléctricas, del agua de abastecimiento público, del gas natural, que compiten por el uso de aguas superficiales o subterráneas y cuya prerrogativa de decisión sobre prioridades pertenece a la sociedad; (2) de la contaminación del medio físico, como en el caso del alcantarillado sanitario, de la disposición de residuos sólidos, de la emisión de gases contaminantes, de la contaminación difusa urbana; (3) de la acción indirecta sobre el agravamiento de fenómenos naturales que representan grandes impactos ambientales y elevados costos sociales, como el agravamiento de los picos de inundación derivado de la pavimentación vial y la reducción de las capacidades de absorción del suelo.

En lo que respecta a la relevancia para el sistema de los derechos del consumidor, la historia reciente de los servicios públicos en Brasil es enfática y auto-explicativa en cuanto al papel insustituible que éste tiene en el complejo regulador de esos servicios. En las recién creadas estructuras reguladoras sectoriales, las salvaguardas de los derechos de los usuarios son bastante parciales y de discutible eficacia. Las afrontas a derechos de los consumidores, perpetradas por la Cámara de Gestión de la Crisis de Energía a lo largo de la crisis de 2001, hicieron público el papel central que el sistema de derechos del consumidor tiene que cumplir en el complejo institucional de la regulación de los servicios públicos.

La exploración de las potencialidades de una estructura sistémica de regulación que incluya los instrumentos de regulación sectorial, ambiental, de defensa del público, de derechos del consumidor y de política urbana parece ser la única salida promisoría en el sentido de rescatar un sentido de regulación pública en el complejo institucional que interactúe con la infraestructura y los servicios públicos. Las estructuras institucionales de planificación metropolitana y de gestión integrada de recursos hídricos, en articulación con las otras instancias reguladoras de corte supra-sectorial, pueden constituir instancias legítimas y eficaces para regular las importantes dimensiones sociales, físico-territoriales y ambientales de los sistemas de infraestructura como parte de las reglas de organización comercial de los servicios, a las cuales se dedican de forma predominante los incipientes sistemas de regulación sectorial creados hasta la fecha.

Con la institucionalización del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, se abre una nueva perspectiva de inserción institucional para los servicios de saneamiento ambiental como agentes privilegiados del sistema en las cuencas densamente urbanizadas. Este es el caso, por ejemplo, de la Cuenca Hidrográfica del Alto Tietê que comprende la mayoría del territorio de la región metropolitana de São Paulo. La construcción de un plan común que abarque los servicios de saneamiento básico, drenaje urbano y residuos sólidos a escala metropolitana, ha propiciado la creación de un espacio institucional común con potencial para amarrar las acciones sectoriales en objetivos comunes relacionados al territorio. Ésta no puede ser entendida como una acción reguladora en el sentido estricto, identificada como la regulación específica de cada uno de los servicios involucrados, pero ciertamente compone un complejo de relaciones institucionales que determinan el ambiente regulador de todos los servicios involucrados en esa porción del territorio.

En lo que respecta a la evolución tecnológica, son marcados los esfuerzos – todavía incipientes, pero no despreciables – de creación de una cultura de gestión de demanda centrada en tecnologías que promuevan mayor aprovechamiento de las aguas disponibles. Desde los programas de control de pérdidas de la década de 80, después interrumpidos por varios años al inicio de la década de 90, se viene sedimentando, lentamente, en Brasil una preocupación por la eficiencia en el uso final del agua de abastecimiento urbano. Las perspectivas de evolución tecnológica y gerencial en ese segmento son promisorias, ya que están decididamente apoyadas en una estructura reguladora que contemple la gestión de la demanda como prioridad. En otros segmentos de la gestión de recursos hídricos, la gestión de la demanda también pasó a ser vista como componente prioritario de desarrollo sectorial, tal el caso de las medidas no estructurales para control de inundaciones.

La articulación inter-sectorial de los instrumentos de planificación y gestión como la propuesta en el Plan de la Cuenca del Alto Tietê (Fusp 2002), abre el camino para una fórmula híbrida de expansión de la oferta de interés social que no se base únicamente en la inversión estatal o, en su concepción opuesta, exclusivamente en la lógica de mercado. De la forma como están integrados los componentes sectoriales de la gestión de la cuenca, el plan abre el camino para la práctica de nuevas fórmulas de subsidios cruzados, de cobertura inter-sectorial, que amplíen la perspectivas de atención social.

La atención de la demanda social en la actual situación económica, institucional y social del Brasil urbano es triplemente desafiante por combinar, simultáneamente: (1) el agotamiento del modelo de oferta estatal; (2) la indefinición de una estructura reguladora que reciba la inversión privada, y (3) las profundas alteraciones en el perfil de la demanda social que tiene sus necesidades básicas de reproducción, crecientes requisitos específicos de nuevas formas de trabajo domiciliario y generación de ingresos en la economía urbana. A estas variables debe agregársele la relación con el medio ambiente y los procesos naturales que cada vez afectan más la vida en las ciudades, formando un cuadro de múltiples interacciones entre economía, sociedad, desarrollo urbano y medio ambiente.

En la definición teórica de los sistemas complejos, el conjunto de interacciones anterior no deja dudas en cuanto a su pertinencia. Dentro de éstas, una forma particular de complejidad agregada, que se distingue de la complejidad algorítmica y determinística, ha crecido en importancia (Mason 2001). En cuanto las dos últimas se apoyan en ecuaciones matemáticas y algunas premisas sobre como los sistemas complejos trabajan, la complejidad agregada procura entender la holística y la sinergia resultantes de múltiples interacciones³. Los discutibles resultados de la mayoría de los modelos matemáticos aplicados en planificación urbana y sectorial ayudan a reforzar la relevancia de la problemática urbano-ambiental en la esfera de la complejidad agregada, en el ámbito de la cual los efectos de múltiples interacciones difieren de la sumatoria de los efectos aislados de cada proceso.

³ Un conjunto de conceptos inter-relacionados definen un sistema de complejidad agregada: (1) las relaciones entre entidades; (2) la estructura interna y el ambiente que la envuelve; (3) nuevos aprendizajes y comportamientos emergentes; (4) diferentes medios por los cuales los sistemas cambian y crecen (Mason op. cit.).

Investigadores brasileños de la Universidad de São Paulo y de la Universidad Federal de Minas Gerais, basados en esa racionalidad – de la complejidad agregada – se han dedicado al estudio sistemático de las interacciones entre recursos hídricos y ambiente urbano, a partir de las cuales se han propuesto instrumentos gerenciales y operativos con gran flexibilidad y cobertura inter-sectorial para la gestión integrada de cuencas densamente urbanizadas.

La estructura conceptual de esos instrumentos es relatada y discutida en la sección siguiente, no tanto por el interés específico de los instrumentos en sí mismos, sino por las potencialidades de un proceso abarcador y flexible de planificación y gestión en una realidad urbano-ambiental cada vez más nebulosa.

Infraestructura, mancha urbana y gestión ambiental

En esta sección se describen los procedimientos analíticos y propositivos de nuevos instrumentos de gestión integrada de cuencas densamente urbanizadas, a partir de las experiencias de investigación aplicada al Plan de la Cuenca del Alto Tietê, en la región metropolitana de São Paulo y posteriormente trabajados para las grandes concentraciones metropolitanas brasileñas en general.

Se estudian las interacciones específicas entre mancha urbana y degradación ambiental relacionadas con la exclusión social, pero no automáticamente alineadas en cuanto a causas y soluciones. La identidad de una vulnerabilidad social no coincide necesariamente con la de una vulnerabilidad ambiental, considerando los diversos segmentos sociales y unidades espaciales que forman el complejo metropolitano. Los trabajos muestran la especificidad de los temas ambientales en áreas urbanas densamente ocupadas, la necesidad de articular la gestión sectorial con una visión estratégica más amplia y el papel de la información como condición básica de una participación social efectiva. El reconocimiento de la complejidad ambiental y social del sistema metropolitano llevó a la propuesta de instrumentos, simultáneamente estandarizados por los criterios de análisis y flexibles con respecto a las combinaciones posibles de respuestas aplicables. Este proceso lógico parece capaz de ser extrapolado a situaciones más generales de vulnerabilidad socio-ambiental, más allá de los usos del agua y sus interacciones con el medio urbano.

Conflictos específicos en cuencas urbanizadas

La literatura técnica sobre gestión de los recursos hídricos, en general, considera como conflictos básicos en el uso de recursos hídricos, los siguientes:

- Irrigación
- Aprovechamiento hidroeléctrico
- Control de inundaciones
- Demanda industrial
- Demanda urbana
- Tratamiento de aguas de alcantarillado
- Navegación
- Otros (recreación, etc.)

Estos son los conflictos clásicos de uso presentes en la mayoría de las cuencas, que dan origen a los métodos más conocidos de planificación de uso múltiple de los recursos. Los clásicos de la literatura especializada en planificación de aprovechamientos múltiples sirven de base para la decisión racional sobre las mejores distribuciones de aguas, para máximo beneficio neto. En general, esos principios son aplicables también a las cuencas densamente urbanizadas – aquellas cuyos territorios están, predominantemente, ocupados por áreas urbanas. Pero éstas presentan conflictos específicos en torno a modalidades de uso diferentes de las identificadas en las cuencas hidrográficas en general que deben ser consideradas con anticipación en los análisis de beneficio y costo.

En el Plan de la Cuenca del Alto Tietê, que comprende las unidades hidrográficas existentes en la región metropolitana de São Paulo, los conflictos involucran principalmente los siguientes usos:

- a) Abastecimiento urbano**
 - 1) Uso residencial
 - esencial
 - no esencial
 - 2) Uso no residencial (rol común)
- b) Grandes usuarios (industriales, comerciales y grandes empresas en general)**
- c) Control de inundaciones**
- d) Dilución de contaminantes**
 - 1) Contaminación concentrada (puntual)
 - 2) Contaminación difusa

Los grandes usos clásicos – irrigación y aprovechamiento energético – también existen en el complejo metropolitano de São Paulo y no son despreciables. No obstante, su magnitud con relación a los usos típicamente urbanos, en general, es muy inferior a los de las cuencas rurales o mixtas. La especificidad de los conflictos típicos de las metrópolis genera prioridades de acción ordenadas según patrones y valores distintos de los aplicables en la planificación de aprovechamientos múltiples en general. Existe un gran número de sinergias poco conocidas y de valores intangibles que hacen menos clara la racionalidad de la decisión.

Uno de los valores político-culturales que hace poco objetivo el análisis sobre el uso urbano del agua es la idea de que toda y cualquier clase de demanda residencial es necesariamente esencial y por lo tanto, merecedora de subsidios. Es claro que una parte de esta demanda, que corresponde a las necesidades básicas de higiene y salud, es de hecho esencial para la integridad sanitaria de toda la población. En esta categoría calza sin duda un nivel de demanda esencial. Existe otra categoría, menos conocida y comentada en la sección anterior de este capítulo, que corresponde a una demanda social para la generación básica de ingresos y, aunque también puede ser considerada esencial y merecedora de un tratamiento especial, no es necesariamente de la misma naturaleza que la anterior. Además, existe una parte del consumo residencial agregado que se destina a usos claramente no esenciales, tales como: lavado de vehículos, llenado de piscinas y otros. En este ejemplo, se caracterizan tres propósitos de oferta y demanda distintos entre sí, los que al mismo tiempo se refieren a un mismo bien físico, el agua de abastecimiento público. La distinción se presenta en el plano de uso y de la regulación que debe ser sensible a esas diferencias.

Otra dimensión de ambigüedad típica de los usos urbanos, que los distingue de los tratados en la literatura sobre usos múltiples en general, es la de los *trade-offs* entre objetivos ambientales y sociales. Uno de los más comunes en la gestión urbana es el que se define en la relación entre la ocupación de bajos ingresos y la contaminación de los manantiales. En el caso de la región metropolitana de São Paulo, las mayores tasas de crecimiento demográfico se producen en las periferias, donde se localizan las principales reservas de abastecimiento. Desde mediados de la década de 70, los gestores metropolitanos de los recursos hídricos han aplicado medidas de mitigación del impacto de esas ocupaciones, traducidas en criterios y normas restrictivas a la ocupación urbana del suelo. No obstante, la eficacia de esas medidas ha sido, sistemáticamente, comprometida por procesos complejos de desarrollo urbano, que presionan por la expulsión de la población más pobre a la periferia. Si se aplica un razonamiento estricto de análisis costo / beneficio, la limitación de la ocupación contaminante sería propiciada por una oferta metropolitana de oportunidades de vivienda de bajos ingresos que igualara el costo marginal de la contaminación. Sin embargo, ésto implicaría una supra-racionalidad de localización y la movilidad de los contingentes poblacionales que sobrepasa por mucho el poder de decisión real de las prefecturas y, aún más, de la coordinación estatal sobre los intereses comunes del ámbito metropolitano. Se debe hablar de la crónica escasez de recursos públicos, que al impedir medidas más sustantivas de prevención, inexorablemente, conduce el proceso hacia costos sociales y ambientales más altos, causados por la pérdida.

Son estas peculiaridades las que, a nuestro juicio, justifican un tratamiento específico para la gestión de las cuencas densamente urbanizadas, distinto al aplicable a otras cuencas hidrográficas en general. En el caso del Plan de la Cuenca del Alto Tietê (Fusp 2002), la complejidad de las relaciones entre calidad de agua, disponibilidad para uso urbano y control de inundaciones, mostró que la eficacia de acciones aisladas en relación a cada una de esas prioridades se vería muy limitada si no se consideraran sus interacciones recíprocas y las que se establecen entre éstas y el proceso de ocupación urbana. En el tratamiento conjunto de la gestión de los recursos hídricos con el caótico desarrollo urbano de la metrópoli, fue

posible caracterizar formas de vulnerabilidad socio-ambiental que probablemente puedan ser extrapoladas para una dimensión más amplia de relaciones entre los ambientes natural y construido, inclusive en lo que respecta a los fenómenos naturales que se han manifestado en forma e intensidad inéditas.

Planificación indicativa y gestión urbana de las aguas

El Plan de la Cuenca del Alto Tietê (Fusp 2002) fue desarrollado por encargo del Comité de la Cuenca, con vistas a cumplir con los siguientes objetivos generales:

- Asegurar agua de buena calidad y en la cantidad adecuada a toda la población, para lo cual es necesaria la protección de los manantiales superficiales y subterráneos, la conservación y la utilización racional del agua;
- Recuperar y conservar la calidad de los cuerpos de agua de la cuenca;
- Implantar sistemas eficientes de drenaje y control de inundaciones, por medio de medidas estructurales y no-estructurales.

Estos objetivos toman en cuenta una visión integrada de la gestión, en la cual la calidad y cantidad de agua son entendidas como objetos indisociables del sistema de planificación y gestión. Ésto implica la necesidad de una efectiva coordinación entre los distintos usos de los recursos hídricos, que en la práctica ha demostrado ser una tarea mucho más difícil de lo que nos llevarían a creer las formulaciones de principios generales de uso múltiple. Si la calidad y la cantidad son vistas como funciones de una misma política de desarrollo y preservación, las acciones en las áreas de protección de manantiales, alcantarillado sanitario (dentro y fuera de las áreas protegidas) y drenaje urbano no pueden seguir siendo tratadas como elementos sectoriales separados.

La visión integradora enunciada en los objetivos generales del plan tiene como desafíos subyacentes a la organización institucional de los sistemas de planificación y gestión, por un lado la articulación territorial, involucrando jurisdicciones distintas, y por otro, la funcional, implicando sectores que funcionan sobre la base de procesos específicos de planificación, regulación, financiamiento y operación. Ambas dimensiones integradoras – territorial / jurisdiccional y funcional / sectorial – son igualmente importantes para poder alcanzar los objetivos propuestos. El sistema institucional de planificación y gestión de los recursos hídricos enfrentará, en ese sentido, cuatro órdenes de desafíos de integración:

- integración entre sistemas / actividades directamente relacionadas con el uso del agua en el área de la cuenca hidrográfica, en particular, con el abastecimiento público, la depuración de aguas servidas, el control de inundaciones, la irrigación, el uso industrial, el uso energético, o hasta los sistemas con impacto directo sobre los manantiales, como el de desechos sólidos, teniendo en cuenta la optimización de aprovechamientos múltiples bajo la perspectiva de una gestión conjunta de calidad y cantidad;

- integración territorial / jurisdiccional con instancias de planificación y gestión urbana – los municipios y el sistema de planificación metropolitano – teniendo en cuenta la aplicación de medidas preventivas en relación al proceso de urbanización, evitando el agravamiento de demanda sobre cantidad y calidad de los recursos existentes, inclusive la ocurrencia de inundaciones;
- articulación reguladora con sistemas sectoriales no directamente usuarios de los recursos hídricos – como vivienda y transporte urbano – teniendo en cuenta la creación de alternativas reales al proceso de ocupación de las áreas de protección de manantiales y de los valles, así como la viabilización de patrones de desarrollo urbano que en su conjunto no impliquen un agravamiento en las condiciones de impermeabilización del suelo urbano y de contaminación sobre todo el sistema hídrico de la cuenca, aparte de las áreas de protección de los manantiales de superficie;
- articulación con las cuencas vecinas, teniendo en cuenta la celebración de acuerdos estables sobre las condiciones actuales y futuras de importación de excedentes y de exportación de aguas utilizadas en la cuenca. Este tipo de articulación tiene una tendencia a tornarse decisivo y extremadamente delicado en el futuro, dado que todas las opciones de ampliación absoluta de oferta de agua para la cuenca, una vez explorados sus propios recursos, involucran la importación de excedentes de las cuencas vecinas.

Todos estos son desafíos complejos y que no se pueden enfrentar por completo dentro de las competencias específicas del sistema de gestión de recursos hídricos. Los tres primeros requieren una fuerte articulación institucional con los sistemas de medio ambiente y de planificación metropolitana – aparte de la relación que se establezca con los poderes públicos municipales involucrados – ya que éste último conlleva una articulación con los sistemas de gestión de cuencas vecinas, mediada por las entidades superiores de los sistemas estatal y federal – para el caso de cuencas interestatales, como el Paraíba do Sul – de gestión.

El Plan fue desarrollado con carácter esencialmente indicativo, alineado con los principios de la reforma gerencial del Estado y con las disposiciones constitucionales que establecen esa forma de planificación en la organización de las acciones públicas que involucran la participación de otros agentes económicos que no son estrictamente el Estado. Vale decir que la opción de ese formato es la única posible para un plan con ese alcance institucional, ya que los recursos directamente administrados por el sistema de recursos hídricos – dentro de un escenario de plena vigencia de una entidad responsable del cobro por el uso del agua – jamás alcanzarían un nivel significativo en relación con los recursos movilizados por cada uno de los sectores involucrados. Esa consideración se hace necesaria para eliminar cualquier veleidad en favor de un diseño de planificación más determinativo, puesto que éste apenas se impone – como en el caso de los grandes sistemas sectoriales de los años 70– mediante la regulación de acceso a financiamiento centralizado. El Sistema de Recursos Hídricos no puede – en cualquiera de los niveles en que se articula – tratar de reeditar

modelos de imposición típicos de los sistemas sectoriales centralizados, ya que no tendría la expresión financiera necesaria para condicionar el comportamiento de los agentes.

