

Cambio climático global: vulnerabilidad, adaptación y sustentabilidad.

**Experiencias internacionales
comparadas**

Jorge Rojas Hernández, Editor

Editorial Universidad de Concepción

Cambio climático global: vulnerabilidad, adaptación y sustentabilidad.

Experiencias internacionales comparadas

Jorge Rojas Hernández, Editor



Universidad de Concepción



PROYECTO ANILLOS
SOC-28

IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO
GLOBAL EN LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO
2010-2014 FINANCIADO POR FONDECYT Nº 1011001



CONICYT
COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Editorial Universidad de Concepción

Ecología política del cambio climático en ciudades chilenas: Características y vulnerabilidades sociales¹

HUGO ROMERO²

Resumen

En el contexto del cambio climático, la ecología política entrega una nueva conceptualización que permite interpretar la compleja relación entre sociedad y naturaleza, evitando la separación entre los objetos de análisis sociales y naturales, ofreciendo una nueva lectura a la relación de la naturaleza dominada por la sociedad. Esta noción la explicita el artículo desde el análisis de procesos de urbanización de asentamientos humanos que, en el caso chileno, profundiza sus efectos de la mano a un modelo de desarrollo neoliberal, introducido en los 70 con la dictadura.

Este desmedido crecimiento urbano no considera una planificación que tienda a equilibrar las desigualdades generadas por la mercantilización de bienes escasos, en donde quienes disponen de mayores ingresos pueden construir en zonas de riesgo, instalándose con medidas mitigadoras, realidad contrastante a personas de menores ingresos, quienes habitan en zonas de alto riesgo carentes de planificación, profundizándose las problemáticas surgidas de la densidad poblacional, insuficientes áreas verdes que permitan la ventilación, disminución de la contaminación, control de las temperaturas y áreas de esparcimiento que mejoren su calidad de vida.

De esta forma, el artículo aborda la intensificación de los efectos negativos del cambio climático mundial en las zonas urbanas, haciendo un llamado a su consideración en el diseño y planificación que permita amortiguarlos, con especial atención en los habitantes que cuentan con menores recursos, generando las condiciones necesarias para mejorar su calidad de vida y de zonas urbanas en general.

Palabras clave: Ecología política, urbanismo, escorrentías, cambio climático, impermeabilización, emergencias.

Introducción

El cambio climático ha surgido como uno de los grandes temas globales e interdisciplinarios en la actualidad y como una de las principales fuentes de controversia entre los países y regiones ricas, que producen el efecto invernadero, y los pobres del planeta, que reciben sus efectos adversos en forma desproporcionadamente alta, generando una auténtica falta de justicia ambiental. Al mismo tiempo, puede ser

¹ Proyecto Fondecyt 1080080.

² Profesor del Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Universidad de Chile. E-mail: hromero@uchilefau.cl

interpretado como una crítica a los modelos de desarrollo capitalistas en general y, especialmente, a aquellos inspirados en el neoliberalismo, que han privilegiado las rentabilidades económicas por sobre los costos ambientales y sociales como única medida de progreso. El cambio climático corresponde a una de esas externalidades negativas del proceso de producción de espacios y territorios, que difícilmente logra separar las características que asume la atmósfera y sus ciclos de comportamiento de largo, mediano y corto plazo, de las causas socioeconómicas que determinan los sistemas de producción, intercambio, distribución y consumo de bienes y servicios a diferentes escalas espaciales. Entre estas últimas, destacan las ciudades y metrópolis como principales causas y consecuencias de los cambios climáticos.

La ecología política ofrece nuevos conceptos para interpretar las complejas relaciones entre la sociedad y la naturaleza, evitando, en primer lugar, la separación entre objetos de análisis naturales y sociales y reinterpretando las visiones por las cuales la naturaleza es un objeto dominado y la sociedad el sujeto dominador. El clima ha sido considerado tradicionalmente un objeto de estudio natural, tratado por ciencias que pertenecen a ese conjunto, tales como la meteorología y la climatología. Sin embargo, cuando se consideran las causas del cambio climático y examinan los climas urbanos, se advierte de inmediato que las grandes variaciones de temperaturas, humedad, ventilación o calidad del aire, se relacionan espacial y especialmente con los procesos socioeconómicos y con las características socioeconómicas de los barrios.

El clima urbano corresponde directamente a una construcción social de espacios y lugares, que adquieren especificidad e identidad, entre otras cosas, debido a sus condiciones climáticas. Estas últimas son reconocidas, evaluadas y comodificadas, es decir son comercializadas en el mercado, formando parte del precio final de los proyectos inmobiliarios, en particular cuando las ciudades son altamente contaminadas y la población muestra una mayor disposición a pagar por una mejor calidad del aire. Los paisajes de aire de calidad, asociados a áreas verdes abundantes y vistas panorámicas espectaculares, forman parte del imaginario deseable que se publicita en el mercado del sector.