El Plan trabaja sobre escenarios de escasez, en relación con los manantiales de superficie que abastecen la región metropolitana de São Paulo, y apunta a la necesidad de aprovechar todo lo que sea posible de las disponibilidades existentes o movilizables en el interior de la cuenca. Esa directriz básica implica reconocer la prioridad de acciones preventivas en el sentido de revertir el proceso de degradación de los manantiales y de acciones no estructurales aplicables a los grandes sistemas de abastecimiento de agua y drenaje urbano. Desde el punto de vista del abastecimiento, esas medidas se traducen en las estrategias de protección a los manantiales, hoy consagradas en los términos de sistema de gestión basados en:

- a) planes de desarrollo y preservación ambiental – PDPA – relativos a las áreas de protección, y
- b) acciones de conservación y uso racional del agua traducidas a estrategias articuladas de gestión de la demanda en el ámbito metropolitano.

Desde el punto de vista del drenaje urbano, las acciones no estructurales se articulan en torno a las metas de vaciado restringido, establecidas en el Plan Metropolitano de macro-drenaje, a partir de las cuales se recomienda la adecuación de normas urbanísticas, similares a los principios estratégicos de la protección de manantiales.

Tanto los planes locales de preservación de manantiales (PDPA) como las medidas de restricción de vaciado para el control de inundaciones se basan en un concepto análogo de alivio de cargas. En el primer caso, los planes locales deben trabajarse sobre un modelo de correlación entre índices urbanísticos y cargas contaminantes, cuyos máximos son establecidos en función de los regímenes hidrológicos y de la concentración admisible en cada cuerpo de agua o parte de éste. En el caso de los vaciados restringidos del plan de macro-drenaje, éstas son fijadas de acuerdo con la cantidad, como forma de prevenir que no se exceda el vaciado máximo admisible de las cargas en los principales cuerpos de agua metropolitanos. En ambos casos, las medidas preventivas implican control de uso y ocupación del suelo urbano, tanto por la vía normativa como por la oferta de alternativas reales a los procesos de degradación que se quieren evitar.

Tres grandes conjuntos de acciones han sido organizados para alcanzar las metas del Plan de la Cuenca del Alto Tietê (Fusp 2002), como sigue:

(1) las grandes medidas estructurales compuestas, principalmente, por los planes sectoriales ya en ejecución. Tales medidas engloban la continuidad de la implantación de las obras previstas por el Plan Director de Alcantarillados de la SABESP⁴, con importantes resultados para la descontaminación de los cuerpos de agua superficiales, de las ampliaciones ya previstas de los sistemas de abastecimiento de agua, con la conclusión del Sistema Alto Tietê, y las obras previstas en el plan de macro-drenaje para la ampliación de la capacidad

⁴ SABESP – Companhia de Saneamento Básico del Estado de São Paulo.

de desagüe y retención existente en la cuenca.

(2) las medidas de carácter institucional y legal, que contemplan:

- la creación de sistemas que incentiven los agentes estatales, municipales y privados a programar sus acciones de acuerdo con los objetivos del plan, es decir, que mejoren su actuación en lo referente a la protección de áreas de manantiales y valles, gestión de la demanda de agua y uso racional, gestión de los desechos sólidos y gestión del agua subterránea;
- la adopción de un proceso diferenciado de adhesión de los agentes a las metas del Plan de la Cuenca.

En el plan se discuten los principios de un sistema de adhesión gradual a las metas, cuya conformidad se proporcione no por una imposición normativa, sino más bien, por procesos negociados de adhesión. Sin embargo, no todas las metas están sujetas a negociación. Las que se derivan de determinaciones legales explícitas deben ser cumplidas por todos los actores del Plan y por eso, se destina una parte de los recursos a programas de fortalecimiento de la fiscalización. En lo que respecta al conjunto de metas negociables, se establece un proceso de adhesión gradual, en el cual el actor es incentivado para llegar a la conformidad. Esos incentivos se pueden traducir tanto en beneficios financieros por el acceso facilitado a los recursos del Fondo Estatal de Recursos Hídricos⁵, como en una mayor autonomía para la definición de medidas específicas.

(3) las medidas que traen una mejoría del proceso de decisión, como:

- inversión en sistemas de información que abarquen cartografía, redes de monitoreo de cantidad y calidad del agua, sistemas de información urbana y la recolección de toda la información necesaria para el proceso de gestión;
- capacitación de recursos humanos;
- programas de comunicación social.

En el primer grupo de medidas se destaca la absorción por el sistema de gestión de la cuenca, de los grandes planes sectoriales emprendidos por los principales agentes. Un plan de carácter indicativo, como el PBAT, no tendría la capacidad de establecer por sí mismo prioridades estructurales de inversión para los agentes sectoriales. Al final, son estos mismos los responsables de la captación de los recursos necesarios para su realización y por el retorno financiero de los servicios prestados. Por otro lado, el Plan no puede ignorar la existencia de esas prioridades sectoriales y centrar sus esfuerzos sobre una plataforma de desarrollo institucional y de mejoría de la planificación y gestión derivada de éstas. La solución encontrada fue la inclusión de las prioridades sectoriales ya definidas como elementos del Plan de la Cuenca, a partir de las cuales se construyó un sistema de compromisos y de apoyo a la gestión integrada.

⁵ FEHIDRO – Fondo estatal que reúne las rentas por regalías derivadas del aprovechamiento energético y de cobros sobre otros usos del agua, en los términos de la legislación recientemente aprobada en el Estado de São Paulo.

En el segundo bloque de las medidas de carácter institucional y legal, se destaca el concepto de flexibilización normativa, asociado al sistema de adhesión incentivada de los actores a las metas del Plan como corolario del reconocimiento sobre su carácter predominantemente indicativo. Al contrario de un eventual debilitamiento del sistema de gestión, la flexibilización normativa es una estrategia enfocada a su fortalecimiento, al conferirle instrumentos ágiles de revisión y reestructuración de procedimientos específicos, con vistas a lograr sus objetivos de forma eficiente y eficaz.

En el tercer bloque, las medidas enfocadas a mejorar el proceso de decisión – acciones en planeamiento y gestión – constituyen un contrapunto esencial a los requisitos de flexibilidad asumidos en la estrategia institucional del sistema, teniendo en cuenta la gran dependencia de una gestión flexible en relación a sistemas de información robustos y transparentes. Se constituyen como elementos clave de esos requisitos de información: la ampliación en la capacidad de monitoreo de la calidad del agua superficial, el desarrollo de sub-sistemas de información sobre aguas subterráneas y la integración de diferentes bases sectoriales de información urbana. Como acción común a los dos bloques se destaca la estrategia de conservación y uso racional del agua mediante programas articulados y estables de gestión de la demanda, en contraposición a acciones de emergencia para reducir el consumo.

Las preocupaciones principales del Plan se centran en la ocupación desordenada de la periferia metropolitana y en los procesos que la causan, lo que implica admitir que gran parte de las medidas recomendadas apenas será eficaz si se basan en un sistema activo de planificación metropolitana, con legitimidad para coordinar funciones públicas de interés común del conjunto de los municipios metropolitanos. En ningún momento, el Plan aboca a la esfera de planificación y gestión de recursos hídricos, la toma de decisiones sobre sectores e instancias de poder político que extrapolan su competencia. En su lugar, se trata de una postura articuladora, de búsqueda de entendimiento con las diferentes instancias sectoriales y territoriales que componen el complejo metropolitano, en nombre de objetivos y metas comunes de preservación ambiental y atención social.

Convergencia de los abordajes no estructurales

La inclusión de medidas no estructurales en el conjunto de las estrategias de planificación y gestión integrada es un enorme avance en el entendimiento multidisciplinario de una realidad compleja como el sistema metropolitano. La visión sectorial prevaleciente en los planes anteriores de gestión de recursos hídricos y saneamiento ambiental en São Paulo y, prácticamente, en todas las grandes concentraciones urbanas de Brasil, se basa siempre en la competencia técnica de la ingeniería y en la eficiencia de las medidas estructurales, sin intento alguno de contener la escalada de la demanda.

En el Plan del Alto Tietê, uno de los grandes avances metodológicos fue la combinación de medidas estructurales y no estructurales en el ámbito de cada sector usuario del agua, a manera de aumentar al máximo los beneficios netos combinados. Esa combinación abre el camino para una cooperación, hasta ahora inédita entre sectores usuarios, en el ámbito de

las medidas no estructurales.

Es habitual la cooperación inter-sectorial en el ámbito estructural, entre la cual se destacan varias alternativas de uso múltiple de depósitos, para abastecimiento de agua, control de inundaciones, generación de energía y otros. Pero la articulación entre sectores usuarios del agua para el aprovechamiento común de los beneficios de medidas no-estructurales, hasta ahora es inédita, aunque razonablemente posible dentro de la concepción del Plan del Alto Tietê. Entre los campos abiertos para una posible convergencia de medidas no estructurales, se destacan:

- a) *Posibles prácticas inter-sectoriales de subsidios cruzados:* Los subsidios intra-sectoriales que marcaron la mayoría de los sistemas de infraestructura bajo el modelo de oferta estatal de los años 60 hasta principios de la década de 90, en general, estaban basados en estructuras tarifarias crecientes. Por medio de esa práctica, las ofertas marginales correspondientes a las franjas más elevadas de consumo *per cápita* eran cobradas a un precio más elevado, superior a su costo marginal, a manera de generar excedentes que subsidiaran los consumos básicos. La premisa de que los consumidores de mayores cantidades serían los de mayores ingresos, en general, era correcta y socialmente justa para la mayoría de los servicios, incluyendo el abastecimiento de agua. No obstante, el poder económico de los sistemas sectoriales, aún cuando organizados en enormes complejos de oferta agregada, resultó insuficiente para cubrir las crecientes necesidades de la demanda de bajos ingresos. El concepto de subsidio cruzado inter-sectorial tiende a abrir nuevas perspectivas para una expansión integrada de cobertura de los servicios, toda vez que la economía de escala – originalmente asociada a la lógica intra-sectorial de subsidios cruzados – sería asociada a una economía de propósito, en relación con los varios usos urbanos del agua. El ejemplo más expresivo viene de las necesidades comunes de limitar cargas contaminantes, desde el punto de vista de la preservación de los manantiales y de limitar vaciados de drenaje lanzados a los cuerpos de agua de aguas arriba, para fines de controlar inundaciones, ambas convergiendo para un conjunto armónico de medidas no estructurales de control de uso y ocupación del suelo, como se describe en el punto siguiente.
- b) *La analogía y el establecimiento de metas compatibles entre cargas contaminantes y vaciados restringidos:* En São Paulo, los planes metropolitanos de abastecimiento de agua y de control de inundaciones prevén medidas análogas de control de uso y ocupación del suelo, con vistas a aliviar sus respectivas demandas estructurales. Desde el punto de vista del abastecimiento de agua, la limitación de contaminación concentrada (puntual) en la fuente, en las áreas de influencia de los depósitos de superficie y cuerpos de agua tributarios, está enfocada a la simplificación (y reducción de costos) del tratamiento, principalmente, en lo que respecta a la remoción de nutrientes y control de algas. El costo creciente del tratamiento avanzado de agua ha justificado programas conjuntos entre la operadora del servicio de agua y la empresa estatal de desarrollo habitacional y urbano para mejorar las condiciones sanitarias de los asentamientos en esas áreas, hasta el punto en que el costo marginal de la mejoría urbana iguale el costo marginal

del tratamiento avanzado.

Una estrategia similar ha sido adoptada en el ámbito del plan metropolitano de macro-drenaje, a manera de aliviar los picos de vaciado en los trechos medios y bajos de los principales cursos de agua metropolitanos. Al igual que las cargas meta de contaminación de los depósitos de superficie, el concepto de vaciados restringidos abre oportunidades para programas conjuntos con las agencias públicas de vivienda y desarrollo urbano, cuyo parámetro de restricción financiera está también basado en el costo estimado de inversión en la estructura hidráulica ampliada, caso que se ha mantenido en las tendencias de urbanización.

En ambos casos, el *trade-off* entre la intervención no estructural conjunta y el costo de la expansión estructural es definido, internamente, a cada sector usuario. Si se aplica el principio de subsidio cruzado inter-sectorial, es probable que el margen compuesto de la intervención no estructural – si la lógica de la descontaminación y del control de inundaciones fuera combinada – resulte mayor que la simple suma de los dos componentes sectoriales. Desde la perspectiva de una estrategia combinada, los beneficios del control de la contaminación difusa, asociados a las medidas restrictivas de vaciado de drenajes, podrían ser contabilizados en el contexto de la descontaminación de manantiales, posiblemente ampliando la viabilidad marginal de las intervenciones integradas en general.

- c) *La gestión coordinada de resarcimientos por contaminación y por inducción a las inundaciones:* En la misma línea de la identificación de analogías entre los objetivos específicos de acciones no estructurales, el Plan del Alto Tietê consideró la aplicabilidad de pago por uso, no sólo para los fines de uso y contaminación del agua, sino también para desarrollos inmobiliarios que causan aumentos en la velocidad y vaciado de llenas en los cuerpos de agua metropolitanos, por impermeabilización de terrenos absorbentes. Ese concepto y los respectivos instrumentos todavía no han sido implantados en la gestión de la cuenca del Alto Tietê, pero son parte de una importante contribución de los investigadores de la Universidad Federal de Minas Gerais dentro del contexto del proyecto URBAGUA⁶. En ese proyecto se investigó una muestra de municipios pequeños y medianos en el Estado de Minas Gerais, para los cuales se desarrolló – bajo la coordinación del Prof. Nilo Oliveira Nascimento de esa institución – un modelo de cobro por impermeabilización.

Es importante tener presente que las posibles articulaciones inter-sectoriales abiertas por el Plan se refieren a un contexto de profunda desigualdad social y de enormes asimetrías de acceso a la infraestructura pública. Desde esa perspectiva, sería absolutamente ineficaz proponer instrumentos técnicos de articulación inter-sectorial aptos para aumentar al máximo los beneficios combinados, sin un direccionamiento específico de esa ganancia en productividad en favor de los segmentos más vulnerables de la sociedad.

⁶ Instrumentos de gestión integrada del agua en áreas urbanas. Subsidios al Programa Nacional de Descontaminación de las Cuenas Hidrográficas y estudio exploratorio de un programa nacional de apoyo a la gestión integrada. Convenio FINEP CT-HIDRO 23.01.0547.00.

En un sistema metropolitano complejo como el descrito, las vulnerabilidades se manifiestan en los ámbitos social y ambiental de diferentes formas, a veces sumadas, otras independientes, o de alguna forma compensadas entre sí. La medición de esos procesos e interacciones se torna difícil por la heterogeneidad de las informaciones básicas y de los indicadores aplicables, aparte de la dificultad de obtener datos brutos confiables. Uno de los resultados de las actividades de elaboración del Plano de la Cuenca, realizado por el grupo de la USP, fue el desarrollo de un proyecto de investigación específico, enfocado a la profundización de sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión integrada. Los requisitos de descentralización decisoria, de participación de los varios agentes en el proceso decisorio y de la homogeneidad de parámetros y conceptos aplicados en las diferentes sub-cuencas, observados en el proceso de elaboración del Plan del Alto Tietê, dan origen a una demanda específica de instrumentos de información y apoyo a la decisión de que fueran trabajados también en el contexto del proyecto URBAGUA, citado, en colaboración entre la Universidad de São Paulo⁷ y la Universidad Federal de Minas Gerais ⁸.

Bases de información para una gestión descentralizada (SIU, SIG, SAD)

La información y su manejo constituyen la base del proceso de planificación y gestión integradas. La estructura institucional del sistema de gestión de los recursos hídricos en Brasil está compuesta por una red de comités y sub-comités, que corresponden a una jerarquía territorial e hidrográfica de cuencas, sub-cuencas y unidades de gestión. No obstante, la configuración física de esa jerarquía no está, estricta y exclusivamente, relacionada con la estructura hidrográfica. Teniendo en cuenta el equilibrio político entre decisiones y responsabilidades involucradas, el sistema de gestión permite la adhesión de municipios cuyos territorios están apenas parcialmente comprendidos en una dada unidad hidrográfica.

Un conjunto de diferentes municipios y sub-comités es abarcado por la jurisdicción de un mismo comité de cuenca y un conjunto mayor de comités puede formar un consejo estatal o nacional de recursos hídricos. Por lo tanto, se trata de un proceso de planificación que comprende competencias de planificación, regulación y gestión que abarque agregados territoriales desde grandes regiones de alcance estatal o nacional, hasta la capilaridad de depósitos individuales y sus áreas de influencia (como en el caso de los manantiales de agua metropolitanos). En cada una de esas jurisdicciones se organizan cuerpos colegiados de decisión participativos, se desarrollan planes específicos de gestión de los recursos y se establecen instancias ejecutivas que tienen como responsabilidad alcanzar los objetivos y metas de los planes. En un sistema como este, descentralizado y participativo, la existencia de criterios homogéneos para la recolección, recuperación e interpretación de información constituye un prerrequisito para su eficacia.

Con la intención de promover la estandarización de la información para la gestión integrada

⁷ Investigadores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (Dep. de Tecnología de la Arquitectura) y Escuela Politécnica (Dep. de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria, Dep. de Ingeniería de Construcción Civil), coordinados por el Centro de Investigación en Informaciones Urbanas de la Pro-Rectoría de Investigación.

⁸ Investigadores de la Facultad de Ingeniería (Dep. de Ingeniería Hidráulica y Recursos Hídricos, Dep. de Ingeniería Sanitaria y Ambiental).

– y con un enfoque particular en las cuencas densamente urbanizadas – el Proyecto URBAGUA desarrolló tres aplicaciones de gestión de la información y apoyo a las decisiones.

a) **SAD_URBAGUA:**

Esta aplicación asocia el desempeño esperado de diferentes alternativas de tratamiento de aguas de alcantarillado a metas de descontaminación específicas. Es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que partió de una versión anterior desarrollada en el ámbito de la red PROSAB⁹, con participación de los investigadores de la Universidad Federal de Minas Gerais involucrados en el Proyecto (URBAGUA 2004 MF-2).

La aplicación tiene por objeto apoyar el proceso de selección de las alternativas más adecuadas para el tratamiento de aguas de alcantarillado en cada caso específico, tomando en consideración la clase de cuerpo de agua receptor y la calidad del efluente en el lanzamiento. El modelo trabaja un conjunto de variables ambientales, operacionales y económicas, en conjunto, en la previsión de cuáles serían las respuestas de desempeño de cada alternativa. Se consideran cerca de 40 alternativas de reactores simples y compuestos, desde tratamiento primario hasta estaciones seriadas con tratamiento biológico completo y remoción de nutrientes.

La aplicación fue desarrollada en una plataforma de hoja electrónica, programada para operaciones automáticas de cálculo a partir de los datos alimentados. Tiene correlaciones internas en *default* que pueden ser, eventualmente, alteradas por el usuario, si tuviera disponibles datos específicos más precisos. Este es el caso, por ejemplo, de la carga de contaminantes, por *default* estimada a razón de 54g de DBO por habitante por día (media brasileña urbana). Las rutinas de cálculo se basan en resultados de investigaciones extensivas sobre el funcionamiento de reactores en situaciones de uso real, realizadas en estaciones de tratamiento en São Paulo y Minas Gerais, bajo diferentes condiciones de clima, mantenimiento y otras variables que afectan el desempeño final.

El ordenamiento de resultados, debido a que involucra diferentes opciones de selección y *trade-offs* entre eficiencia, inversión, costo de mantenimiento y requisitos de área, puede hacerse por medio de diferentes filtros, inclusive con aplicación de ponderaciones con matemática Fuzzy, que fueron empleadas también en las otras dos aplicaciones desarrolladas.