En forma inversa, las áreas más riesgosas, de mayores oscilaciones térmicas, que acumulan más calor, o registran la peor calidad del aire, se concentran en los sectores socialmente más deprimidos de las ciudades y ello se ve reflejado directamente en los precios de las viviendas, reforzando, como en el caso de las áreas ricas, los procesos de segregación y exclusión socioambiental. La asociación entre barrios climáticamente degradados o riesgosos y la localización de las viviendas de los sectores sociales más vulnerables es materia de falta de justicia ambiental y grave desproporcionadamente por razones socioeconómicas a una parte mayoritaria de los habitantes de las ciudades.

Siendo las ciudades los principales hábitats y nichos ecológicos de la humanidad, llama la atención que los proyectos de cambio climático no les hayan otorgado la importancia necesaria. Los cambios en los climas urbanos están asociados prin-

cialmente a la generación y desarrollo de las islas de calor y a alteraciones en los ciclos hidrológicos, particularmente en términos de Áreas Totales Impermeables (ATIs) y Coeficientes de Escorrentía, causados por la urbanización de cuencas. Los cambios climáticos en las ciudades son resultantes de los procesos de crecimiento espacial y densificación de las construcciones, lo que se advierte claramente en las áreas metropolitanas de Santiago, Valparaíso y Concepción. Los cambios en los usos y coberturas de los suelos que se relacionan directamente con la generación de islas de calor y desaparición de islas frías han sido analizados en Santiago y Valparaíso, a escala de la ciudad en su conjunto y de paisajes urbanos específicos, mediante el estudio de series temporales de imágenes satelitales LANDSAT, fotografías aéreas, datos producidos por estaciones meteorológicas fijas –ubicadas en barrios específicos– y campañas de mediciones móviles, realizadas en las estaciones de verano e invierno.

Las modificaciones de las ATIs y de los coeficientes de escorrentía se presentan para subcuencas seleccionadas de Valparaíso y Viña del Mar (Avenida Francia, Subida Yolanda y Miraflores). Estas modificaciones han identificado los cambios en las tasas de impermeabilización causados por la sustitución de los usos y coberturas naturales de los suelos, por la urbanización, y las alteraciones de las áreas de descarga y recarga de los acuíferos. Los coeficientes de escorrentía han adicionado a las ATIs, las propiedades físicas de los suelos y las pendientes.

Los cambios climáticos al interior de las ciudades son un fenómeno en desarrollo y su acentuación depende de su acoplamiento a los procesos globales, así como su reducción lo hace de las acciones de mitigación y adaptación que se emprendan, especialmente en términos de localización de nuevas áreas urbanas, asignaciones de usos de suelo, reverdecimiento de los paisajes y diseños ambientalmente sustentables. Tratándose de paisajes urbanos, se debe considerar la relación entre sus características biofísicas y socioeconómicas, para lo cual se han empleado métodos estadísticos multivariados. Los climas urbanos y sus posibilidades de cambio dependen más de factores socioeconómicos, políticos y culturales, que naturales propiamente tales.

1. Los desafíos de la ecología política

La ecología política se ha definido como un enfoque que trata el metabolismo complejo entre la sociedad y la naturaleza y que analiza “la gestión de los recursos (o la degradación ambiental) en términos sociopolíticos, considerando los contextos históricos, políticos, y económicos, a diferentes escalas espaciales y temporales” (Budds, 2009: 324). Esta ciencia enfatiza la pluralidad de las explicaciones en la investigación medioambiental, antes que considerar sólo las relaciones lineales de causas y efectos y con un giro desde los enfoques positivistas hacia los interaccionistas.

La ecología política ha reconceptualizado las relaciones sociedad-naturaleza y los procesos de cambio ambiental, tratando de actuar como puente entre la materialidad de la naturaleza y los procesos sociopolíticos envueltos en ella (Rochelau, 1995; Harvey, 1996; Bryant & Bailey, 1997, cit. por Budds, 2004). En particular, se ha definido “la construcción social de la naturaleza”, llevando adelante la idea que la naturaleza no es una entidad objetiva, sino que es percibida diferentemente de acuerdo a los actores, el tiempo y el contexto y, subsecuentemente, construida de acuerdo a estas posicionalidades, y movilizada a través de los discursos que la sostienen. De esta manera se cuestiona fundamentalmente la validez de la “verdad” y la “realidad”, aludiendo que éstas no pueden nunca estar libres de la posicionalidad, en particular de la ciencia para proveer conocimiento acerca de cómo trabaja la naturaleza y cómo se puede manejar mejor, dada la imposible neutralidad de los científicos (Budds, 2004).