El problema presentado en SAD-URBAGUA, con funciones discretas para las alternativas de tratamiento, sugiere la utilización de algoritmos dentro de la categoría MCDA¹⁰. El método más utilizado en esta categoría es el de la Ponderación Aditiva Simple (media ponderada) y sus diversas variantes. Estos métodos, muchas veces, son utilizados sin que

⁹ PROSAB. - Fondo Sectorial de Investigación en Saneamiento Básico, del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

¹⁰ MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis o Multi-Attribute Decision Analysis, aplicable cuando las alternativas pueden ser expresadas a través de funciones discretas.

se respete la exigencia conceptual de que los atributos sean independientes. El conjunto de los números difusos (*Fuzzy*) presenta diversas características interesantes para que se busque entre sus algoritmos, alguno adecuado para la solución del problema en casos en los cuales:

- los resultados están enfocados a la medida de fenómenos que contienen incertidumbres;
- involucran la ponderación de variables cuantitativas pero también cualitativas o conceptuales;
- trabajan fácilmente con grandezas de dimensiones diversas, ya que en el tratamiento aditivo, transforma sus valores en grandezas adimensionales.

El algoritmo equivalente al de la Ponderación Aditiva de la matemática clásica, llamado de Integral Fuzzy, no exige inter-dependencia entre los atributos de las alternativas, así como no tiene límites a considerar en cuanto al número (de alternativas), ni tampoco para el número de atributos, a no ser el volumen de cálculo necesario, bien superior al de la matemática clásica.

b) SIU_URBAGUA:

El Sistema de Información Urbana se enfoca a la valoración de los impactos de la urbanización de grandes áreas sobre el sistema hídrico. Trabaja las cuatro series de información agregada que define: (1) el potencial de aumento de densidad y / o crecimiento demográfico, combinando tasas geométricas de crecimiento y densidad como forma de caracterizar el potencial de expansión y aumento de densidad en el distrito considerado en relación a otros del complejo metropolitano; (2) la vulnerabilidad social, a partir de variables que definen el ingreso familiar, el congestionamiento habitacional y la precariedad de la vivienda como forma de identificar situaciones de necesidades sociales urgentes; (3) precariedad sanitaria, combinando acceso a la red de agua, conexión a la red de alcantarillado sanitario (incluyendo la relevancia de las grandes áreas de tratamiento metropolitano) y la recolección de desechos sólidos; (iv) vulnerabilidad ambiental, combinando la proximidad a los depósitos de superficie, el riesgo de inestabilidad geotécnica y la exposición a inundaciones.

La información originada en una sub-división territorial heterogénea – micro-cuencas de alcantarillado sanitario, compartimientos de drenaje y sectores de abastecimiento de agua – fueron convertidos a distritos censatarios como unidad fundamental de desagregación. Estos distritos pueden ser agregados en sub-cuencas, municipios y unidades hidrográficas de diferentes escalas, hasta el nivel nacional, dependiendo del alcance deseado del análisis. A pesar de estar organizado para un espectro que abarca la agregación de informaciones, el modelo, hasta ahora, ha sido alimentado sólo con datos de la región metropolitana de São Paulo.

La aplicación funciona a partir de una interfase de usuario conectada a una base de datos relacional, en la cual se almacenan las informaciones que van a alimentar los análisis de caso. El sistema utiliza el Administrador de Base de Datos Relacional MS SQL_SERVER, compatible con los mejores del mercado además del lenguaje visual de desarrollo *MS_VBA-Visual Basic for Applications*. Como interfase con las Bases de Datos se utiliza el *MS-Excel* para incorporar todas las herramientas de una hoja electrónica (gráficos, funciones, visualización en tablas) además de permitir modificaciones con gran agilidad, una de las principales características de un sistema que tendrá que interactuar con un número grande y heterogéneo de usuarios.

Por involucrar ponderaciones entre variables heterogéneas, las estimaciones de los niveles de vulnerabilidad y precariedad descritos en los cuatro grandes grupos también fueron tratadas con procedimientos de ponderación de la matemática *Fuzzy*. En este caso, más que en el anterior, el espectro de auto-correlaciones posibles es variado e incierto, por eso se emplean algoritmos que permiten la asociación de variables cualitativas y cuantitativas, en procesamiento abierto. Las auto-correlaciones obtenidas pueden ser representadas espacialmente por medio de cartogramas esquemáticos, generados en el propio sistema.

c) **SIG_URBAGUA:**

Sistema de Información Gerencial, específicamente enfocado a la valoración de la eficiencia y eficacia de la gestión de uso y ocupación del suelo y de otras iniciativas sectoriales tomadas por diferentes actores, en relación con los objetivos de sustentabilidad de la cuenca. Este sistema utiliza indicadores calculados a partir del SIU y los conecta a una base de datos específico de acciones realizadas y en ejecución en el área de la cuenca.

El SIG_URBAGUA puede ser visto como una especie de espejo del SIU, en términos de acciones y efectividad. Mientras que el sistema anterior organiza información con vistas al diagnóstico, éste organiza información sobre acciones que interfieren o pueden interferir en la realidad diagnosticada. La agregación territorial, jurisdiccional y funcional de la información catastrada en el SIG es compatible con las categorías definidas para diagnóstico en el SIU. Este modelo ya fue estructurado funcional y operacionalmente, pero todavía no ha sido alimentado con información real a escala operativa. Las respuestas de esta aplicación están enfocadas a la valoración de la eficiencia y eficacia de las acciones descentralizadas, tanto para fines de monitoreo del proceso, como para valoración final de resultados.

Nuevos frentes de convergencia en escenarios de vulnerabilidades múltiples

El abordaje de instrumentos de apoyo a la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas densamente urbanizadas, en las secciones anteriores, abre el camino para la identificación de nuevos frentes de debate, en la interfase entre política urbana, medio-ambiente e

investigación aplicada. Una serie de problemas encontrados en la relación entre ciudad, oferta de infraestructura y recursos hídricos, puede ser extrapolada para la relación más general que se establece entre el ambiente construido urbano y el medio físico natural, inclusive en relación con los posibles efectos del cambio climático.

La relación entre ciudad y recursos hídricos muestra, con claridad, las limitaciones del ámbito municipal para la resolución de problemas infraestructurales y ambientales de ámbito metropolitano. En el caso del drenaje urbano, por ejemplo, es muy marcada la asimetría de intereses locales en lo que respecta a los efectos de la impermeabilización del suelo urbano y el consecuente aumento de velocidad y vaciado en los ya saturados cuerpos de agua metropolitanos. Un municipio aguas arriba, en la periferia metropolitana, no es simultáneamente causante y víctima del agravamiento de inundaciones. Al permitir la urbanización desordenada de las áreas bajo su jurisdicción, procura resolver problemas de oferta habitacional y desarrollo económico del municipio, lo cual es legítimo desde el punto de vista estricto de la gestión municipal. Sin embargo, al causar un agravamiento de las inundaciones aguas abajo, en otro municipio metropolitano, la acción genera costos ciertamente superiores a los beneficios recibidos por el municipio impermeabilizante. El municipio aguas arriba no tiene ninguna motivación interna para inhibir la impermeabilización y el aumento de velocidad / vaciado aguas abajo, por eso el tema no se puede resolver por medio de una simple optimización interna de la gestión municipal. Es precisa la intervención de una entidad supra-municipal que regule la reacción, de manera que los resultados combinados de las acciones locales resulten en un mayor beneficio para todos.

El ejemplo anterior, bastante simple y real en el contexto de la región metropolitana de São Paulo, puede ser extrapolado para procesos menos evidentes que involucran prácticamente todos los modos de infraestructura y todo el complejo de sistemas ambientales que componen el medio físico metropolitano. De manera general, toda y cualquier red que encierre asimetrías de acceso y de oferta, es potencialmente generadora de tensiones entre intereses locales. Éstas reflejan diferentes oportunidades de desarrollo económico y social, diferentes perspectivas de preservación del patrimonio ambiental y diferentes niveles de vulnerabilidad en relación con fenómenos naturales.

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones descritos en la sección anterior están enfocados a la homogenización de criterios para comprender la realidad y la relativización de respuestas aplicables. Ambos atributos se derivan del reconocimiento de una realidad extremadamente compleja, sobre la cual son frecuentes los errores de diagnóstico y poco eficaces las intervenciones estandarizadas. La consideración de parámetros medios, ya sea para la construcción de indicadores socio-económicos o para la detección de tendencias relativas a la expansión de la oferta de servicios públicos, conduce a interpretaciones engañosas sobre una aparente condición de mejoría generalizada – en los patrones medios de atención– en un cuadro de ablandamiento de las carencias más agudas. Esas interpretaciones son engañosas porque se refieren a cifras promedio que enmascaran las enormes y crecientes asimetrías internas al complejo metropolitano. Si por un lado es verdad que las tasas promedio de crecimiento demográfico están decreciendo, por otra parte se ha

verificado una yuxtaposición inédita entre distritos censatarios que han perdido población absoluta. De ahí la necesidad de trabajar con las desagregaciones distritales, en las bases de información propuestas.

En lo que respecta a las condiciones de vulnerabilidad socio-económica, también existen fallas en la asociación de esta condición con parámetros absolutos, como el ingreso familiar. La consideración de múltiples indicadores y su ponderación por medio de matemática Fuzzy, propuesta en la construcción del SIU_URBAGUA, parte del reconocimiento de una gradiente de vulnerabilidades, en la cual son más vulnerables los segmentos sociales y los sitios que combinan diferentes atributos de precariedad. En una metrópolis desigual como São Paulo, es muy difícil identificar una dada condición como la de mayor peso en la determinación de vulnerabilidad. La ausencia de trabajo fijo, la precariedad de la vivienda, la falta de acceso a la infraestructura son condiciones de exclusión y segregación que, aisladamente, contribuyen para la determinación de un cierto nivel de vulnerabilidad. Pero en el ámbito metropolitano, en el cual todas ellas se combinan, es preciso establecer un procedimiento homogéneo de ponderación, a manera de identificar – en el universo de las precariedades – cuáles segmentos presentan mayor vulnerabilidad en todo el complejo.

El mismo razonamiento se aplica a la detección de la vulnerabilidad ambiental y a las exigencias de desempeño de medidas enfocadas a su mitigación. En un mundo ideal, en el cual no exista restricción financiera, los patrones de lanzamiento de efluentes deberán ser absolutos. Sin embargo, la realidad de una ocupación metropolitana gigantesca sobre un sistema hídrico frágil implica situaciones diferenciadas en cuanto a las concentraciones existentes y al impacto relativo de cargas contaminantes lanzadas en diferentes sitios. La herramienta de apoyo a la toma de decisiones sobre alternativas de tratamiento – el SAD_URBAGUA – admite la programación de niveles diferenciados de descargas, de acuerdo con las condiciones del cuerpo receptor. La menor exigencia sobre algunos lanzamientos, en trechos del sistema hídrico en los cuales, el impacto de la descarga sea relativamente menor, permite concentrar esfuerzos y recursos sobre los casos en los cuales la acción descontaminante presenta mayor impacto, a manera de obtener máximo beneficio neto del conjunto de las acciones.

Si se combinan los criterios de definición de prioridades relativas entre medidas estructurales y no estructurales, es posible establecer un proceso de planificación y gestión altamente flexible en cuanto a su materialidad y al mismo tiempo bastante controlado en cuanto a sus objetivos y metas. En los ejemplos anteriores, el manejo conjunto de los sistemas de información urbana y de apoyo a la toma de decisiones para la selección de niveles de tratamiento de efluentes, permite establecer un conjunto variado de alternativas que combinen controles sobre uso y ocupación del suelo con tratamiento de alcantarillado, con vistas a un mismo objetivo común de descontaminación. La homogeneidad y estandarización de los procedimientos analíticos, desde esa perspectiva, propician una mayor flexibilidad en el espectro de intervenciones urbanas y tecnológicas aplicables. Este razonamiento básico es, trabajado en los modelos de gestión integrada de cuencas urbanizadas, que entendemos está sujeto a extrapolación para la planificación y gestión de los complejos urbano-ambientales

en general, inclusive en el escenario de agravamiento de los fenómenos naturales.

Esos nuevos horizontes de la investigación aplicada exigen una nueva agenda, asociada a una nueva concepción de agregados urbano-regionales. La experiencia del Plano de la Cuenca del Alto Tietê, en la región metropolitana de São Paulo, muestra que las interacciones y los vínculos establecidos entre jurisdicciones municipales y de gestión de las redes de infraestructura y servicios urbanos son más amplios que la esfera local, y exigen procedimientos más flexibles de articulación institucional que el de la rigidez de las regiones metropolitanas creadas por decreto. Para algunos fines, el contorno geográfico de la integración se define de una manera diferente que para otros y el sistema de gestión debe ser capaz de dar respuestas a cada una de ellas. Esta flexibilidad, entretanto, no puede ser confundida con una visión idealizada de la asociación voluntaria, como si fuera capaz de resolver, por consenso, los conflictos estructurales de fondo, en una sociedad cada vez más desigual.

Estudios contemporáneos sobre la regionalización urbana han enfatizado la superación de fórmulas tradicionales de organización de las jurisdicciones regionales y apuntan a prácticas emergentes de formación de redes de gobierno cooperativo (Surf 2003). En Brasil y en la propia región metropolitana de São Paulo se tienen experiencias interesantes en esa línea, como el consorcio de desarrollo de los municipios del Gran ABC (sudeste de la región metropolitana, donde se concentraba la mayoría de la industria metal-mecánica). Sin embargo, la complejidad de las interacciones entre vulnerabilidades sociales, ambientales y climáticas, inclusive en lo que respecta a la asimetría territorial entre segmentos causantes y víctimas de procesos de interacción natural y antropogénica, no nos autoriza a echar mano de instrumentos de imposición (*enforcement*), sobre los cuales, sólo el Estado figura como instancia legítima de ejecución. Por eso se impone trabajar un modelo híbrido de institucionalización estatal y asociativa, en el cual las funciones de *enforcement* sean ejercidas por la estructura estatal y las de consulta y búsqueda de consenso, absorbidas por todos los agentes estatales y no estatales que forman el complejo de gestión integrada de un estado o país.

En una nueva agenda de investigación sobre las perspectivas más amplias de la gestión integrada, más allá de nuevas y creativas formas de regionalización flexible, es importante trabajar con indicadores compuestos de vulnerabilidad, que den cuenta de los efectos asociados de la globalización económica y del cambio climático. La base conceptual para ese tipo de indicador fue bien definida por O'Brian y Leichenko (2000), al admitir la existencia de una doble exposición, y aún más, la existencia de perdedores y ganadores en todas las combinaciones de esas condiciones. En un mundo idealizado de gobierno cooperativo y de participación democrática, las personas se resistirían a admitir que procesos lesivos a segmentos notorios de la población involucran, como contrapartida, otros segmentos que les sacan provecho, en diferentes escalas de jurisdicción territorial, política y comercial. Moralmente, es difícil admitir que una inundación devastadora en un determinado segmento urbano / regional sea también un elemento de nuevas oportunidades para otros actores. Por eso la necesidad de investigación sistemática sobre los efectos combinados de la liberalización

económica, la expansión urbana, la degradación ambiental y el cambio climático, teniendo en cuenta la construcción de instrumentos técnicos y gerenciales adecuados a una realidad cambiante y compleja.

Referencias

- Abreu, A. R. A. y Sorj, B. (Eds.). 1993. *O Trabalho Invisível: Estudos Sobre Trabalhadores e Domicílio no Brasil*. Editora Rio Fundo, Rio de Janeiro, Brazil. 132 pp.
- Bishop, M. y Kay, J. 1988. *Does Privatization Work?* Center for Business Strategy Report series. London Business School, London, England. 93 pp.
- Castells, M. 1975. *La Question Urbaine*. Maspero, París, France. 527 pp.
- Dupuy, G. 1987. "Les réseaux techniques. Sont-ils des réseaux territoriaux?" *L'Espace Géographique* 3:175–84.
- Dupuy, G. 1993. "Networks. Research notes in brief." *Flux* 11:42–47.
- FUSP (Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo). 2002. *Plano da Bacia do Alto Tietê*. Relatório Final Versão 2.0. (Available at <http://www.comiteat.sp.gov.br>).
- Harvey, D. 1976. *Social Justice and the City*. Edward Arnold, London, England. 336 pp.
- Howe, C. W. 1971. *Benefit–Cost Analysis for Water Systems Planning*. Water Resources Monograph 2. American Geophysical Union, Washington, D. C. 144 pp.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1998. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 1997* (National Households Survey 1997). Brasília, Brazil.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2001. *Censo Demográfico 2000—Resultados do Universo São Paulo*. Brasília, Brazil.
- James, L. D. y Lee, R. R. 1971. *Economics of Water Resources Planning*. McGraw-Hill, New York, NY. 605 pp.
- Lavinas, L., Sorj, B., Linhares, L. y Jorge, A. 2001. *Home Work in Brazil: New Contractual Arrangements*. In: Focus Programme. Seed Working Paper No. 7. International Labour Office, Geneva, Switzerland. 47 pp.
- Majone, G. (Ed.). 1988. *Deregulation or Re-regulation? Regulatory Reform in Europe and the United States*. Pinter Publishers, London, England. 262 pp.
- Mason, S. M. 2001. "Simplifying complexity: A review of complexity theory." *Geoforum* 32:405–414.

Mumford, L. 1961. *The City in History. Its Origins, Its Transformations and Its Prospects*. Harcourt, New York, NY. 627 pp.

O'Brian, K. L. y Leichenko, R. M. 2000. "Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization." *Global Environmental Change* 10:221–232.

O'Connor, J. 1973. *The Fiscal Crisis of the State*. St. Martin Press, New York, NY. 296 pp.

Offner, J. M. 2000. "'Territorial deregulation': local authorities at risk from technical networks." *International Journal of Urban and Regional Research* 24(1):165–182.

SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo S/A). 1996. *Ecossistema São Paulo*. SABESP, São Paulo, Brazil. 48 pp.

Silva, R. T. 2000. "The connectivity of the infrastructure networks and the urban space of São Paulo in the 90s." *International Journal of Urban and Regional Research* 24(1):139–164.

Silva, R. T. 2003. *Acesso a Infra-Estrutura Urbana e Desigualdade Social*. Estudo de relações com o trabalho a domicílio. Research report 351683/1996-8. CNPq—Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasília, Brazil.

SURF (Center for Sustainable Urban and Regional Futures). 2003. *Evaluating Urban Futures: Enhancing Quality and Improving Effectiveness*. ODPM New Horizons Programme Final Report. Manchester, England. (Available at <http://www.communities.gov.uk>).

Vargas, M. C. 2005. *O Negócio da Água. Riscos e Oportunidades das Concessões de Saneamento à Iniciativa Privada: Estudos de Caso no Sudeste Brasileiro*. Annablume Editora, São Paulo, Brazil. 269 pp.

The background of the cover is a sepia-toned aerial photograph of a city. The top half shows a wide expanse of urban development with many small buildings and some taller structures in the distance. A large, solid orange horizontal banner spans the middle of the image. The bottom half shows a closer view of several large, modern-looking buildings with flat roofs and some architectural details like a cross-shaped window pattern on one building.