El concepto de “naturaleza social” desafía la noción prevaleciente de que la naturaleza puede ser considerada como externa o separada de la sociedad, proponiendo un nuevo enfoque para los estudios ambientales, enfatizando los procesos sociales, económicos y políticos que transforman la naturaleza. Este enfoque se focaliza en las estructuras y políticas de poder inequitativas que subyacen a los procesos de cambios ambientales y en las implicaciones sociopolíticas y ambientales de los cambios en la manera en que los recursos naturales son asignados y manejados, en especial por los actores sociales “débiles”. Las formas que toma el poder no sólo configuran la manera en que los problemas ambientales son definidos, priorizados y direccionados, a través de los modos prevalecientes de gestión ambiental, sino que dan forma al paisaje físico en sí mismo. La ecología política, en vez de tomar una perspectiva que considera el impacto “humano-ambiental”, se mueve hacia preguntas más fundamentales acerca de quién produce la naturaleza y con qué productos sociales y ecológicos, fortaleciendo la necesidad de soluciones políticas, antes que “técnicas” (Budds, 2004: 325).

Las evaluaciones “científicas” que existen sobre la degradación ambiental y, entre éstas, sobre el cambio climático son especialmente “especiosas” al separar la gente del medio ambiente: “Por un lado, la mayoría de la investigación en ciencia ambiental excluye los procesos sociales enteramente y se focaliza en los procesos físicos o ecológicos como si el medio ambiente físico existiera en el vacío o pudiera ser completamente separado del contexto social en el cual está imbuido. Por otro lado, las evaluaciones físicas están basadas a menudo en supuestas generalizaciones acerca de los procesos sociales, en especial cuando tratan de desagregar las acciones de diferentes grupos sociales, o asumen que las prácticas ejecutadas por grupos sociales particulares son más degradadoras ambientalmente que las de otros. Es ampliamente reconocido que cuando la política ambiental acepta como seguras estas evaluaciones en la definición de problemas particulares, puede resultar en medidas

que fallan en dirección a las causas subyacentes, y aun penalizar los grupos que hacen mínimas contribuciones a ellas (Budds, 2009: 419).

La idea de la “naturaleza social” es global y no se concentra en los componentes “sociales” o “ecológicos” de los problemas ambientales o en la integración entre ambos. El enfoque de la “naturaleza social” mira a la naturaleza en sí misma como constituida y reconstituida a través de los procesos socioculturales, tanto materialmente como discursivamente, antes que como objetos de los procesos sociales. “En este respecto, la perspectiva de la ‘naturaleza social’ es quizás más bien difícil de relacionar con las ciencias ambientales, no sólo porque éstas consideran al mundo no-humano en su forma material, sino también porque la noción total de la realidad del mundo material se contraponen con la idea que la naturaleza es socialmente construida antes que un objeto dado” (Budds, 2009: 419).

Chile ha consolidado un sistema neoliberal de economía por más de treinta años. La privatización de los recursos naturales y de los componentes geográfico-físicos del territorio ha sido un proceso de gran alcance e inédito en comparación con otros países latinoamericanos, como resultado de una política pendular, impuesta por una dictadura y que reaccionó de esta manera frente a los procesos de estatización de los recursos, las tierras y las aguas que había tenido lugar en las décadas de 1960 y 1970. El agua, el territorio, el aire, los climas, la biodiversidad y la belleza escénica han sido “comodificados”, es decir, transformados en medios de producción que se transan libremente en el mercado, al precio que resulta de la oferta y la demanda y restando toda intervención significativa o reguladora del Estado.

Desde 1979 el suelo urbano ha sido considerado un bien no escaso y para ello se han flexibilizado u omitido la acción de los planes reguladores, regionales o municipales, por los cuales los organismos del gobierno determinaban límites urbanos y asignaban los usos del suelo. Si bien desde comienzos de la década de 1990 se ha intentado cierta recuperación del rol del Estado y actualizado algunos de los instrumentos regulatorios, al mismo tiempo se han inventado numerosos nuevos mecanismos que, en lo sustancial, facilitan la urbanización de cualquier territorio en el país. Tal es el caso de los Proyectos o Zonas de Urbanización Condicionada, mediante los cuales es posible construir ciudadelas o grandes urbanizaciones en medio de las zonas rurales, cumpliendo con algunos requisitos mínimos como evitar zonas de riesgos e incluir el tratamiento de las aguas servidas. De esta forma, todas las ciudades del país se expanden ilimitadamente, generándose ganancias gigantescas en quienes especulan con las tierras agrícolas que compran a bajos precios y las urbanizan o intentan hacerlo para obtener altísimas plusvalías. Bajo la aplicación de estos criterios económicos excluyentes, suponer que la autoridad pública o los agentes privados estén pensando en regular sus actuaciones para controlar las emisiones de gases invernaderos o estén dispuestos a proteger áreas verdes al interior y alrededor de las ciudades, o bien a aceptar limitaciones para localizar sus proyec-

tos inmobiliarios, es francamente ingenuo, como lo ha demostrado la experiencia chilena reciente. Sólo movimientos sociales informados y organizados podrían ser capaces de emprender acciones políticas que incidan en la planificación y gestión de los espacios urbanos en forma significativa.

La calidad del aire ha sido otro recurso comodificado en Chile. El país registra importantes concentraciones de contaminantes en sus ciudades. En el Norte, han sido las emisiones mineras las causantes de verdaderos desastres ecológicos y numerosas muertes en los campamentos donde residían sus trabajadores, los que han debido ser abandonados justamente debido a su pérdida de calidad ambiental y los riesgos para la salud. En el centro del país, las emisiones vehiculares y las industrias han contaminado la atmósfera de las metrópolis y las ciudades intermedias, debido a que en Chile predominan las inversiones térmicas, que la estratifican e impiden el desarrollo de mecanismos de turbulencia o depuración del aire. En las ciudades australes es el uso de la leña como combustible de calefacción o para cocinar, especialmente en los hogares más modestos, la principal fuente de emisiones. En todas las regiones del país se registran condiciones de atmósferas saturadas de contaminantes y numerosos efectos adversos sobre la mortalidad y morbilidad que afecta a las poblaciones. Si bien se han dictado normas de calidad del aire que resguarden la salud de la población y de los ecosistemas, son numerosas las violaciones a su cumplimiento y ciudades como Santiago, Copiapó, Coyhaique, Osorno o Temuco deben desplegar planes de descontaminación con escasos recursos públicos. La calidad del aire se ha convertido en uno de los elementos más apreciados por la sociedad urbana y forma parte de la oferta de urbanizaciones y condominios de que disponen los sectores más poderosos, al mismo tiempo que la mayoría de la población debe conformarse con residir en zonas contaminadas.

Además de los mecanismos de comando y control de la contaminación o los planes de descontaminación implementados por los gobiernos, con escaso éxito, se han introducido en el país permisos de emisión transables y compensaciones. Los primeros implican en la práctica la privatización de la columna de aire de las áreas contaminadas, en la medida que las industrias que introducen procedimientos destinados a disminuir o abatir sus emisiones pueden vender su derecho de contaminar el aire a otra empresa que no ha realizado tales mejoras tecnológicas. También las industrias contaminantes que se instalan o amplían sus instalaciones en áreas saturadas, pueden adquirir otras fuentes de emisión (como automóviles viejos) o generar áreas verdes que compensen sus emisiones. Sin embargo, los propios sectores empresariales manifiestan continuamente su descontento con las medidas de comando y control, así como critican su arbitrariedad e ineficacia, llamando a ampliar el uso de mecanismos de mercado, como la tarificación vial o la generación de mayores transacciones.

Lo cierto es que la distribución de la contaminación del aire al interior de las ciudades chilenas se relaciona estrechamente con la condición socioeconómica de

sus habitantes y se transforma crecientemente en un problema sociopolítico. Las mayores concentraciones de material particulado y particulado fino, así como la mayor parte de los gases contaminantes se concentran en las áreas donde residen los habitantes de menores recursos, quienes, en consecuencia, sufren en forma desproporcionadamente alta los efectos adversos sobre su salud y calidad de vida. Las acciones mitigadoras, como presencia de áreas verdes, adecuados equipamientos de salud o vías de tránsito expeditas, se concentran espacialmente en las áreas más ricas y menos contaminadas de la ciudad.

2. Expansión urbana y cambio climático

Desde hace tres décadas, Santiago ha experimentado un explosivo crecimiento de los usos de suelo urbanos, que ha significado duplicar su superficie, pasando de 43.000 has construidas en 1975 a más de 65.000 el año 2005 (Romero et al., 2006). La mayor parte de los suelos de la cuenca del Maipo-Mapocho ha sido ocupada por urbanizaciones de alta y baja densidad y por instalaciones industriales. Las urbanizaciones de baja densidad han sustituido principalmente paisajes naturales cubiertos con vegetación densa y dispersa, localizados en la sección oriental de la cuenca. Por el contrario, las áreas residenciales de alta densidad han ocupado principalmente tierras previamente agrícolas, ubicadas de preferencia en el sector poniente.

La sustitución de áreas agrícolas o naturales por usos urbanos afecta severamente el medio ambiente de la ciudad (Pickett et al., 2001; Withford et al., 2001). Una de las modificaciones más relevantes corresponde a las alteraciones climáticas (Peña y Romero, 2006; Romero y Sarricolea, 2006), que son una consecuencia directa del desaparecimiento de los paisajes naturales y las cubiertas vegetales que regulan las temperaturas superficiales y del aire de la ciudad, produciendo un proceso de calentamiento que localiza islas de calor en el borde occidental de Santiago en las primeras horas del día, que migran hacia el centro al mediodía y que se ubican en esa zona durante las noches.