Modelización Computacional y Pronósticos de Cambios del Uso del Suelo en Áreas Urbanas

7

Autor:
Cláudia Almeida

Introducción

Panorama de la urbanización: Brasil en el contexto latino-americano y mundial

En los últimos dos siglos, en particular en las últimas décadas, la humanidad presenció el drástico cambio de población de áreas rurales a urbanas. De acuerdo con un informe del Banco Mundial, la proporción de la población mundial que vivía en áreas urbanas pasó del 33,6% en 1960 al 46,6% en 1999, y se espera que esta cifra alcance el 75,8% en los países recién industrializados ("*Newly Industrialized Countries*" - NICs) y desarrollados (Easterly y Sewadeh 2000). Está igualmente previsto que 55% de la población mundial sea constituida por moradores urbanos en 2015 aproximadamente (*United Nations* 1996).

Una de las primeras y más importantes fuerzas que impulsaron esos cambios en el ambiente urbano del mundo desarrollado, desde el siglo XIX e inicio del siglo XX, fue la Revolución Industrial. El excedente poblacional que se hacía sentir en esa época, fortalecido por continuas caídas en la tasa de mortalidad y con flujos inmigratorios de trabajadores rurales expatriados causó serios impactos en los centros urbanos en este período. Este aumento poblacional fue acompañado por un crecimiento de bienes y servicios en áreas urbanas, amparado por aumentos de productividad en la agricultura y en la industria, posibilitados por los rápidos avances tecnológicos y el consecuente desarrollo económico. Citando algunos ejemplos, la población de Manchester pasó de 12.000 habitantes en 1760 a más de 400.000 en la mitad del siglo XIX. Londres, que ya tenía un millón de habitantes a fines del siglo XVIII, pasó a abrigar dos millones y medio de personas cerca de 1851 (Benevolo 1983).

Procesos semejantes de rápida industrialización y urbanización creciente fueron vividos en los países en desarrollo durante el siglo XX en América Latina. Brasil y Argentina al entraron en la era de producción industrial de larga escala, a partir de los años 50, al tiempo que países como Corea del Sur, Indonesia y Malasia vivenciaron la transición de una economía básicamente rural por una eminentemente industrial al final de los años 70 y 80.

Entre 1950 y 1995, la población urbana en Asia, África, América Latina y Caribe creció más de cinco veces, pasando de 346 millones a 1,8 billones de personas. Aunque Asia y África todavía tengan más habitantes rurales que urbanos (tabla 1), ambas presentan grandes contingentes de habitantes urbanos en números absolutos. Proyecciones de las Naciones Unidas sugieren que las poblaciones urbanas están creciendo de forma tan rápida, que el 80% del crecimiento de la población mundial entre 1990 y 2010 ocurrirá en áreas urbanas, sobretodo en África, Asia y América Latina (*United Nations* 1998).

Dos aspectos relacionados con este rápido crecimiento de la población urbana fueron: el aumento del número de grandes ciudades y la dimensión sin precedentes históricos adquirida por tales ciudades de gran porte.

Tabla 1 – Tendencias y proyecciones de la población urbana por región, 1950 – 2010.

Porcentaje de Población Viviendo en Áreas Urbanas					
Región	1950	1965	1980	1995	2010*
África	14,6	20,7	27,3	34,9	43,6
Asia	17,4	22,4	26,7	34,7	43,6
América Latina y Caribe	41,4	53,4	64,9	73,4	78,6
Resto del Mundo	55,3	64,1	70,5	74,2	78,0

* Proyecciones de acuerdo con censos realizados alrededor de 1990. El resto del mundo incluye todos los países de Europa, América del Norte y Oceanía. (Fuente: *United Nations (1998, p. 25)*).

Hace apenas dos siglos, había dos ‘mega-ciudades’ en el mundo (con un millón de habitantes o más) – Londres y Pekín. En 1950, ascendían a 80, y en 1990, ya se sumaban 293 ‘mega-ciudades’. Una gran (y creciente) proporción de estas ‘mega-ciudades’ se encuentran en África, Asia y América Latina, y muchas poseen poblaciones que crecieron más de diez veces entre 1950 y 1990 (Hardoy et al. 2001).

En Brasil, el crecimiento y desarrollo urbano estuvieron, por un largo período, concentrados en las capitales de los estados a lo largo de la costa. Algunas de ellas pasaron a ser reconocidas como áreas metropolitanas en los años 70, a causa de su elevada densidad demográfica. Dada su localización estratégica y haber sido bien abastecidas en términos de infraestructura y equipamientos sociales, ellas pudieron asegurar fuertes lazos con las regiones circunvecinas, organizando de forma centralizada las relaciones económicas de sus áreas de influencia.

Las estrategias de desarrollo adoptadas por Brasil, así como en muchos países latino-americanos, fueron orientadas hacia mercados externos, objetivando eficiencia económica y creciente competitividad. Esto implicó la progresiva aparición de economías externas de aglomeración¹, llevando a un padrón espacial de desarrollo altamente concentrado, conforme a lo anteriormente mencionado (Fernandes et al. 1977).

Entretanto, la estructura de desarrollo multi-centralizada, basada en ‘economías de aglomeración’ presentaba serias limitaciones. Después de un período inicial de buen desempeño económico, las áreas metropolitanas comenzaron a comportarse como ‘deseconomías de aglomeración’, debido a problemas que incluían el creciente aumento del precio de la tierra; la posibilidad de colapso de los sistemas de transporte, telecomunicaciones y abastecimiento de agua; mayor tiempo y costos dispendidos para desplazamientos diarios;

¹ El concepto ‘economías de aglomeración’ es usado en economía urbana para describir los beneficios que las empresas obtienen cuando se localizan próximas entre sí. Esto está relacionado con la idea de economías de escala y efectos en cadena, según la cual, cuanto más las empresas se aproximen unas de otras, menor el costo de producción y mayor el mercado consumidor a ser alcanzado (Wikipedia 2003).

mayores salarios; problemas ambientales y criminalidad.

Políticas para superar estos desequilibrios regionales y los efectos adversos del desarrollo, espacialmente concentrado, fueron establecidas por el gobierno brasileiro desde finales de los años 50 e inicio de los años 60, las cuales culminaron con: la creación de la Zona Franca de Manaus (1957); la fundación de la nueva capital federal, Brasilia (1960); la creación de instituciones para el desarrollo regional, como la Superintendencia para el Desarrollo del Nordeste (SUDENE) en 1959, la Superintendencia para el Desarrollo de la Amazonia (SUDAM) en 1956, entre otras; y con acciones promotoras de la descentralización del desarrollo industrial existente en el área metropolitana de São Paulo, entre otras iniciativas.

De todas estas acciones, el II Plano Nacional de Desarrollo (II PND), lanzado en 1974, se constituyó en el plan más ambicioso para reubicar parte de las industrias situadas en el área metropolitana de São Paulo en otras regiones de Brasil. Este plano incluía la creación de fondos de desarrollo industrial y políticas para promover la exportación y la agroindustria, así como para descentralizar la producción de insumos industriales. Sus objetivos fueron parcialmente alcanzados, una vez que parte de la pretendida re-localización industrial efectiva ocurrió en el interior del Estado de São Paulo. Esta región presentaba buena infraestructura, una agricultura de suceso y una red urbana sin precedentes, consolidada desde la expansión del ciclo cafetero durante el siglo XIX (Fundação Seade 1992).

Una de las ciudades de medio porte localizada en el interior del Estado de São Paulo que heredó parte del desarrollo industrial metropolitano constituye el foco del presente capítulo: Bauru. El desafío para estudiarla reside en el hecho de que ella presenció *booms* de urbanización y presenta una gran diversidad de especialización económica en las últimas décadas.

La importancia de dirigir especial atención a las áreas urbanas del planeta y de conducir una investigación científica sobre las mismas puede ser explicada por el hecho de que estas áreas no sólo irán a abrigar la mayor parte de la población mundial, conforme a lo expuesto anteriormente, como también por el hecho de que ellas mantienen el control de la economía mundial en la presente era de globalización, administrando los flujos de capital financiero, recursos naturales y manufacturados, capital humano, información, conocimiento tecnológico y científico y poder de decisión. De una sabia y prudente administración de sus aparatos financieros e institucionales, como también de una hábil administración de su estructura física, dependerá el éxito o el malogro de la mayor parte de los emprendimientos humanos.

Urbanización y cambios globales: enfoques conceptuales

Las expresiones 'cambios globales' o 'cambios ambientales globales' como también 'cambios climáticos globales' han aparecido de forma recurrente en la literatura científica del último decenio.

Cambios globales representa un concepto que remite a una problemática de amplio contexto, en la cual profundas transformaciones en los modos de producción y consumo de la sociedad humana han conducido a drásticas alteraciones de la biosfera terrestre, que resultaron en un aumento considerable de la emisión de gases de efecto invernadero² (GEI), en alteraciones climáticas, en el agotamiento de recursos naturales y en la disminución de la biodiversidad, entre otras consecuencias.

Otro concepto relacionado al de GEI es el de 'forzamiento radiactivo' que puede ser definido como una perturbación del balanceo energético del sistema atmosférico terrestre (W/m^2) que, por ejemplo, sucede a un cambio en la concentración de dióxido de carbono (por acción antrópica) o a un cambio en la radiación solar (p.ej., explosiones solares).

El forzamiento radiactivo, también llamado de forzamiento climático, posee un valor medio anual y global, siendo positivo para los casos en los que tiende a calentar la superficie terrestre y negativo cuando tiende a enfriarla. El sistema climático responde al forzamiento radiactivo y trata de restablecer el balance energético. El efecto de invernadero puede ser entonces entendido como el forzamiento radiactivo asociado al aumento de la concentración de gases en la atmósfera (Watson et al. 2001).

En este escenario, la quema de combustibles fósiles, sea para fines de generación energética, producción industrial o transportes, representa el principal agente en la emisión de GEI en los países desarrollados. Ya en países en desarrollo, una parte considerable de la emisión de GEI proviene de la quema y tala de bosques, proceso en el cual ocurre liberación de carbono contenido en la biomasa. En el caso particular de Brasil, por poseer el mayor rebaño bovino comercial del mundo, gran parte de las emisiones de metano son atribuidas a las actividades de digestión de esos rumiantes. Y en algunos países asiáticos, la agricultura irrigada del arroz es responsable de la mayor cuota de las emisiones de metano.

En la acepción del concepto cambios globales se incluyen los procesos de cambios de uso y cobertura del suelo (*land use and land cover change* - LUCC). Según Skole y Loveland (1996), estos procesos "están directamente relacionados a muchos aspectos de la salud y bienestar humanos, incluyendo biodiversidad, producción de alimentos, o el surgimiento y diseminación de enfermedades". Para ellos, en el caso de pérdidas de bosques tropicales, por ejemplo: el desmonte con la consecuente emisión de gases radiactivamente activos (CO_2 , CH_4) y alteraciones en la escorrentía superficial y evapo-transpiración, conduce a modificaciones en el flujo de calor sensible y latente, además de contribuir en gran escala a la pérdida de especies debido a la fragmentación del bosque. Esto, sin hablar de la comprobada evidencia del aumento de la ocurrencia de enfermedades tropicales infecciosas en regiones perturbadas por la deforestación.

Conjuntamente con la deforestación, el propio fenómeno de urbanización adquiere importancia crucial en lo que se refiere a procesos de cambios en el uso y cobertura del

² Algunos de los principales gases de efecto invernadero (GEI) son CO_2 (dióxido de carbono), CH_4 (metano), N_2O (óxido nitroso), H_2O (vapor de agua), SO_2 (dióxido de azufre), NO_x (óxidos de nitrógeno), HC (hidrocarbonados), CO (monóxido de carbono), CFC (clorofluorocarbono).

suelo. La conversión de tierras cubiertas por vegetación (natural o secundaria), o aún las ocupadas por actividades agrícolas en zonas urbanas, contribuye igualmente a alterar las condiciones del régimen hidrológico y climatológico local. En otras palabras, la remoción de la cobertura vegetal para fines urbanos, así como la ocupación de planicies y la rectificación de los lechos de los ríos, conducen a una mayor impermeabilización de los suelos alterando el escurrimiento superficial del agua y las tasas de evaporación, que impactan en el microclima de las ciudades y reducen, progresivamente, la diversidad de la flora y fauna urbanas.

De acuerdo con Pereira Filho (2002), las alteraciones en el microclima son perceptibles en todas las grandes ciudades, donde el aumento de la temperatura y la disminución de la humedad originados por la ausencia o escasez de áreas verdes, por la creciente impermeabilización del suelo por concreto o asfalto, por el aumento de densidad de las construcciones que impiden una ventilación adecuada, por la intensificación de las actividades industriales y aumento de la polución vehicular, han conducido al fenómeno de 'islas de calor' (Santamouris 2002). Estas islas de calor no sólo provocan incomodidad como también son responsables del desencadenamiento de fenómenos climáticos de mayor volumen, con consecuentes daños humanos y materiales. Para citar un ejemplo, en la ciudad de São Paulo, sudeste de Brasil, la radiación emitida por el suelo en los días calientes de verano, al encontrarse con la brisa marítima que sopla del Atlántico Sur, produce violentas tempestades que con frecuencia causan muertes e inundaciones.

Parte significativa de los efectos indeseables provenientes de procesos desordenados o informales de ocupación urbana pueden ser evitados / mitigados a través de acciones de planificación. La manutención de bajos y áreas inundables libres de la ocupación humana, la previsión de parques y áreas verdes de forma equilibrada en el espacio urbano, la planificación y gestión integrada de los transportes colectivos aliados a la manutención de una eficiente red viaria jerarquizada, la protección de 'corredores de ventilación' urbanos, la localización de actividades contaminantes en sitios adecuados desde el punto de vista ambiental, son ejemplos de algunas de las medidas posibles de ser adoptadas por el poder público local para aumentar la calidad de vida en las ciudades.

Es en este contexto en el cual se insertan las recientes tecnologías de geoinformación. Modelos computacionales destinados a la simulación y pronóstico de cambios de uso del suelo urbano pueden dar indicios a los gestores locales sobre las tendencias de expansión urbana, apuntando posibles vectores de crecimiento con sus respectivos patrones de ordenamiento espacial y usos del suelo prevalecientes. Con estas informaciones, el poder público puede evaluar si las tendencias de expansión están de acuerdo con la capacidad de soporte ambiental del sitio físico, proponiendo medidas de redireccionamiento del crecimiento urbano. Así, estos modelos computacionales son empleados para evitar patrones de ocupación urbana reconocidamente conflictivos con el medio físico.

El siguiente apartado presenta una breve historia de estos modelos, al paso que la sección 2 de este capítulo presenta un estudio de caso de modelización de dinámicas de uso del suelo urbano para la ciudad de Bauru, localizada en el centro-oeste del Estado de São Paulo, Brasil.

Modelos computacionales para simulación y pronóstico de cambios del uso del suelo en áreas urbanas

Modelos teóricos y matemáticos han sido creados hace tiempo para fines de estudios urbanos, procurando esclarecer procesos de cambios urbanos y regionales. En este sentido, una de las más antiguas contribuciones es la teoría de anillos concéntricos de Von Thünen, de 1826. De acuerdo con su modelo de localizaciones, el uso más intenso de la tierra será próximo al centro y el precio del alquiler y de la tierra decrece en la periferia (Perraton y Baxter 1974).

Otros enfoques semejantes en teoría económica incluyen el triángulo clásico de localización industrial desarrollado por Weber en 1909, el modelo de lugares centrales de Christaller, de 1933, y la teoría de regiones económicas de Lösch, concebida en 1940 (Merlin 1973; Perraton y Baxter 1974).

Siguiendo esas contribuciones en modelos urbanos basados en teorías económicas, una nueva generación de modelos computacionales entró en escena a fines de los años 50 y comienzo de los años 60 (Alonso 1960; Lowry 1964), inmediatamente después de los notables avances en las facilidades computacionales y el advenimiento de la Revolución Cuantitativa. Importantes limitaciones de estos modelos pioneros se refieren a su ambición en términos de dimensionamiento y alcance, a su carácter arbitrario y mecanicista, bien sea por el hecho de que ellos pudieran apenas describir la estructura urbana en un instante en el tiempo, o en el mejor de los casos, comparar esas estructuras estáticas, incorporando un equilibrio artificial de largo plazo, lo que los tornó meras simulaciones de estructuras urbanas estáticas observables (Batty 1976).

En un esfuerzo de superación de las limitaciones de la primera generación de modelos urbanos, un nuevo grupo de modelos se propone, entre otras cosas, operar sobre una base dinámica (Crecine 1964; Hill 1965; Paelinck 1970). Esto es, presentar una dimensión temporal explícita con entradas y salidas que varían con el tiempo (Wegener et al. 1986). A pesar de que fueran introducidos refinamientos considerables en la primera generación de modelos dinámicos, con el fin de dotarlos de habilidad para lidiar con las complejas, y a veces recurrentes, interacciones espaciales entre las diferentes actividades en una ciudad, y de que fue incorporada la dimensión temporal (multinivel) en el análisis cuantitativo sobre la base del empleo de sofisticados recursos teóricos y matemáticos – por ejemplo, ecuaciones diferenciales (Allen et al. 1981), esos modelos no tenían un carácter espacial, sobre todo en el sentido de porque no permitían una visualización espacial de sus datos de salida.

En suma, los modelos urbanos desarrollados desde fines de los años 50 hasta la mitad de los años 80, de una manera general, no operaban sobre una dimensión espacial. Cuando esto acontecía, el espacio urbano era desagregado en unidades (usualmente zonas de origen-destino o definidas de acuerdo con distritos *censales* u otros criterios afines). Sin embargo, el resultado de estos modelos no podía ser visualizado espacialmente. De hecho, efectivos avances en la representación espacial de modelos urbanos ocurrieron apenas a fines de los

años 80, cuando modelos de autómatas celulares (*cellular automata* - CA) comenzaron a ser utilizados en larga escala, impulsados también por el concomitante avance en áreas como computación gráfica, fractales, caos y complejidad (Batty et al. 1997).

Stephen Wolfram, uno de los más renombrados teóricos sobre autómatas celulares, los define como: "... idealizaciones matemáticas de sistemas físicos, en los cuales el espacio y el tiempo son discretos. Un autómata celular consiste de una matriz regular uniforme (o 'campo matricial'), comúnmente infinito en su extensión, con una variable discreta en cada localidad ('célula'). Las variables en cada célula son actualizadas simultáneamente (sincrónicamente), basándose en los valores de las variables de su vecindad en el paso del tiempo precedente, y de acuerdo con un conjunto pre-definido de 'reglas locales' (Wolfram 1983, p. 603)".

Modelos de autómatas celulares (CA) poseen aplicaciones en las más diversas áreas, desde la física teórica y empírica hasta los cambios del uso y cobertura del suelo, ingeniería y control de tráfico, diseminación de epidemias, biología del comportamiento, entre otras. Los modelos urbanos de CA tuvieron sucesivas mejoras durante los años 90, los cuales pasaron a incorporar dimensiones ambientales, socio-económicas y políticas (Phipps y Langlois 1997). Finalmente, esos modelos tuvieron éxito en la articulación analítica de factores de micro y macro escala espaciales (White et al. 1998). Los progresos teóricos innovadores en el vasto campo de la inteligencia artificial (*artificial intelligence* - AI), tales como sistemas especialistas, redes neurales artificiales y computación evolucionista, fueron recientemente incluidos en el campo de las simulaciones en CA. Conforme a lo expuesto por Almeida et al. 2003, los métodos recién incorporados en modelos de CA como herramientas de ajuste de patrones por redes neurales (Wu 1998; Yeh y Li 2001) y aprendizaje evolucionista (Papini et al. 1998), se han revelado como los más prometedores para la próxima generación de modelos urbanos de CA.