Las temperaturas urbanas más altas en el suelo y la atmósfera durante las mañanas son registradas en las comunas del NW de Santiago (Quilicura, Colina, Pudahuel y Maipú), mientras en la zona SW, las comunas de San Bernardo y Calera de Tango, mantienen temperaturas menores que son transferidas al centro de la ciudad a través de un corredor formado por el cono de aproximación del aeropuerto de Cerrillos. El resto de la ciudad y particularmente el centro histórico permanece más frío durante la mañana, permitiendo, por comparación con los bordes del poniente, el desarrollo de islas de calor no urbanas. Sin embargo, la situación comienza a cambiar al mediodía, cuando las temperaturas del centro igualan primero, y luego superan a las rurales. Las islas de calor se ubican desde esta hora cerca del centro histórico y las áreas comerciales que lo rodean. Finalmente, la forma típica de la isla

de calor urbana se localiza sobre el centro histórico y puede ser registrada en las noches de verano e invierno.

Existen importantes relaciones espaciales entre los usos y cubiertas de la tierra y las temperaturas del aire de la ciudad y su evolución diaria. Tal como se ha indicado, se desarrollan islas de calor no urbanas en las primeras horas del día, que parecen estar más relacionadas con las cargas de insolación y la presencia de suelos oscuros antes que con la naturaleza de los cuerpos urbanos. Sin embargo, al mediodía, se comienzan a desarrollar micro islas de calor urbano sobre las áreas construidas más notables e impermeabilizadas, tales como los aeropuertos y zonas industriales, que alcanzan las temperaturas más elevadas en el verano (32,5°C). En la noche estas islas de calor se consolidan espacialmente sobre las zonas industriales, aeropuertos y áreas residenciales de alta densidad. Una diferencia promedio de 2°C se registra entre las temperaturas del aire de las áreas residenciales de alta y baja densidad como consecuencia de los diferentes porcentajes de áreas verdes e impermeabilizadas. Las áreas más cálidas y más frías son resultantes de controles socioeconómicos antes que de factores naturales y dependen mayormente de la planificación urbana y, por ende, de decisiones adoptadas por la sociedad.

Honjo et al. (2003) y Elliason (1999) han enfatizado el rol que la vegetación y la impermeabilización juegan en términos del desempeño climático de las ciudades. Ambos factores no sólo controlan la distribución espacial de las temperaturas sino que también explican las diferencias de microescala dentro de zonas urbanas de densidad o usos del suelo similares. En el caso de Santiago, las coberturas vegetales de hasta 40% explican reducciones relevantes de las temperaturas de los espacios urbanos.

Las islas de calor se pueden considerar una degradación ambiental relevante de la calidad ambiental de las ciudades y una de las fuentes más relevantes de cambio climático, tanto al interior de estos espacios como en las regiones que resultan de sus efectos acumulados. No sólo generan el stress térmico que afecta el confort de la población, sino que además facilitan la contaminación fotoquímica de la atmósfera (que afecta a la salud de las personas y los ecosistemas) y la convergencia de las plumas de contaminación hacia las áreas más cálidas de la ciudad. La relación entre el fortalecimiento de las islas de calor urbano y la ocurrencia de ondas de calor en las ciudades es una preocupación creciente (Hoffer et al., 2008).

Los planificadores y los gestores urbanos comparten importantes responsabilidades sobre los cambios climáticos actuales y futuros en las ciudades. Las actuales bajas condiciones de calidad de vida urbana que afectan a la mayor parte de la población de Santiago –disconfort térmico, contaminación atmosférica, enfermedades respiratorias y crónicas relacionadas, riesgos naturales como inundaciones, avalanchas y anegamientos– revelan severas y permanentes fallas en la planificación y gestión de las ciudades chilenas y constituyen un urgente llamado para resolver estos problemas acumulativos.

Las tasas de impermeabilización y las cubiertas vegetales –ambas dependientes de decisiones políticas– deben ser consideradas en la preparación de planes reguladores y adopción de decisiones acerca de las asignaciones de usos de los suelos, densidades urbanas, naturaleza y localización de los parques y áreas verdes urbanos, cinturones verdes y corredores ecológicos, pensando en términos de control climático, mejoramiento de la calidad de vida y mayor equidad social. Como sucede a escala global, los cambios de clima en las ciudades no son un asunto puramente biofísico sino un creciente problema social, cultural y político.