Estudio de Caso: Simulación y Pronósticos de Crecimiento y Cambios del Uso del Suelo Urbano en la Ciudad de Bauru, SP, Brasil, a través de Modelos de CA

Área de estudio

Bauru es uno de los más importantes puntos de interacción intermodal de América Latina, que reúne ferrovías, hidrovía y carreteras. La ciudad en sí nació como un punto de cruce ferroviario durante la marcha de expansión de la cultura cafetera, en el siglo XIX. Aún hoy, ella está delineada por su sistema de transporte. Su estructura urbana se organiza en torno de cuatro autopistas y de la vía férrea que atraviesa el corazón de la ciudad.

Bauru está considerada actualmente como un polo de desarrollo regional del centro-oeste del Estado de São Paulo, con un notable desempeño de actividades terciarias (comercio y servicios). Dadas sus condiciones estratégicas de desarrollo histórico, la ciudad sufrió procesos urbanísticos notoriamente rápidos. Esos *booms* fueron acompañados de procesos especulativos que llevaron a la formación de unos tejidos urbanos discontinuos, marcados por la proliferación de vacíos urbanos, bajas densidades de ocupación en áreas periféricas y por la existencia de lotes residenciales aislados orbitando en torno del área central.



Fig. 1. Vista aérea de Bauru con edificios residenciales.
(Fuente: ITE-FCEB 1998).

Modelo de simulación de cambios del uso del suelo urbano: 1967-2000

Para conducir experimentos de modelización destinados a generar pronósticos de cambios del uso del suelo urbano, primero es necesario informarse respecto de las variables que intervienen en los cambios de uso del suelo, a lo largo de una serie multitemporal suficientemente larga. Esas variables se refieren a aspectos de infraestructura y socio-económicos de la ciudad en análisis. En el caso particular de este experimento, el intervalo total de simulación se extendió desde 1967 hasta 2000, comprendiendo 33 años. La población urbana aumentó cerca del 500%, pasando de 61.592 a 310.442 habitantes durante ese periodo. El conocimiento adquirido de las variables que determinan los patrones espaciales de cambio de uso del suelo, debe aprovecharse para establecer los parámetros adecuados para los modelos de pronóstico, objetivo fundamental de la fase de modelización.

Análisis exploratorio y selección de variables

El análisis exploratorio consiste en la etapa inicial del modelización, en la cual una serie de procedimientos son realizados pensando en evaluar las características de las variables que dirigen los cambios en el uso del suelo. Esto permite la elección del menor, y al mismo tiempo, mejor conjunto de variables para explicar un cierto tipo de transición de uso (por.ej: de uso no-urbano para uso residencial). El análisis exploratorio, así como las demás etapas del proceso de modelización, son ejecutados para cada período consecutivo de simulación.

En el caso de Bauru, esos períodos fueron delimitados de acuerdo con la disponibilidad de mapas oficiales de uso del suelo. Dado que estos mapas solo fueron elaborados en los años 1967, 1979, 1988 y 2000, la serie multitemporal de la simulación contiene tres períodos: 1967-1979, 1979-1988 y 1988-2000.

Inicialmente, el proceso de selección de variables se basó en un procedimiento heurístico, en el cual los mapas de variables fueron sobrepuestos al mapa de uso del suelo final en formato vectorial (figura 2). Este procedimiento permitió identificar las variables más significativas para explicar los diferentes tipos de cambios de uso del suelo.

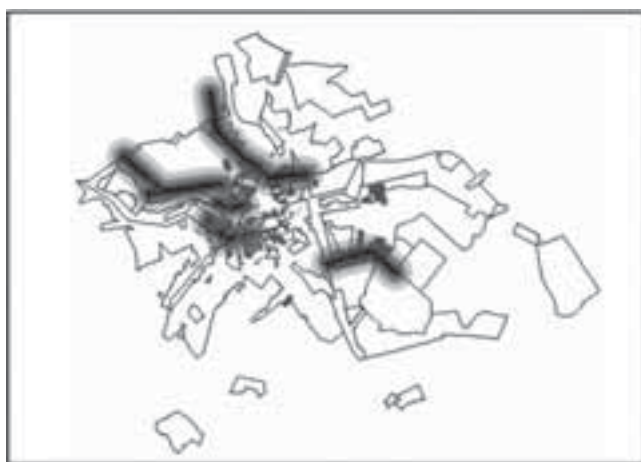


Fig. 2. Imagen ilustrativa que muestra la identificación de variables intervinientes en la transición de uso residencial para uso mixto, en el período de 1979 a 1988. Las fajas de distancia fueron tomadas con relación a vías planificadas; las manchas difusas corresponden a las áreas de densidad media-alta; los polígonos más externos y grandes corresponden a viviendas populares.

Para evitar redundancia en los datos de entrada, i.e. seleccionar variables con un alto grado de dependencia o asociación espacial, las variables fueron sometidas a exámenes estadísticos de comparación par a par, como el Índice de Cramer (V) y la Incertidumbre de Información Conjunta (U), con un umbral de aceptación definido en 0,5 (Bonham-Carter 1994). Cuando este valor es excedido, las variables deben ser combinadas en una única capa de información (*layer*) o una de las dos variables tiene que ser descartada. De modo general, la variable que presenta la menor asociación especial con la transición de uso del suelo en cuestión, por ejemplo, aquella que contribuye menos a explicar la transición considerada, es eliminada del modelo.

Definición de los parámetros del modelo

Modelos para la simulación de cambios del uso del suelo urbano son generalmente construidos utilizando métodos empíricos. En el estudio de caso aquí presentado, fue adoptado el método 'pesos de evidencia' el cual se basa en el teorema de Bayes o teorema de la probabilidad condicional. Este teorema consiste en razones relacionando las áreas de ocurrencia de ciertas variables con aquellas áreas donde el fenómeno en estudio (transiciones de uso del suelo) también ha ocurrido. Siendo así, para cada célula del área de estudio, la probabilidad de que un cierto tipo de cambio del uso del suelo ocurra, en vista de la ocurrencia previa de ciertas variables, es:

$$P_{x,y} \{R/S_1 \cap S_2 \cap \dots S_n\} = \frac{O\{R\} \cdot e^{\sum_{i=1}^n W_{x,y}^+}}{1 + O\{R\} \cdot e^{\sum_{i=1}^n W_{x,y}^+}}, (1)$$

donde $P_{x,y}$ corresponde a la probabilidad de una célula con coordenadas x,y para sufrir la transición de uso del suelo R (p.ej. de uso no-urbano para uso residencial); S_{1-n} se refiere a las n variables (o evidencias) que direccionan cambios de uso del suelo; $O\{R\}$ corresponde al *odds* de R , el cual es la razón entre la probabilidad de ocurrencia de R ($P\{R\}$) y su probabilidad complementaria ($P\{R^c\}$); W^+ representa el peso positivo de evidencia, el que es calculado a través del método estadístico de ‘pesos de evidencia’ (Bonham-Carter 1994), e indica la atracción o correlación positiva entre una cierta evidencia y una dada transición de uso del suelo.

Ajuste del modelo

De la misma manera que en el análisis exploratorio, procedimientos heurísticos fueron empleados para el ajuste del modelo o calibración. Se condujeron análisis visuales comparativos para cada tipo de cambio de uso del suelo, considerando los resultados preliminares de la simulación, mapas de transición de uso del suelo, como la superposición de mapas de variables sobre el mapa final de uso del suelo en formato vectorial. Esta comparación busca identificar las variables o evidencias que efectivamente contribuyen para explicar las respectivas transiciones en medio de aquellas que se constituyen apenas en ruido para el modelo. Tal procedimiento comparativo también fue empleado para la selección inicial de variables y para la definición de los parámetros internos del programa de simulación - DINAMICA³.

Simulación y resultados

Varias simulaciones fueron conducidas en el programa DINAMICA, y los mejores resultados para cada período de simulación son presentados en la figura 3. Sobre la base del proceso de ajuste, se torna evidente que la probabilidad de que ciertas áreas no-urbanas en la ciudad de Bauru cobijen loteos residenciales depende de la existencia previa de este tipo de loteos en los alrededores, ya que esto implica la posibilidad de extender la red de infraestructura eventualmente existente en las inmediaciones. Esta probabilidad también depende de la mayor proximidad de estas áreas a los centros de actividades comerciales, así como de la disponibilidad de acceso a estas áreas.

³ DINAMICA es un programa de autómatas celulares destinado a simular dinámicas de paisaje (cambios de uso y cobertura del suelo), desarrollado por el Centro de Sensoriamento Remoto de la Universidade Federal de Minas Gerais (<http://www.csr.ufmg.br>). El programa fue escrito en lenguaje orientada a objetos C++, y su versión actual opera en el sistema Windows © 32 bits (Soares-Filho et al. 2002).

En cuanto a la transición de áreas no-urbanas para uso industrial, hay tres grandes factores impulsores: la proximidad de ellas al uso industrial previamente existente y la disponibilidad de accesos tanto carretero como ferroviario. Esto puede ser explicado por el hecho de que en el proceso productivo industrial, la salida de algunas industrias representa la materia prima de otras, lo que acentúa la necesidad de racionalización y optimización de los costos por la concentración de industrias interrelacionadas en la misma cadena productiva. Además, lotes en la vecindad de industrias comúnmente son desvalorizados para otros usos, tornándose competitivos para el uso industrial.

Con relación a la transición de áreas no-urbanas para uso de servicios, tres factores son cruciales: la proximidad de estas áreas a los agrupamientos de actividades comerciales, su cercanía al uso residencial, y por fin, su localización estratégica en relación con las principales vías de Bauru. El primer factor responde por el mercado de proveedores (y en algunos casos, también consumidores) de servicios; el segundo factor representa el mercado de consumidores por excelencia; y el tercero y último factor corresponde a la accesibilidad para ambos mercados afectados al uso de servicios.

La creación de zonas de ocio y recreación ocurre en áreas más periféricas con buenas condiciones de accesibilidad, a veces a lo largo de márgenes bajas de los ríos, ya que estas áreas son inundables, y por lo tanto impropias para abrigar otros usos urbanos.

Finalmente, la transición de uso residencial para uso mixto⁴ supone la disponibilidad de red de agua y la existencia de buenas condiciones de accesibilidad. Estas áreas también procuran localizarse no muy distantes de las áreas comerciales centrales, ya que ellas dependen del abastecimiento especializado por parte de estas áreas, más no muy próximas a las mismas por razones de competitividad.

Es importante realzar que las características naturales del ambiente físico no fueron consideradas como impedimentos al crecimiento urbano en un nivel más generalizado, una vez que el sitio físico de la ciudad es relativamente plano, con elevaciones suaves, y no presenta ninguna condición excepcional en cuanto a restricciones de suelo, vegetación y áreas de conservación.

Validación del modelo

Para evaluar el desempeño del modelo, se empleó un método basado en resoluciones múltiples (Constanza 1989), por el cual la 'calidad del ajuste' entre la imagen real y la simulada fue determinada no a partir de un enfoque pixel-a-pixel, sino a través de ventanas de muestreo de diferentes tamaños, flexibilizando así, la rigidez del ajuste entre la realidad y las simulaciones. Para el primer período de simulación (1967-1979), el índice de calidad del ajuste varió de 0,941 a 0,944; para el segundo período (1979-1988), de 0,896 a 0,903 y, finalmente, para el tercer período (1988-2000), el índice osciló de 0,954 a 0,957.

⁴ Las zonas de uso mixto comprenden básicamente los usos residencial, comercial y servicios. Estas zonas actúan como sub-centros urbanos y constituyen una especie de consolidación de centros comerciales secundarios, que pasan a atraer equipamientos sociales y de servicios además de actividades comerciales.

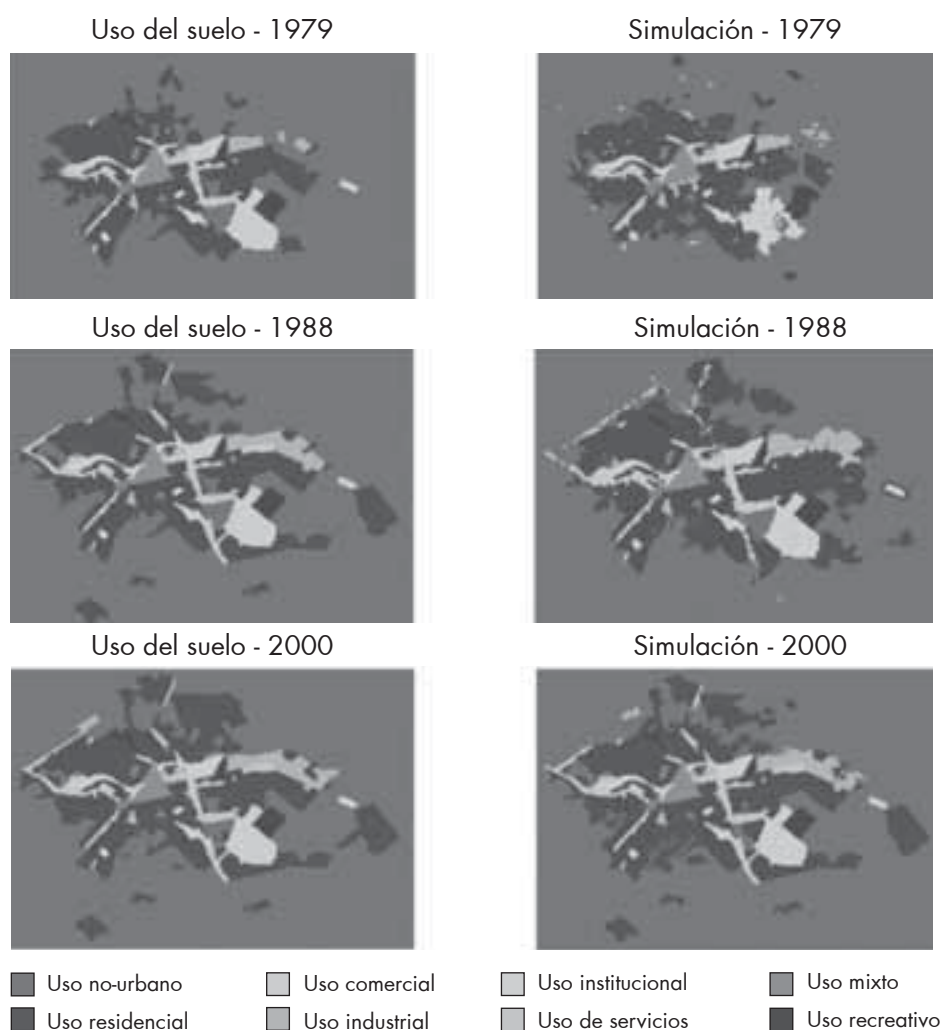


Fig. 3. Uso del suelo real y respectivas simulaciones para Bauru en los años 1979, 1988 y 2000.

Modelo de pronóstico de cambios del uso del suelo urbano: 2000 - 2007

Con el conocimiento adquirido sobre tendencias y patrones de transición por medio de los experimentos de simulación ejecutados a lo largo de una serie multitemporal suficientemente larga, se torna posible generar escenarios de pronósticos de cambios de uso del suelo urbano. A los fines de simplificación, este estudio considera apenas tres tipos de escenarios: un estacionario, que preserva las tendencias de transición observadas en el período de simulación más reciente; un optimista, el cual superestima ligeramente estas tendencias; y un pesimista que, sutilmente, subestima estas mismas tendencias.

En los modelos destinados a simular cambios del uso del suelo hay dos tipos de probabilidades de transición: una global que estima la cantidad total de cambios para el área de estudio, independientemente de la influencia impuesta por las respectivas variables que intervienen; y una local, calculada para cada célula que tiene en cuenta tales variables. En la generación de los escenarios de pronósticos, las probabilidades globales son recalculadas mientras que

los valores de las probabilidades locales permanecen inalterados.

En el caso de escenarios estacionarios, la cadena de Markov es empleada para computar las probabilidades de transición global, la cual consiste en un modelo matemático destinado a describir un cierto tipo de proceso que se mueve en una secuencia de pasos y a través de un conjunto de estados.

Para los escenarios no-estacionarios, fueron adoptados modelos univariados de regresión lineal, en los cuales el área de un cierto tipo de uso del suelo, en 2007 (variable dependiente) es explicada por medio de un indicador económico o demográfico (variable independiente), tal como población urbana o PIB industrial municipal. Conforme a lo anteriormente mencionado, y sobre la base de sutiles súper y subestimaciones de estos indicadores, se calculan respectivamente las probabilidades de transición globales optimistas y pesimistas. Diferentes resultados de escenarios de pronósticos para el año 2007 son presentados en la figura 4.

Es válido mencionar que los escenarios apuntan a una manutención de la presente tendencia de loteos residenciales periféricos, los cuales subutilizan la red de infraestructura y, por eso, elevan los costos de inversiones en un esquema de padrón de ocupación dispersa (SEPLAN 1997). Otra tendencia observada en los pronósticos es la consolidación del vector de crecimiento en dirección al sudoeste, exactamente donde se localiza el manantial de abastecimiento de la ciudad. Considerando este hecho, las actuales iniciativas y políticas urbanas deben inmediatamente prever dispositivos eficientes para inhibir ese patrón de expansión urbana.

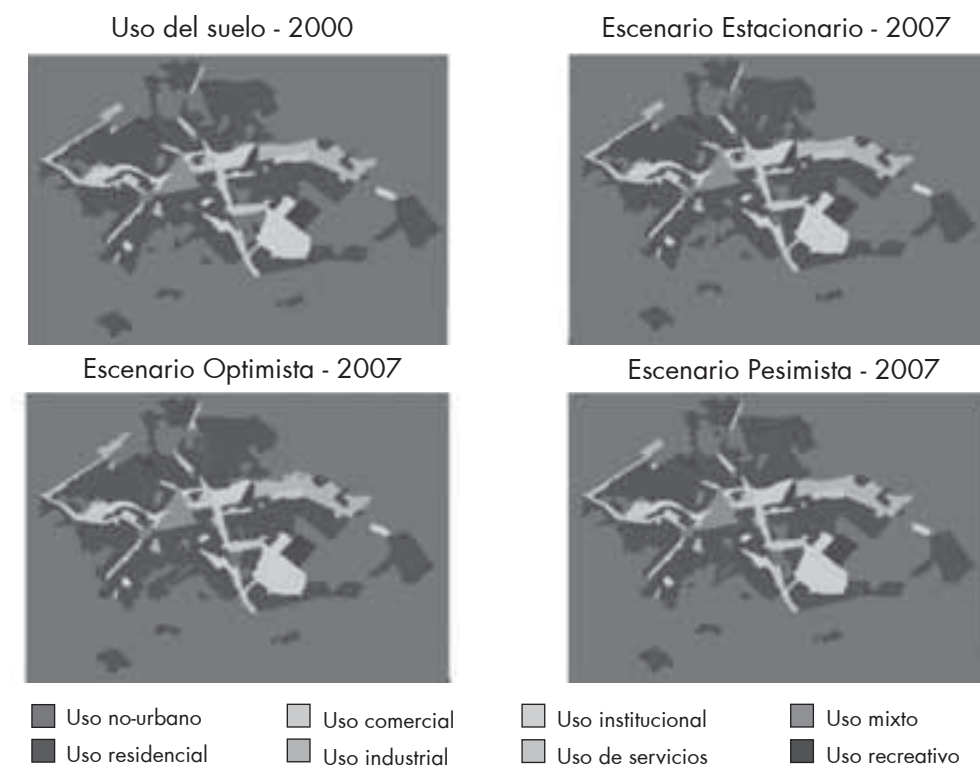


Fig. 4. Escenarios estacionario, optimista y pesimista para 2007 y uso del suelo real en 2000 - Bauru.