La confección de planes reguladores y territoriales que eviten la generación de las islas de calor o que garanticen el desarrollo de las islas frías al interior de las ciudades no puede depender del mercado inmobiliario. Tales áreas ocupan lugares estratégicos y corresponden a sitios ecológicos sensibles como bordes costeros, humedales o piedemontes, que deben ser considerados de interés público y, por ello, protegidos como áreas de conservación de servicios ambientales. Estas proposiciones son contrarias a las formas y significados de la planificación urbana actual que se aplica en el país, por lo que se requieren profundas reformas institucionales que, a su vez, necesitan de adecuados soportes sociales y políticos.

3. Efectos de la expansión urbana sobre las tasas de impermeabilización y escorrentía

El ciclo hidrológico es uno de los componentes climáticos más relevantes, especialmente en lo que dice relación con la evapotranspiración (traspaso de agua desde las plantas y los suelos hacia la atmósfera que la humidifica y enfría), la infiltración de las aguas de lluvia en los suelos y el escurrimiento de las mismas, aguas abajo. La planificación urbana exige visiones integradas e integradoras del ciclo hidrológico en su totalidad y debido a que en la gestión de los distintos estados del agua participan diferentes grupos sociales, hoy la ecología política sugiere la necesidad de referirse a los ciclos hidrosociales como objetos de análisis.

Debido a su compleja orografía, Valparaíso alcanza extremos niveles de heterogeneidad ambiental, conformando un complejo mosaico de paisajes naturales y culturales, que se explica también por la continua ocupación humana de una serie de cuencas que están formadas por cerros y laderas de mucha pendiente y numerosas quebradas que drenan sucesivos niveles de terrazas de abrasión marina, que pueden alcanzar gran altura, hacia el plan, una terraza inferior plana y angosta donde se ubican las principales funciones y servicios urbanos.

La urbanización de cuencas modifica las Áreas Totales de Impermeabilización (ATIs) o los porcentajes de las superficies de las cuencas que han sido efectivamente sellados por los usos urbanos de los suelos y que finalmente determinan la proporción de las aguas de lluvia que se infiltran en el sitio o que escurren aguas abajo.

Las tasas de impermeabilización varían substancialmente entre aquellas superficies que están completamente cubiertas por vegetación, que infiltran cerca del 100% de las aguas de lluvia, y aquellas áreas ocupadas por zonas comerciales o cubiertas por edificios y áreas residenciales de alta densidad, donde la infiltración es casi nula y el agua debe drenar la zona completamente.

Las tasas de impermeabilización de los diferentes usos y cubiertas de suelos determinan los Coeficientes de Escorrentía (CE), o la cantidad de aguas lluvia que desciende por las laderas de los cerros. El incremento de las TIAs y los CE tiene efectos relevantes en el clima de las ciudades. Bajo los escenarios de ocurrencia de lluvias más concentradas y estacionalmente irregulares, deberían aumentar los riesgos naturales en términos de inundaciones, flujos de sedimentos y remoción en masa, disminuir la recarga de los acuíferos y aumentar el calor disponible debido a la reducción de la evaporación. Adicionalmente y debido a que la urbanización consiste en la sustitución de cubiertas vegetales por áreas pavimentadas y techos y paredes de edificaciones, desaparecen muchos servicios ambientales que controlan el desarrollo de las islas de calor urbano, filtran la contaminación del aire y ofrecen hábitats para las especies silvestres y sitios de recreación a la sociedad urbana.

Las cuencas urbanizadas son un mosaico complejo de mezclas de diferentes usos y coberturas de la tierra. Aunque la urbanización requeriría ser cuidadosamente planeada, la ocupación de cuencas en Valparaíso, y en todas las ciudades chilenas, ha sido, por el contrario, esencialmente espontánea, especialmente por parte de grupos sociales más pobres y vulnerables. Algunos indicadores cuantitativos son requeridos para facilitar la toma de decisiones y para monitorear el desempeño de estos espacios urbanos, particularmente bajo escenarios climáticos de elevada incertidumbre. Las TIAs favorecen la consideración de diferentes tipos de manejo de los usos del suelo debido a que pesan la incidencia de las tasas de impermeabilización de las casas, calles, parques y otros usos urbanos, de acuerdo a la superficie que ocupan al interior de una misma cuenca. Una intensificación de la impermeabilización causada por la construcción de viviendas sociales aguas arriba puede ser compensada por la mayor infiltración que ocurrirá en áreas verdes localizadas aguas abajo. En Valparaíso existen aún grandes cubiertas de vegetación natural en las cuencas. Sin embargo, la continua expansión urbana está progresando ladera arriba, incrementando las TIAs y los CE (Dietz & Clausen, 2007).