Dimensiones Socio-Ambientales de los Procesos de Crecimiento y Cambios del Uso del Suelo Urbano en el Área Urbana de Bauru, SP, Brasil

Agentes productores de cambios en el uso del suelo urbano: perfil y tendencias

Los cambios causados en el escenario urbano son impulsados por diversos agentes o actores sociales. Empresarios dedicados a actividades de comercio y servicios se esfuerzan por optimizar ventajas de localización en el área urbana de Bauru. Ellos presentan la tendencia a situarse próximos a vías principales, no solamente en vista de la necesidad de asegurar una accesibilidad eficiente a bienes y clientes, sino también debido al hecho de que esas vías confieren visibilidad estratégica a sus empresas, atrayendo a nuevos clientes potenciales.

De manera semejante, las instalaciones industriales también disputan por sitios competitivos, teniendo en consideración el precio de la tierra, las buenas condiciones de accesibilidad para la provisión de materia-prima y el escurrimiento de la producción, así como la garantía de racionalización del proceso productivo, en vista de la proximidad a otras industrias interrelacionadas en la misma cadena productiva.

Zonas de recreación, construidas y administradas por las autoridades locales, basan su selección de localización en términos de amenidades, como potenciales paisajísticos y buenas condiciones de accesibilidad, características esenciales para la supervivencia de esas áreas.

Los asentamientos residenciales periféricos son destinados tanto para moradores de bajo ingreso como de alto poder adquisitivo. Los asentamientos de alta urbanización tienden a aislarse de la aglomeración urbana principal, buscando disponer de paisajes atractivos y tener acceso a lotes de mayores dimensiones, frecuentemente no disponibles en la malla urbana. En el caso específico de Bauru, hay sólo un asentamiento de elevada urbanización aislado de la aglomeración urbana principal, ubicado al este de la ciudad. Esa clase de asentamiento, usualmente, observa las restricciones ambientales legales de la ciudad.

Los asentamientos periféricos de baja urbanización corresponden, normalmente, a iniciativas espontáneas de moradores de bajo ingreso y a iniciativas inmobiliarias informales realizadas por falsos propietarios. Esos asentamientos se sitúan, por regla general, distantes de la aglomeración urbana principal debido al reducido precio de los terrenos. Nuevos asentamientos periféricos tienden a localizarse próximos a aquellos preexistentes, porque esto implica la posibilidad de extender la red de infraestructura disponible en las proximidades. Por ejemplo, agua potable, líneas de ómnibus, iluminación pública, energía eléctrica, etc.

Ellos igualmente buscan situarse próximos a vías de acceso principales, dada la necesidad de sus moradores de desplazarse a sus locales de trabajo y a establecimientos comerciales en las áreas más centrales de la ciudad. A diferencia de los asentamientos de alta urbanización, los residenciales de bajo ingreso normalmente no cumplen con las restricciones ambientales, y con frecuencia se establecen en áreas protegidas por la legislación ambiental (parques naturales, reservas forestales o áreas de protección a manantiales).

Se torna evidente que los agentes de cambios del uso del suelo urbano en Bauru concuerdan con las teorías económicas de crecimiento urbano, fundamentadas en el concepto de maximización de utilidad (Papageorgiou y Pines 2001; Zhou y Vertinsky 2001), en que hay una búsqueda continua por localizaciones óptimas, capaces de asegurar:

- precios inmobiliarios competitivos;
- buenas condiciones de acceso;
- racionalización de los costos de transporte, y
- una localización estratégica en relación a los mercados de proveedores y consumidores.

Impactos de la expansión urbana desordenada en las márgenes de manantiales en la calidad de vida y en la salud humana

La ocupación urbana informal en áreas de protección a los manantiales impacta no sólo el balance ecológico del ambiente natural, sino también causa daños a la calidad de vida de los habitantes que dependen directamente de esas fuentes de abastecimiento. Los principales efectos de los asentamientos informales localizados en las inmediaciones de manantiales son:

- descarga de aguas negras al aire libre en las reservas de agua;
- destrucción de la vegetación en las márgenes de los cursos de agua;
- obstrucción de presas de contención;
- inundaciones;
- disturbios en el balance hidrológico de la región;
- contaminación de los recursos hídricos; y,
- consecuentemente, escasez en el suministro de agua.

Considerando que un acceso confiable al agua potable es un componente clave de la 'calidad de vida', es sensato afirmar que la expansión urbana desordenada cerca de manantiales representa una seria amenaza para la 'habitabilidad' y la salud de los moradores de asentamientos informales y el resto de los habitantes de la ciudad como un todo.

El término 'calidad de vida' está interrelacionado con el concepto de 'habitabilidad'. Ese concepto puede ser brevemente descrito como combinación de amenidades (espacios libres, vegetación urbana, servicios ecológicos); patrimonio histórico y cultural; localización; además de valores intangibles como vistas de paisajes y 'senso de lugar' (Bell 2000).

Habitabilidad se refiere a una perspectiva más inmediata del 'aquí y ahora' y se relaciona básicamente con las "...cosas que las personas ven cuando salen por las puertas delanteras de sus viviendas. Aunque el concepto es sobre el ambiente, él no es explícitamente *para* el ambiente" (Brook Lyndhurst Ltd. 2004).

La gran mayoría de las consecuencias arriba mencionadas impactan directamente sobre la habitabilidad, como la ocurrencia de inundaciones, el olor desagradable que sopla de los manantiales, el efecto visual indeseable de la vegetación destruida y de las aguas contaminadas, así como las interrupciones e inconstancias en el suministro de agua. La propagación de la ocupación urbana informal en los alrededores de las presas y el consecuente lanzamiento de aguas residuales directamente en esos manantiales, producen un impacto grave en la salud humana, y afectan tanto a las comunidades que se asientan en las márgenes de las reservas (las cuales colectan el agua no tratada de las mismas) como a los habitantes dependientes del suministro de esos manantiales. La población se vuelve vulnerable a enfermedades infecto-contagiosas como cólera, diarrea, hepatitis en sus diversas formas, leptospirosis y esquistosomiasis, entre otras.

Algunas consideraciones sobre las dimensiones humanas de la vulnerabilidad a cambios ambientales globales

Conforme afirman Hamza y Zetter (1998), "la concentración de personas y actividades en sitios seguros no es una fuente de vulnerabilidad. Mas la distribución desigual de recursos, la marginalización de segmentos de la población y actividades informales, bien como su exclusión de áreas planificadas y provistas de servicios es lo que empuja a las personas a sitios impropios. La vulnerabilidad es una consecuencia". Esa opinión encuentra respaldo en el argumento de Watts y Bohle, que consideran la vulnerabilidad como "el producto resultante entre fuerzas ambientales y socio-económicas" (Watts y Bohle 1993).

Vulnerabilidad es también definida como "inseguridad y sensibilidad en el bienestar de los individuos, hogares y comunidades en vista de un ambiente en transformación, e implícito en esto, su respuesta y resistencia a los riesgos que enfrentan durante esos cambios negativos. Cambios ambientales que amenazan el bienestar pueden ser ecológicos, económicos, sociales y políticos, y pueden asumir la forma de choques repentinos, tendencias de largo plazo o ciclos estacionales" (Moser 1998).

Conforme a lo expuesto por Blaikie y Brookfield (1987) y por Baylis-Smith (1991), cualquier definición requiere la identificación de dos dimensiones de la vulnerabilidad: su *sensibilidad* (magnitud de la respuesta de un sistema a un evento externo) y su *resiliencia* (la facilidad y rapidez con que el sistema se recupera del estrés). Desde el punto de vista de las dimensiones humanas de la vulnerabilidad, esas dos dimensiones están íntimamente interrelacionadas con la capacidad económica, social, institucional, educacional y psicológica de los individuos, hogares y comunidades para responder y recuperarse en casos de estrés y situaciones de emergencia.

En el caso particular de la vulnerabilidad resultante de amenazas a los recursos hídricos de Bauru, la sensibilidad y resiliencia deben ser consideradas conjuntamente por los moradores y autoridades locales. Como medidas de adaptación / mitigación para enfrentar la ocurrencia de interrupciones / fluctuaciones en el abastecimiento de agua y el riesgo de enfermedades infectocontagiosas, se pueden citar las siguientes:

- a reubicación espontánea o inducida de caseríos pobres y loteos clandestinos, con asistencia pública en ambos casos;
- implementación de sistemas de recolección y tratamiento de aguas negras en todos los asentamientos legalizados de bajos ingresos que se ubican en zonas de protección a los manantiales;
- creación de una estructura institucional permanente con fines de control de calidad del agua y administración de situaciones de emergencia, amparada por los comités de defensa civil locales, procurando disponer de acceso inmediato a fuentes alternativas de abastecimiento, tales como acuíferos y, eventualmente, red de abastecimiento de agua de otras reservas; y
- lanzamiento de campañas de concienciación ambiental sobre la importancia de la conservación de los recursos hídricos en la prensa y en la red de enseñanza pública y privada.

Además, pueden considerarse las iniciativas y acciones públicas destinadas a contener la indeseada expansión urbana en las vecindades de manantiales. Para ello, deben incluirse restricciones legales para la aprobación de nuevos asentamientos; la inspección permanente en las áreas de protección a los manantiales; la creación de canales anónimos de denuncia para alertar a las autoridades públicas respecto del eventual surgimiento de nuevos núcleos de asentamientos informales; incentivos fiscales e institucionales para la implementación de asentamientos de baja renta en los sectores este y norte de la ciudad, una vez que el manantial de abastecimiento está localizado en la porción sudoeste; y finalmente, la construcción de desarrollos polarizadores (atractivos para la ocupación urbana) en los sectores este y norte de Bauru. Por ejemplo, centros comerciales, centros empresariales, parques temáticos, procurando redireccionar la expansión urbana en dirección hacia áreas más propicias desde el punto de vista ambiental.

De hecho, modelos de pronósticos de crecimiento y cambios del uso del suelo urbano pertenecen al dominio de herramientas auxiliares para orientar y subsidiar medidas preventivas destinadas a garantizar condiciones seguras, confortables y ambientalmente saludables en el ámbito de la vida urbana. Esos modelos se prestan, por lo tanto, a anticipar riesgos y circunstancias de vulnerabilidad, y así, evitar o reducir su extensión y gravedad.

Consideraciones Finales y Direcciones para Trabajos Futuros

De acuerdo con Almeida et al. (2003), “modelos computacionales destinados a la simulación y pronóstico de cambios de uso del suelo urbano se han tornado populares en gran parte debido al hecho de ser tratables, presentar una increíble simplicidad operacional, generar una dinámica que puede reproducir procesos tradicionales de cambios por difusión, y contener complejidad suficiente para simular cambios inesperados y sorprendentes como los observados en fenómenos emergentes. Esos modelos son flexibles, en el sentido de que proveen una estructura no sobrecargada con suposiciones teóricas, y que es aplicable a un espacio representado como un valor numérico. Estos modelos pueden, por lo tanto, articularse con datos matriciales, comúnmente usados en sistemas de informaciones geográficas (*“geographical information systems” - GIS*)”.

Aunque los modelos hayan sido objeto de severas críticas, principalmente en vista de su reduccionismo y limitaciones para capturar integralmente la complejidad inherente de la realidad (Briassoulis 2000), se puede argumentar en pro de su existencia y continuidad, ya que ellos ofrecen una manera incomparable de abstraerse de patrones, orden y tendencias dinámicas directrices de procesos del mundo real.

Los modelos urbanos deben ser concebidos, manipulados, aplicados e interpretados de una forma sabia y crítica, de modo que los modeladores, planificadores, tomadores de decisión de la esfera pública y privada, así como ciudadanos de manera general, puedan extraer lo mejor de sus resultados y sensatamente reconocer sus límites.

Los modelos de dinámicas de uso del suelo urbano demuestran ser útiles para la identificación de los principales vectores de crecimiento urbano y de sus tendencias generales de uso del suelo. Esto permite al poder público local ordenar y redireccionar el crecimiento urbano conforme a la capacidad de soporte ambiental y a la disponibilidad presente y futura de infra y superestructura. Vale la pena recordar que los pronósticos de los modelos presentados en este capítulo enfocaron el problema de la protección de manantiales. Pero esos pronósticos de crecimiento y cambios de uso del suelo urbano pueden tratar con cualquier forma de amenaza a los recursos naturales producida por procesos de expansión urbana.

Y como palabras finales, Batty expone de forma concisa las ideas claves subyacentes a las aplicaciones y propuestas de modelización urbana al afirmar que: “...Hay muchas razones para el desarrollo de tales modelos: su papel en ayudar a los científicos a entender los fenómenos urbanos a través del análisis y la experimentación, métodos tradicionales del quehacer científico. Con todo, la modelización urbana es igualmente importante en ayudar a planificadores, políticos y a la comunidad en general a prever, prescribir e inventar el futuro urbano (Batty 1976, p. xx).”

Referencias

Almeida, C. M., Batty, M., Monteiro, A. M. V., Câmara, G., Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C. y Pennachin, C. L. 2003. "Stochastic cellular automata modelling of urban land use dynamics: empirical development and estimation." *Computers, Environment and Urban Systems* 27:481–509.

Allen, P. M., Sanglier, M. y Boon, F. 1981. "Intra-urban evolution—Part II." *Models of Urban Settlement and Structure as Dynamic Self-Organizing Systems* (Kahn, D., Ed.). US Department of Transportation, Washington, DC.

Alonso, W. 1960. "A general theory of the urban land market." *Papers and Proceedings of the Regional Science Association* 6:149–158.

Batty, M. 1976. *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*. Cambridge University Press, Cambridge, England.

Batty, M., Couclelis, H. y Eichen, M. 1997. "Urban systems as cellular automata." *Environment and Planning B* 24(2):159–164.

Bayliss-Smith, T. 1991. "Food security and agricultural sustainability in the New Guinea Highlands: Vulnerable people, vulnerable places." *Institute of Development Studies Bulletin* 22(3):5–11.

Bell, K. 2000. *Urban Amenity Indicators: The Liveability of Our Urban Environments* (Technical Paper no. 63—Environmental performance indicators: Urban Amenity). Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand. (Available at <http://www.mfe.govt.nz/publications/ser/tech-report-63-urban-amenity-jun00.pdf>).

Benevolo, L. 1983. *História da Cidade*. Editora Perspectiva, São Paulo, Brazil. 729 pp.

Blaikie, P. y Brookfield, H. C. 1987. *Land Degradation and Society*. Methuen, London and New York. 200 pp.

Bonham-Carter, G. F. 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon, New York, NY. 414 pp.

Briassoulis, H. 2000. *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modelling Approaches*. Ph.D. Thesis. University of the Aegean, Lesvos, Greece. (Available at: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>).

Brook Lyndhurst Ltd. 2004. *Liveability and Sustainable Development: Synergies & Conflicts*.

Summary Report for the Office of the Deputy Prime Minister. Brook Lyndhurst Ltd., London, England. 6 pp. (Available at http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_science/documents/page/odpm_science_031059.pdf).

Costanza, R. 1989. "Model goodness of fit: a multiple resolution procedure." *Ecological Modelling* 47:199–215.

Crecine, J. P. 1964. *TOMN (Time oriented metropolitan model)*. CRP Technical Bulletin no. 6. Department of City Planning, Pittsburgh, PA.

Easterly, W. y Sewadeh, M. 2000. *Global Development Network Growth Database*. (Available at <http://www.worldbank.org/research/growth/GDNdata.htm>).

Fernandes, C. L. L., Medeiros, C. M. y Mendes, A. G. 1977. "O elemento regional no processo de planejamento do Brasil—Notas preliminares *Dilemas do Planejamento Urbano e Regional no Brasil* (Cintra, A. O., y Haddad, P. R., Eds.). Zahar Editores, Rio de Janeiro, Brazil. Cap. II, pp. 51–168.

Fundação Seade. 1992. *São Paulo no Limiar do Século XXI — Cenários da urbanização paulista*, v. 5. Fundação Seade, São Paulo, Brazil. 106 pp.

Hamza, M. y Zetter, R. 1998. "Structural adjustment, urban systems, and disaster vulnerability in developing countries." *Cities* 15(4):291–299.

Hardoy, J. E., Mitlin, D. y Satterthwaite, D. 2001. *Environmental Problems in an Urbanizing World: Finding Solutions for Cities in Africa, Asia and Latin America*. Earthscan Publications Ltd, London, England. 446 pp.

Hill, D. M. 1965. "A growth allocation model for the Boston region." *Journal of the American Institute for Planners* 31:111–120.

Lowry, I. S. 1964. *A Model of Metropolis*. RAND Corporation, Santa Monica, CA (RM-4035-RC).

Merlin, P. 1973. *Méthodes Quantitatives et Espace Urbain*. Mason et Cie Éditeurs, Paris, France. 190 pp.

Moser, C. 1998. "The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies." *World Development*. 26(1):1–19.

Paelinck, J. H. P. 1970. "Dynamic urban growth models." *Papers of the Regional Science Association* 24:25–37.

Papageorgiou, Y. Y. y Pines, D. 2001. "An essay on urban economic theory." *Regional Science and Urban Economics* 31(5):626–630.

Papini, L., Rabino, G. A., Colonna, A., Di Stefano, V. y Lombardo, S. 1998. "Learning cellular automata in a real world: the case study of the Rome metropolitan area." *Cellular Automata: Research Towards Industry* (Bandini, S., Serra, R., y Liverani, F. S., Eds.). Proceedings of the Third Conference on Cellular Automata for Research and Industry. Springer-Verlag, London, England. pp. 165–183.

Pereira Filho, A. 2002. "Mudanças climáticas — Aquecimento global já pode ser sentido." *Revista Com Ciência — Revista Eletrônica de Periodismo Científico* no. 34. (Available at <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima06.htm>).

Perraton, J. y Baxter, R. 1974. *Models, Evaluations & Information Systems for Planners*. MTP Construction, Lancaster, England.

Phipps, M. y Langlois, A. 1997. "Spatial dynamics, cellular automata and parallel processing computers." *Environment and Planning B* 24(2):193–204.

Santamouris, M. 2002. "The Athens heat island." *Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change*, no. 3. (Available at http://www.ihdp.uni-bonn.de/html/publications/update/update02_03/IHDPUpdate02_03_M_Santamouris.html).

SEPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento) de Bauru. 1997. *Plano diretor de Bauru 1996*. Bauru, Brazil. 200 pp.

Skole, D. y Loveland, T. 1996. *Extent and Implications of Land Cover Changes: The View from Space*. USGCRP Seminar. USCCSP & USGCRP, Washington, D.C. (Available at: <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/seminars/960312SM.html>).

Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C. y Pennachin, C. L. 2002. "DINAMICA — a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier." *Ecological Modelling* 154:217–235.

United Nations. 1996. *World Urbanization Prospects: The 1996 Revision Database*. United Nations Population Division, New York, NY. 839 pp.

United Nations. 1998. *World Urbanization Prospects: The 1998 Revision Database*. United Nations Population Division, New York, NY. 640 pp.

Watson, R. T. y The Core Writing Team (Eds.). 2001. *IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 — Synthesis Report*. IPCC, Geneva, Switzerland. 184 pp.

Watts, M. J. y Bohle, H.-G. 1993. "The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine." *Progress in Human Geography* 17:43–67.

Wegener, M., Gnad, F. y Vannahme, M. 1986. "The time scale of urban change." In: *Advances in Urban Systems Modelling* (Hutchinson, B., y Batty, M., Eds.). Elsevier, Amsterdam, Holland. pp. 175–197.

White, R., Engelen, G. y Uljee, I. 1998. *Vulnerability Assessment of Low-Lying Coastal Areas and Small Islands to Climate Change and Sea Level Rise — Phase 2: Case Study St. Lucia*. United Nations Environment Programme, Caribbean Regional Co-ordinating Unit, Kingston, Jamaica. 90 pp.

WIKIPEDIA – The Free Encyclopedia. 2003. *Economies of AGHGlomeration*. (Available at: http://www.wikipedia.org/wiki/Economies_of_aGHGlomeration).

Wolfram, S. 1983. "Statistical mechanics of cellular automata." *Review of Modern Physics* 55:601–643.

Wu, F. 1998. "Simland: a prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules." *International Journal of Geographical Information Science* 12(1):63–82.

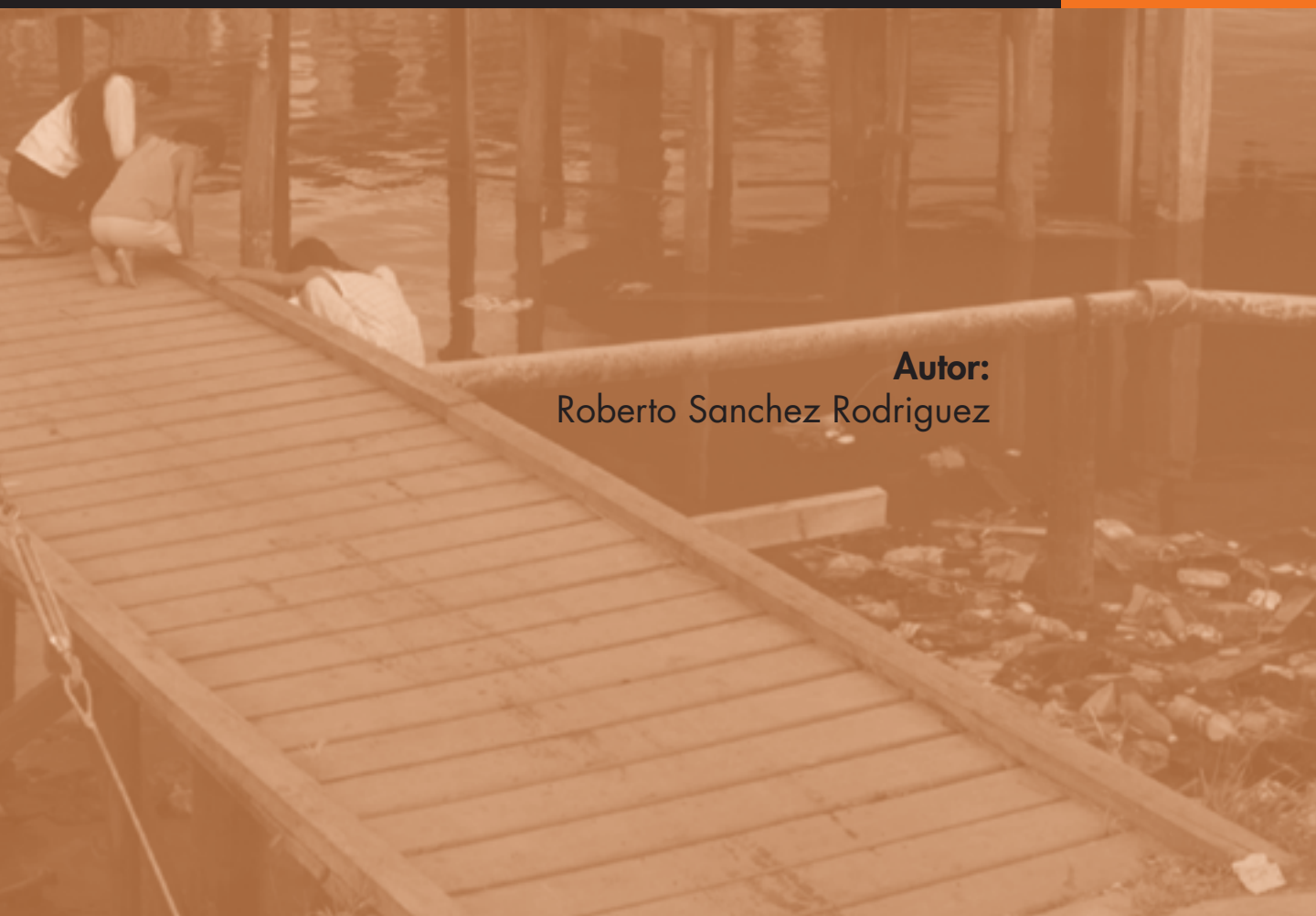
Yeh, A. G. y Li, X. 2001. "Calibration of cellular automata by using neural networks for the simulation of complex urban systems." *Environment and Planning A* 33:1445–1462.

Zhou, D. y Vertinsky, I. 2001. "Strategic location decisions in a growing market." *Regional Science and Urban Economics* 31(5):523–533.



Reflexiones Finales

8



Autor:
Roberto Sanchez Rodriguez

Los trabajos en este libro resaltan la importancia de una nueva forma de orientar el proceso de urbanización en América Latina en pro de un crecimiento más equilibrado y mejores condiciones de vida para millones de habitantes urbanos. El libro reconoce y retoma las oportunidades que ofrece usar el concepto de desarrollo sustentable para orientar ese crecimiento, pero distingue la necesidad de basar ese concepto en perspectivas multidimensionales, integrales y operativas que permitan un mejor manejo de la compleja realidad de los sistemas urbanos en América Latina.

Los capítulos del libro son una contribución en ese sentido porque incorporan a la discusión sobre el crecimiento urbano algunas de las dimensiones vinculadas con las interacciones entre las áreas urbanas y los procesos biofísicos de los cambios globales en el ambiente. La poca atención otorgada hasta ahora a ese tema resalta la necesidad de contar con nuevos esquemas para estudiar, entender y manejar las áreas urbanas. Es gratificante contar con una rica diversidad de conocimiento acumulado sobre estudios urbanos. Pero resulta sorprendente continuar considerando la realidad urbana en bloques disciplinarios cuando ésta nunca opera en forma fragmentada. Es lamentable el poco esfuerzo realizado para aprovechar ese conocimiento acumulado en la creación de perspectivas integradas para entender el crecimiento urbano y abrir oportunidades para el desarrollo sustentable. Los esfuerzos en esa dirección deben orientarse a dos grandes campos de trabajo complementarios: (1) desarrollar nuevos esquemas para crear un conocimiento integrado y multidimensional de las áreas urbanas y (2) reducir la brecha entre conocimiento científico y su uso por la gama de tomadores de decisión y otros actores urbanos con injerencia en el proceso de urbanización en América Latina.

La generación de un conocimiento integrado de áreas urbanas que incluya los procesos biofísicos regionales y globales, implica un replanteamiento de las preguntas de investigación a partir de un balance en las contribuciones de las ciencias sociales y las ciencias naturales, y acorde con la nueva realidad del siglo XXI de las sociedades urbanas en América Latina. En ese sentido, los esfuerzos recientes procuran tender puentes entre el conocimiento científico y su uso por una diversidad de actores sociales. Esos esfuerzos parten de reconocer las contribuciones de actores no científicos (profesionistas, tomadores de decisión local, organizaciones no gubernamentales y comunitarias, otros representantes de la sociedad civil, grupos de capital, etc.) en el diseño y desarrollo del proceso de investigación científica (Robertson y Hull 2001, Bammer 2005, Naes et. al. 2006, Roux et. al. 2006, Turnhout et. al. 2006). El objetivo de esos esfuerzos es construir un conocimiento pragmático y plural y, al mismo tiempo, mantener su rigor científico. Algunos autores mencionan varios métodos para facilitar el aprendizaje conjunto entre investigadores y otros actores sobre problemas y temas de interés común que proporcionen beneficios recíprocos (Brown 2003, Bammer 2005). Pero la búsqueda de métodos para conciliar diferencias en culturas disciplinarias, intereses e ideologías entre académicos y otros actores definiendo el crecimiento urbano, debe considerarse una área en donde se requiere una mayor exploración.

La búsqueda de nuevos esquemas de crecimiento urbano es relevante para las áreas urbanas en América Latina. La elevada desigualdad social en esa región, el incremento de

la pobreza urbana, los rezagos en la urbanización de la inmensa mayoría de los centros urbanos y las constantes crisis económicas y financieras agravan las consecuencias negativas de la variabilidad y el cambio climático para millones de habitantes. Algunos autores consideran esto una doble exposición a los impactos: por un lado, de la globalización en procesos socioeconómicos que inciden negativamente en la desigualdad social y la pobreza, y por otro, en los impactos de cambios en procesos biofísicos globales que afectan desproporcionadamente a los grupos sociales mas desfavorecidos y agrava las modos de vida de millones de habitantes (Hamza y Zetter 1998, O' Brien y Leichenko 2000). El incremento en el numero e importancia de los desastres naturales durante los ultimos anos en la region ilustran las consecuencias de la doble exposicion arriba mencionada.

Un obstaculo para incorporar el impacto de la variabilidad y el cambio climatico en esos nuevos esquemas de crecimiento urbano es la percepción de que los problemas globales en el ambiente ocurrirán en un futuro distante y no se justifica distraer recursos destinados a los problemas actuales para atenderlos. En parte, esa percepción responde a la presión internacional de priorizar acciones de mitigación de problemas globales en el ambiente por encima de la atención a sus impactos y sus consecuencias negativas (Sathaye et. al. 1999). Esas consecuencias son particularmente graves para los países pobres, donde los recursos para la adaptación son exigüos. Varios de los casos de estudio presentados en este libro ilustran como esos impactos agravan los problemas actuales en los procesos de urbanización y el medio ambiente. Una mayor difusión del vínculo entre problemas ambientales globales y problemas urbanos-ambientales locales contribuirá a una mejor atención de los impactos negativos y las alternativas para adaptarse a ellos en las áreas urbanas de América Latina.

Un ejemplo son las frecuentes inundaciones en un significativo número de áreas urbanas en esa región (Costa y Albini 1998, Campana y Tucci 2001). La adaptación al impacto de la variabilidad y el cambio climático en la precipitación extrema diaria puede variar desde acciones sencillas y de bajo costo, tales como considerar ese impacto en la planeación de la red del alcantarillado pluvial; hasta acciones multidimensionales orientadas a reducir la vulnerabilidad urbana y social a las inundaciones. En el caso del diseño de la red de drenaje pluvial, la capacidad de carga de los ductos y drenes de esa red es calculada para responder a las demandas extremas basadas en los registros pluviales disponibles en cada área urbana, más un porcentaje de seguridad. Sin embargo, no se toma en cuenta el impacto de la variabilidad o el cambio climático en la precipitación extrema diaria. El resultado es que la capacidad de drenaje de las redes es sobrepasada y ocasiona inundaciones, pone en riesgos a los habitantes en zonas urbanas, obstaculiza la vida urbana y ocasiona significativos daños económicos. Incorporar el impacto de la variabilidad y el cambio climático en el diseño de esas redes contribuiría a una operación eficiente de la inversión realizada, a reducir los riesgos para la población, la vida urbana y los costos y daños asociados a las inundaciones.

Vale la pena subrayar la importancia de vincular el estudio de los impactos de la variabilidad y cambio climatico con las prioridades del crecimiento urbano y las oportunidades para el desarrollo sustentable a nivel local (Burton et. al. 1993, Beg et al. 2002). Una perspectiva

multidimensional de esos impactos es un instrumento útil para establecer esos vínculos. Varios autores han expresado preocupación por que la variabilidad y el cambio climático agraven las condiciones de inequidad al interior de las sociedades y entre ellas (O' Brien y Leichenko 2000, Mirza 2003, O' Brien et. al. 2004, Tol et. el. 2004, Thomas y Twyman 2005, Paavola y Adger 2006, Reid y Vogel 2006). Esa preocupación reconoce que las acciones para reducir la vulnerabilidad o abrir alternativas de adaptación al cambio climático en un determinado grupo social, puede agravar las condiciones de vida de otros. Este es un aspecto central en la discusión de desarrollo sustentable y al que se le otorga poca atención. Equivocadamente se asume que acciones que benefician a un grupo social son también positivas para otros. Las externalidades pueden darse incluso en otro ámbito geográfico (ciudad, región o país) y en otra escala temporal (Adger et. al. 2005). El diseño de nuevos esquemas para el estudio y manejo de las áreas urbanas debe incorporar cuestiones de equidad en una forma integral.

La construcción de esos nuevos esquemas y su vínculo con procesos de cambio regional y global en el ambiente, son importante en la capacitación de los actores encargados de orientar el crecimiento urbano. La planeación de usos de suelo urbano para responder a las demandas y necesidades de la economía y la función urbana, tendrían una perspectiva diferente si se tomaran en cuenta sus consecuencias en el incremento de las emisiones de gases de invernadero y en la creación de islas de calor. Por otro lado, ese conocimiento es igualmente importante para entender los impactos de los procesos biofísicos sobre las áreas urbanas y en el diseño de políticas y acciones de adaptación a esos impactos. El caso de los desastres naturales mencionados arriba, es un ejemplo de sus elevados costos económicos, sociales y ambientales, pero las consecuencias negativas de los impactos inciden en muchos otros aspectos de la vida urbana. Incorporar el conocimiento sobre esos impactos en la agenda de los tomadores de decisión a nivel local es una forma eficiente y de bajo costo de contribuir a la reducción de sus consecuencias negativas. Las áreas urbanas son el espacio territorial en donde esas consecuencias afectan una elevada proporción de la población de las sociedades latinoamericanas, pero también donde la adaptación puede realizarse con mayor facilidad a través de acciones que, a su vez, ayuden al control de problemas locales prioritarios y abran oportunidades al desarrollo sustentable.

La inmensa mayoría de los programas actuales para la capacitación de tomadores de decisión en aspectos urbanos no toman en cuenta las interacciones con el medio ambiente regional y global arriba mencionadas. Por ejemplo, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo cuenta con programas para la capacitación en gestión urbana en América Latina. El componente ambiental de ese programa se limita a tratar el problema de los residuos sólidos desde una perspectiva tradicional. Metrópolis, asociación internacional que agrupa a 76 ciudades, esta orientada a la solución de los problemas en grandes ciudades. El instituto provee entrenamiento en aspectos urbanos y ambientales para tomadores de decisión local y ejecutivos de gobiernos metropolitanos. El programa de esos cursos, aun en el caso de los problemas ambientales, no hace mencion de los impactos de los procesos bifásicos regionales y globales como el impacto de la variabilidad y el cambio climático.

El Banco Mundial y Habitat, Programa de Naciones Unidas para áreas urbanas, tienen una larga tradición de estudios y programas urbanos e incluyen una gama de problemas ambientales en países pobres. Ellos abordan parcialmente algunos aspectos vinculados a las interacciones entre áreas urbanas y cambios globales en el ambiente, pero no ofrecen directamente capacitación específica en ese tema. Sin embargo, proporcionan financiamiento al Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales (ICLEI) que tiene como parte central en su programa el impulso de Agenda 21 publicado por Naciones Unidas en la Conferencia de Río en 1992. La membresía de ICLEI es estimada en alrededor de 400 gobiernos de ciudades de diversas partes del mundo. Uno de los programas de ICLEI, que incluye el entrenamiento a gobiernos locales, es la Campaña para la protección del clima en ciudades. Éste es el único programa entre los ofrecidos por organizaciones internacionales en el cual se ha detectado un vínculo directo con aspectos de cambios globales en el clima. El programa busca reducir las emisiones de gases de invernadero en áreas urbanas. Algunas de las ciudades afiliadas a ese programa se encuentran en América Latina. Sin embargo, ICLEI no ofrece un programa de capacitación para el diseño de medidas de adaptación a los impactos negativos de cambios globales en el ambiente sobre las áreas urbanas, un tema prioritario para los países en América Latina.

La oficina para América Latina del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ofrece apoyo para el desarrollo de programas de la Agenda 21. Algunos de ellos consideran aspectos vinculados a los cambios globales en el ambiente, pero no de manera integral. Esas organizaciones ofrecen programas de capacitación a gobiernos urbanos locales en conjunto con otras organizaciones internacionales como la Unión Internacional de Gobiernos Locales, programas de ciudades hermanas y recientes programas de cooperación Norte-Sur y Sur-Sur entre áreas urbanas. Todos los programas de capacitación para tomadores de decisión local arriba mencionados, son un recurso potencial para que tomadores de decisión de gobiernos locales urbanos tengan acceso a nuevos esquemas de manejo de las áreas urbanas arriba mencionados.

Una de las instituciones con la cual esa colaboración podría ser particularmente benéfica es el Instituto Interamericano de Estudios del Cambio Global (IAI). El IAI ofrece talleres de capacitación para académicos y tomadores de decisión en temas relacionados con cambios globales en el ambiente. Algunos de ellos, referidos a las áreas urbanas, se han realizado en colaboración con el PNUMA y otras organizaciones internacionales y nacionales, pero hasta ahora solo un número pequeño de tomadores de decisión ha tenido acceso a esa capacitación. Expandir la colaboración hacia otras organizaciones internacionales – Banco Mundial, el Banco Interamericano, los programas para el Desarrollo de Naciones Unidas (UNDP) y Habitat, Metrópolis, ICLEI, IHDP, START entre otras – y nacionales podría ampliar significativamente la cobertura de los talleres de capacitación y facilitar el acceso a mayor número de profesionales y tomadores de decisión en la región. Esa capacitación podría ser particularmente útil para orientar el crecimiento urbano bajo nuevos esquemas acordes a la realidad y necesidades de las sociedades en América Latina en el siglo XXI.

Los casos de estudio en el libro coinciden en sugerir que esos nuevos esquemas deben considerar el acelerado crecimiento de las áreas urbanas en la región. Un porcentaje significativo de ese crecimiento está asociado al incremento de habitantes urbanos pobres. Se estima que entre un cuarto y una tercera parte de hogares urbanos en el mundo viven en absoluta pobreza (UNCHS 2002). Ese porcentaje es mayor en América Latina debido a su alta tasa de urbanización y al incremento de la pobreza e inequidad (*World Bank* 2002). El Banco Mundial estima que cinco de cada seis nuevos pobres entre 1986 y 1998 en esa región, vivían en áreas urbanas (*World Bank* 2002). Muchos de ellos ocupan zonas de difícil y costosa urbanización, en precarias condiciones sanitarias y, con frecuencia, en zonas de riesgo de desastres naturales. La rápida expansión de esas zonas plantea un reto difícil para el presente y futuro de las ciudades en América Latina y es el resultado de procesos socioeconómicos y geopolíticos globales y regionales operando en diversas escalas, de la global a la local. Una parte importante de ese crecimiento urbano –hasta cerca del cincuenta por ciento del crecimiento total en varias ciudades– tiene lugar fuera de los esquemas formales de planeación y control. Ello incluye el importante papel del mercado inmobiliario como gestor, en la construcción, del espacio urbano formal e informal. La dificultad de responder a las demandas de suelo, vivienda y servicios urbanos de un creciente número de habitantes y poder orientar el crecimiento urbano, es un reto permanente para las autoridades de esas comunidades.