La urbanización de la cuenca de Subida Yolanda, por ejemplo, ha aumentado sistemáticamente las áreas totales impermeabilizadas. En 1980 ellas cubrían 22,7% de la superficie de la cuenca. En 1994 había aumentado a 31,1% y en el año 2005, a 45,2%, tornando muy difícil conseguir un verdadero desarrollo urbano sostenible en este paisaje emblemático y típico de Valparaíso y de muchas otras ciudades costeras (Mendonça e Lombardo, 2009; Mendonça y Romero, 2008, Romero y Mendonça, 2009).

Algunas urbanizaciones se han construido en pendientes mayores que 60°, sig-

nificando un importante riesgo social, provocado por situaciones de emergencia –especialmente avalanchas, derrumbes y remociones en masa–, que han ocurrido siempre, matando personas y destruyendo viviendas e infraestructuras. Es importante tener en cuenta que los modelos de escenarios de cambio climático predicen una mayor concentración de las lluvias en esta parte del país. En Valparaíso, bajo condiciones climáticas de tipo mediterráneas, el promedio anual de lluvias es de alrededor de 400 mm que precipitan en 30 días, registrados solamente entre mayo y septiembre.

En Valparaíso ocurrieron 45 situaciones de emergencia asociadas a temporales entre los años 1980 y 2000. De éstos, 27 (60%) se registraron en años de El Niño, 17 ocurrieron bajo condiciones neutrales y tan sólo una lo hizo durante un año clasificado como Niña. Respecto a la intensidad de las precipitaciones y los tipos de inundaciones, se registraron 25 inundaciones graduales y 20 bruscas entre 1980 y 1999. 18 inundaciones graduales y 9 bruscas ocurrieron durante años El Niño.

Algunas inundaciones bruscas ocurrieron con precipitaciones mayores que 100 mm en 24 horas, registrándose la mayoría (11 eventos) en años neutrales. 10 ocurrieron en el mes de mayo, independiente de eventos ENSO. En el año La Niña de 1999, se registró excepcionalmente una inundación gradual en el mes de septiembre.

Más allá de los procesos tendenciales de cambio climático, lo cierto es que las inundaciones en Valparaíso se asocian principalmente a las fluctuaciones climáticas recurrentes, algunas de las cuales corresponden al Fenómeno El Niño. Tratándose de eventos altamente impredecibles y recurrentes, lo más conveniente parece ser incorporar estos niveles de incertidumbre en los planes de desarrollo urbano, protegiendo las áreas naturales e impidiendo la urbanización de los sitios riesgosos, algo que no ha sucedido hasta ahora en forma efectiva.

Las lluvias de mayor concentración deben ser consideradas en la estimación de los Coeficientes de Escorrentía, siguiendo el Método de Curva Número. La precipitación media máxima en Valparaíso para 24 horas se estima en 82,7 mm. La urbanización no planeada y no gestionada adecuadamente ha causado un aumento relevante en el escurrimiento, pasando de 0,23% en 1980 a 0,29% en 1994 y 0,38% en el año 2005. Las razones para comprender por qué Valparaíso sufre más frecuentes y rápidas inundaciones podrían estar relacionadas con el incremento en los coeficientes de escorrentía causados por la urbanización incontrolada de sus cuencas.

Las inundaciones y el incremento en su frecuencia e intensidad están directamente asociadas al aumento de las amenazas naturales, representadas en este caso por las lluvias abundantes y concentradas que provocan los fenómenos El Niño u otros factores. No obstante, en la determinación de las áreas de riesgo, a las amenazas naturales deben asociarse las vulnerabilidades sociales, que dependen de múltiples factores, tales como poder político, acceso a la toma de decisiones y niveles culturales. Los estudios practicados en la Quebrada de Macul, en Santiago de Chile,

han demostrado que los grupos sociales de más altos ingresos pueden habitar sitios de mayor nivel de amenazas naturales, como por ejemplo, lechos de quebradas fluviales o laderas inclinadas del piedemonte andino, pero que al mismo tiempo han conseguido construir medidas de mitigación de crecidas y aluviones, tales como barreras y piscinas de decantación que disminuyen finalmente los riesgos para ellos (Romero et al., 2009). Por el contrario, los sectores de menores ingresos no sólo no disponen de estas medidas de protección, sino que además, por estar ubicados aguas abajo, reciben los mayores caudales que resultan de la urbanización de los terrenos más altos.

En definitiva, los grados, tipos y diseños de las urbanizaciones, que dependen en gran medida de los niveles de ingresos de los habitantes urbanos, determinan el comportamiento del ciclo hidrológico y el nivel de los riesgos siconaturales ante los cambios climáticos al interior de las ciudades, al mismo tiempo que condicionan las inversiones de protección y, consecuentemente, los niveles de vulnerabilidad social. Si las políticas públicas no son capaces de revertir estas injusticias ambientales, los ciclos hidrosociales representarán una dimensión más de las inequidades que caracterizan a las ciudades latinoamericanas.