Es importante recordar las limitaciones de la capacidad o recursos de las autoridades locales para resolver un número significativo de sus problemas urbanos y ambientales. Con frecuencia, sus acciones se limitan a reducir las consecuencias más importantes de ellos. Reducir la desigualdad y los conflictos sociales, la violencia (en particular la relacionada con el crimen organizado), las crisis sociales, económicas, políticas características en la región dependen de los procesos de cambio social y requieren medidas más allá de las que afectan el espacio físico en donde éste se expresa. El crecimiento urbano, la vulnerabilidad a los impactos negativos de los cambios globales en el ambiente y eventualmente, el desarrollo sustentable son procesos negociados políticamente por una amplia gama de actores que inciden en las dimensiones del crecimiento (social, económica, cultural, física, ambiental). El conocimiento integrado del crecimiento urbano, incluyendo las interacciones a cambios globales en el ambiente, juega un papel fundamental en contribuir a esas negociaciones y ayudar a prever sus externalidades.

Este libro busca contribuir a la construcción de ese conocimiento integrado. En el caso del clima, algunos autores vinculan el conocimiento del clima urbano con el proceso de planeación urbana (Schrer et. al. 1999, Traci et. al. 2003, Dessai et. al. 2005), aunque pocos de ellos específicamente para las ciudades latinoamericanas (Evans y de Schiller 1991). Los capítulos de Moya y coautores, Bochaca y Puliafito y Comarazamy y coautores presentan ejemplos concretos de la aplicación de ese conocimiento para orientar el crecimiento urbano. Los trabajos de Silva y López y coautores fortalecen la búsqueda del trabajo interdisciplinario en el estudio del área urbana en su contexto regional en coincidencia con contribuciones recientes en pro de perspectivas interdisciplinarias en el estudio y planeación del paisaje (Linehan y Gross 1998, Fry 2001, Schoenberger et al. 2001) y el manejo de recursos

naturales críticos como el agua. Almeida ilustra los beneficios y limitantes de modelos útiles a la simulación del crecimiento como un instrumento particularmente útil en el desarrollo de nuevos esquemas para el desarrollo de la investigación científica con la participación de una gama de actores urbanos.

Por último, es importante resaltar que la construcción de nuevos esquemas para el estudio de áreas urbanas en América Latina debe considerar un amplio gradiente de centros urbanos. La atención tiende a centrarse sobre las grandes metrópolis (más de 10 millones de habitantes). Su tamaño, rápido crecimiento hasta hace pocos años y el hecho de que muchas de ellas sean la capital nacional en países de la región, las hace particularmente visibles y atractivas para los medios de comunicación y como objeto de estudio. Sin embargo, la problemática urbana en América Latina no se limita a esas metrópolis e incluye un gradiente que va desde áreas peri-urbanas, centros de transición entre las zonas rurales y las urbanas, ciudades pequeñas, medianas, grandes y las metrópolis. El crecimiento urbano en América Latina ha estado concentrado en las ciudades medias desde la década de los 1990. Muchos de esos centros urbanos, incluyendo los pequeños y zonas peri-urbanas, padecen problemas similares a las grandes metrópolis, pero cuentan con menores recursos para atenderlos.

La introducción de este libro comenzó señalando que el presente y futuro de América Latina está intrínsecamente asociado con el crecimiento de sus áreas urbanas. Éstas son sujeto de constante controversia. Para algunos son un mal necesario en el desarrollo de la humanidad resaltando todos los problemas inherentes a la vida urbana. Para otros son un recurso indispensable para el crecimiento económico, el bienestar social, e incluso, para aliviar la presión sobre zonas rurales y recursos naturales. En el fondo, las áreas urbanas son solo el espacio geográfico donde se expresan las contradicciones, conflictos y relaciones sociales y los conflictos entre la sociedad y la naturaleza. Sus problemas son el reflejo de la inequidad para con el interior de nuestras sociedades y entre sociedades. Plantear alternativas para un mejor futuro (desarrollo sustentable) implica un proceso de cambio social. Es de interés de los autores que participan en esta publicación contribuir a ese proceso, a partir de la construcción de nuevos esquemas para entender los procesos de urbanización y responder a las necesidades de las sociedades latinoamericanas en el siglo XXI.

Referencias

Adger, N., Brown, K. y Hulme, M. 2005. "Redefining global environmental change." *Global Environmental Change* 15:1–4.

Bammer, G. 2005. "Integration and implementation sciences: Building a new specialization." *Ecology and Society* 10(2):6. (Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art6/>).

Beg, N., Morlot, C., Davidson, O., Afrane-Okesse, Y., Tyani, L., Denton, F., Sokona, Y., Thomas, J., La Rovere, E. y Parikh, J. 2002. "Linkages between climate change and sustainable development." *Climate Policy* 2:129–144.

Brown, A. L. 2003. "Increasing the utility of urban environmental quality information." *Landscape and Urban Planning* 65:85–93.

Campana, N. y Tucci, C. 2001. "Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Diluvio Basin, Porto Alegre, Brazil." *Urban Water* 3:113–124.

Costa, L. y Albini, D. 1988. "Las inundaciones en el área de Buenos Aires." *Medio Ambiente y Urbanismo* 7:2–19.

Dessai, S., Lu, X. y Risbey, J. 2005. "On the role of climate scenarios for adapting planning." *Global Environmental Change* 15:87–97.

Evans, J. M. y De Schiller, S. 1991. "Climate and urban planning: The example of the planning code for Vicente Lopez, Buenos Aires." *Energy and Buildings* 15(16):35–41.

Friedmann, J. 1987. *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action*. Princeton University Press, Princeton, NJ. 501 pp.

Fry, G. 2001. "Multifunctional landscapes—towards transdisciplinary research." *Landscape and Urban Planning* 57:159–168.

Gornitz, V., Couch, S. y Hartig, E. 2002. "Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area." *Global and Planetary Changes* 32:61–88.

Hamza, M. y Zetter, R. 1998. "Structural adjustment, urban systems and disaster vulnerability in developing countries." *Cities* 15(4):291–299.

Linehan, J. y Gross, M. 1998. "Back to the future, back to basics: The social ecology of landscapes and the future of landscape planning." *Landscape and Urban Planning* 42:207–223.

Mirza, M. 2003. "Climate change and extreme weather events: Can developing countries adapt?" *Climate Policy* 3:233–248.

Moser, C. 1998. "The Asset Vulnerability Framework: Reassessing urban poverty reduction strategies." *World Development* 26(1):1–19.

Naess, L. O., Norland, I. T., Lafferty, W. M. y Aall, C. 2006. "Data and processes linking vulnerability assessment to adaptation decision-making on climate change in Norway." *Global Environmental Change* 16(2):221–233.

O'Brien, K. y Leichenko, R. 2000. "Double exposure: Assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization." *Global Environmental Change* 10:221–232.

O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tomkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. 2004. "Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India." *Global Environmental Change* 14:303–313.

Paavola, J. y Adger, N. 2006. "Fair adaptation to climate change." *Ecological Economics* 56:594–609.

Pelling, M. 2003. *The Vulnerability of Cities. Natural Disasters and Social Resilience*. Earthscan, London, England. 212 pp.

Reid, P. y Vogel, C. 2006. "Living and responding to multiple stressors in South Africa—Glimpses from KwaZulu-Natal." *Global Environmental Change* 16:195–206.

Robertson, D. y Hull, B. 2003. "Public ecology: An environmental science and policy for global society." *Environmental Science & Policy* 6:399–410.

Rosenzweig, C. y Solecki, W. 2001. "Climate change and a global city: Learning from New York." *Environment* 43(3):3–12.

Roux, D., Rogers, K., Biggs, H., Ashton, P. y Sergeant, A. 2006. "Bridging the science–management divide: Moving from unidirectional knowledge transfer to knowledge interfacing and sharing." *Ecology and Society* 11(1):4 (Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art4/>).

Sathaye, J., Andrasko, K., Makundi, W., La Rovere, E., Ravindranath, N., Melli, A., Rangachari, A., Imaz, M., Gay, C., Friedmann, R., Goldberg, B., Van Horen, C., Simmonds, G. y Parker, G. 1999. "Concerns about climate change mitigation projects: Summary of findings from case studies in Brazil, India, Mexico, and South Africa." *Environmental Science and Policy* 2:187–198.

Schreider, S., Smith, D. y Jakeman, A. 2000. "Climate change impacts on urban flooding." *Climatic Change* 47:91–115.

Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H. y Parlow, E. 1999. "Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes." *Atmospheric Environment* 33:4185–4193.

Schoenberger, E. 2001. "Interdisciplinarity and social power." *Progress in Human Geography* 25(3):365–382.

Thomas, D. y Twyman, C. 2005. "Equity and justice in climate change adaptation amongst natural-resources-dependent societies." *Global Environmental Change* 15:115–124.

Tol, R., Downing, T., Kuik, O. y Smith, J. 2004. "Distribution aspects of climate change impacts." *Global Environmental Change* 14:259–272.

Tompkins, E. y Adger, N. 2005. "Defining response capacity to enhance climate change policy." *Environmental Science & Policy* 8:562–571.

Turnhout, E., Hisschemoeller, M. y Eijsackers, H. 2006. "Ecological indicators: Between the two fires of science and policy." *Ecological Indicators* (en prensa). (Available at: <http://www.sciencedirect.com/science>).

UNCHS (United Nations Commission on Human Settlements) 2002. *The State of the World Cities Report 2001*. United Nations Publications, New York, NY. 125 pp.

World Bank. 2002. *World Bank Urban Development* (<http://www.worldbank.org/html/fdp/urban/>).

Biodatas

9

Todos los autores



Roberto Sanchez Rodriguez

Estudió arquitectura en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y se doctoró en Planificación Urbano-Regional en la Universidad de Dortmund, Alemania. Actualmente es profesor en el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de California en Riverside y dirige el Instituto para México y los Estados Unidos, adscrito a la misma universidad (UC MEXUS). Temas de particular interés en su carrera son el vínculo entre ambiente y desarrollo, el desarrollo urbano, la globalización y el cambio ambiental global, así como la vulnerabilidad de las áreas urbanas a la variabilidad climática y el cambio climático. El Dr. Sanchez co-presidió el Comité Científico Internacional del Programa de Dimensiones Humanas para el Cambio Ambiental Global (IHDP) y actualmente co-preside el nuevo proyecto del IHDP en Urbanización y Cambio Ambiental Global.

Daniel E. Comarazamy Figueroa

Ingeniero Mecánico graduado en el Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), República Dominicana (1998). Máster en Ciencias en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez (UPRM, 2002), donde se desempeñó como Investigador Especialista en el área de modelado atmosférico y campañas de campo. En la actualidad cursa el programa de doctorado en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santa Clara, California, bajo el patrocinio del programa NASA-EPSCoR. Su tema de investigación es el impacto del desarrollo urbano en el clima local y regional de zonas tropicales costeras.

Jorge E. González

Ingeniero Mecánico graduado en la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez (1987), donde también cursó la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica (1989). Doctor en Ingeniería Mecánica por el Instituto de Tecnología de Georgia, Estados Unidos (1994). Tiene intereses académicos y de investigación en las áreas de transferencia de calor en flujos en dos fases; aplicaciones ambientales de dinámica de fluidos y transferencia de calor; y fuentes alternas de energía, temas que ha desarrollado como catedrático de la UPRM y la Universidad de Santa Clara, Santa Clara, CA, USA.

Jeffrey C. Luvall

Graduado en Ecología Forestal en la Universidad del Sur de Illinois, Carbondale, (1974). Doctor en Ecología Forestal Tropical graduada en la Universidad de Georgia, Estados Unidos (1984). Desde el 1985 se desempeña como Ecologista forestal y Micro-meteorólogo en el Centro de Vuelo Espacial *Marshall* de la NASA y el Centro de Hidrología y Clima Global, en Huntsville, Alabama, donde utiliza sensores aerotransportados y modelos térmicos para estudios de transferencia y transporte entre la superficie terrestre y la atmósfera. Actualmente

desempeña funciones de Facultad Adjunta en el departamento de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Alabama en Hunstville.

Fabián R. Bochaca

Recibió el título de Arquitecto en 1997 y de Especialista en Paisajismo en 2002, ambos de la Universidad de Mendoza, Argentina. Actualmente está finalizando su Doctorado en Arquitectura como becario de CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas). Su campo de investigación es la influencia climática de las áreas verdes en el ambiente urbano. Ha participado en investigaciones a nivel nacional e internacional y en numerosos proyectos de parques y áreas verdes urbanas en la ciudad de Mendoza.

Salvador Enrique Puliafito

Ingeniero en Electrónica y Electricidad (1983) por la Universidad de Mendoza, Argentina y Doctor en Ingeniería (1989) graduado en la Universidad de Braunschweig, Alemania en el área de la física de atmósfera. Ha participado en proyectos de investigación de temas referidos a la determinación del ozono estratosférico y el vapor de agua troposférico, en institutos de Alemania, Suiza y Estados Unidos, incluyendo cuatro misiones del ATLAS a bordo del *Space Shuttle* de la NASA. Fue Director del Instituto para el Estudio del Medio Ambiente de la Universidad de Mendoza. Es investigador independiente de CONICET en la Universidad Tecnológica Nacional, especialista en temas ambientales, particularmente el monitoreo y modelación de la calidad del aire. Actualmente su área de desempeño es la influencia de los procesos de urbanización en el cambio climático global.

Erna López

Bióloga egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México (1993). Cursó la Maestría en Conservación y Manejo de Recursos Naturales en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México (1998). Su tesis de maestría estuvo enfocada al crecimiento urbano de una ciudad media en el centro de México durante el periodo de 1960 a 1997. Es Doctora en Biología por el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO, UNAM) con la tesis "Cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo". Actualmente trabaja en el Macroproyecto institucional Desarrollo Humano y Manejo de Ecosistemas en el lago de Cuitzeo, Michoacán, México, desarrollado en el CIECO.

Manuel Mendoza

Geógrafo graduado en la Universidad Nacional Autónoma de México (1994), con una maestría en Recursos Naturales del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (1997). Es Doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM (2002). Realizó un posdoctorado en la Unidad Académica Foranea del Instituto de Geografía de la UNAM donde actualmente es investigador titular y profesor de la Maestría Internacional en Manejo Integrado del Paisaje (UNAM-ITC Holanda). Su interés se centra en el análisis y manejo de los recursos naturales aplicando técnicas de detección con percepción remota y modelación con SIG.

Gerardo Bocco

Geógrafo, graduado en la Universidad Nacional Autónoma de México. Máster en Geografía (UNAM), Maestría en Geomorfología aplicada por el *International Institute for Geo-information Sciences and Earth Observation* y Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad de Ámsterdam - ITC, (1990). Fue Director general de Investigación en Ordenamiento y Conservación en el Instituto Nacional de Ecología- Semarnat (2001-2005). Actualmente es Jefe de la Unidad Académica Foránea del Instituto de Geografía de la UNAM.

Alejandra Acosta

Bióloga posgraduada en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. En su tesis trabajó con el crecimiento de los asentamientos urbanos en la cuenca del lago de Cuitzeo. Actualmente se encuentra trabajando en el Departamento de Ordenamiento Territorial de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente de Michoacán.

Ricardo Toledo Silva

Arquitecto, Profesor de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo. Sus actividades de investigación están centradas, principalmente, en infraestructura urbana y gestión integrada. Con anterioridad, se desempeñó como Secretario de Desarrollo Urbano (gobierno federal) e investigador en jefe del Instituto de Investigación Tecnológica del Estado de São Paulo.

Claudia Maria de Almeida

Arquitecta Urbanista formada en la Universidad de São Paulo - USP, Brasil (1989). Cursó la Maestría en Planificación de Infraestructura en la Universidad de Stuttgart, Alemania (1995). Fue Profesora Colaboradora en el Curso de Especialización en Salud Ambiental de la Facultad de Salud Pública de la USP y en los cursos de Maestría / Doctorado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la USP. Se ha desempeñado como Arquitecta en la Secretaría Municipal de Urbanismo de Rio de Janeiro, Brasil. En 2003, concluyó su Doctorado en Teledetección en el Instituto Nacional de Investigación Espacial - INPE, Brasil, donde trabaja actualmente como investigadora.

Alfredo Cabrera

Licenciado en Geografía desde el año 1979 en el Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona y Doctor en Ciencias Geográficas, graduado en la Universidad de La Habana en el año 1993. Está especializado en Aspectos Geológicos de los Paisajes, Manejo de Áreas protegidas y Zonas Costeras y en Teoría del Medioambiente y Desarrollo Sustentable. Actualmente dirige el Centro de Manejo integrado de la Playa de Varadero. Es profesor del Programa de Doctorado de Medioambiente y Desarrollo sustentable de las Universidades de Girona en España y la Universidad de Matanzas, en Cuba. Es miembro del Consejo Académico del Programa de Maestría en Contaminación y Manejo Medioambiental de la Universidad de Matanzas.

Lorenzo Castillo

Arquitecto graduado (Instituto Superior Politécnico José Antônio Echevessia) en el año 1967 en la Ciudad de la Habana. Tiene experiencia en Planificación Física y el Ordenamiento Territorial, tanto de territorios urbanos como no urbanos, así como en arquitectura bioclimática y en armonía con el medioambiente. Ha trabajado como proyectista y asesor de proyectos. Actualmente se desempeña en la Unidad de Medioambiente de Matanzas, donde se ha especializado en Buenas Prácticas para la conservación del medioambiente en la actividad turística.

José Rojo

Graduado de Arquitectura en el año 1961 en la Universidad de Habana. Tiene más de 40 años de experiencia en urbanismo y planificación física. Ha incursionado en la arquitectura bioclimática con fines de urbanismo. Ha trabajado en el planeamiento físico de la ciudad de Matanzas y de otras regiones de la provincia. Dirigió por más de 15 años el Instituto de Planificación Física en la provincia de Matanzas. Se ha desempeñado también como proyectista. Actualmente trabaja en el Plan Director de Varadero.

Bárbaro V. Moya

Ingeniero graduado en 1993. Tiene una Maestría en Ciencias Medioambientales. Se desempeña como investigador científico en el Centro Meteorológico Provincial de Matanzas desde el año 1995, donde ya trabajaba desde el año 1981, primero como observador meteorológico, después como técnico en climatología y seguidamente como especialista en esta materia. Ha desarrollado investigaciones en el campo de las aplicaciones climáticas y en la calidad del aire. En los últimos años ha llevado a cabo investigaciones en la temática del cambio climático, fundamentalmente en la adaptación de ambientes según las proyecciones de escenarios climáticos futuros con base en el análisis de vulnerabilidad e impactos asociados.



Dirección Ejecutiva del IAI

a/c INPE Ave. dos Astronautas, 1758
12227-010 São José dos Campos, SP – Brasil
Teléfono: (55-12) 3945-6855/56
Fax: (55-12) 3941-4410

E-mail: iaibr@dir.iai.int

Website: <http://www.iai.int>



ISBN978-85-99875-03-2