4. Relaciones espaciales entre las temperaturas urbanas, la contaminación del aire y los niveles socioeconómicos de la población urbana

Se ha mencionado en párrafos anteriores que las islas de calor y las temperaturas de la ciudad de Santiago varían temporal y espacialmente. Las temperaturas son más altas en el borde occidental de la ciudad durante el inicio de la mañana y más frías en las noches. Contrariamente, el centro de la ciudad es más fresco en las mañanas y más cálido en las noches. Comparando ambos sectores de la ciudad, las oscilaciones diarias de temperaturas son mayores en las áreas del poniente. La distribución de las temperaturas del aire se relaciona también con la de la contaminación atmosférica, tomando como ejemplo lo que sucede con el Material Particulado MP10 (aerosoles contenidos en la atmósfera de tamaño menor a 10 micras que son totalmente respirables y dañinos para la salud). Existe una relación logarítmica entre las temperaturas del aire y las concentraciones de MP10 que explica el 86% de su varianza. Las concentraciones nocturnas de MP10 aumentan con las temperaturas, particularmente entre los 19 y 22°C. Eso significa que la contaminación atmosférica se concentra en el centro de la ciudad durante las noches y sobre el borde poniente durante las mañanas.

Un $R^2=0,819$ indica que las temperaturas urbanas se correlacionan fuertemente con la distribución de la población según sus condiciones socioeconómicas. La población de altos ingresos reside en áreas de temperaturas urbanas menores, debido

a que sus casas son de densidad más baja y tienen numerosas áreas verdes en sus alrededores. La clase alta (ABC1) es el único grupo social que puede obtener temperaturas moderadas durante las noches de verano como producto de las amenidades urbanas de sus exclusivos y segregados vecindarios. Las otras clases sociales (C2 y C3) registran temperaturas intermedias y no muestran grandes variaciones. El modelo de correlación logarítmica ha sobrestimado las temperaturas registradas en áreas ocupadas por las clases sociales más bajas.

La calidad del aire, representada por la distribución del material particulado, se relaciona también en forma significativa con las áreas socioeconómicas de la ciudad, tanto en las noches de invierno como de verano ($R^2=0,84$ y $R^2=0,79$, respectivamente). En las noches de verano, cuando la calidad del aire es buena en la ciudad entera, las micropartículas son aún menores en las áreas donde vive la gente rica. Tales condiciones ambientales de las áreas donde reside la gente más afluente de la ciudad, se corroboran en la estación de invierno, cuando la contaminación del aire es el problema ambiental más relevante en Santiago. Durante las noches de invierno, sólo las áreas urbanas donde reside la población de más altos ingresos puede tener una buena calidad del aire. El resto de la ciudad presenta una calidad del aire regular, donde vive la clase media, o definitivamente mala, donde residen las personas de los grupos medios de ingresos bajos y pobres.

Un incremento de las temperaturas urbanas, asociado a valores más elevados de carácter global, por lo tanto, debería acentuar las diferencias entre los diversos sectores sociales de las ciudades, consolidando una auténtica serie de injusticias ambientales, es decir, la sobrecarga de efectos negativos sobre los sectores más desfavorecidos y vulnerables. Entre esas sobrecargas se encuentra la contaminación atmosférica, que ya presenta una distribución espacial totalmente injusta, que se debería agravar en el futuro, afectando en forma desproporcionadamente negativa la salud y calidad de vida de la mayoría de la población de Santiago.

Santiago es una ciudad muy segregada socioeconómicamente y los diferentes grupos sociales han tendido a instalarse en áreas urbanas muy específicas y excluyentes. La población más rica (grupo ABC1) se concentra espacialmente en las áreas del este y noreste, mientras que los sectores más pobres lo hacen en las áreas del W. La clase media se extiende entre ambas áreas, pero desde 1990 se observa un desplazamiento del sector más rico de la clase media hacia áreas tradicionalmente pobres, como consecuencia de la escasez y altos precios de los terrenos del sector oriental.

La contaminación por partículas (ICAP) se relaciona con la distribución socioeconómica de la población. Las concentraciones de MP10 son significativamente más bajas en las áreas donde residen los grupos de mayores ingresos, en el este de la ciudad, y mucho más altas en los sectores del oeste, donde lo hace la mayoría de la población, perteneciente a los estratos de más bajos ingresos.

5. Conclusiones

Los cambios climáticos que afectan a las ciudades se deben tanto a la acción de las transformaciones globales como a su propia construcción. Las islas de calor urbanas deberían magnificar las elevaciones de temperaturas explicadas por el calentamiento global, tornando mayores el stress térmico, la contaminación fotoquímica o las ondas de calor. Todo ello debería estar siendo equilibrado por la mantención de las islas frías, representadas por áreas verdes, campos de cultivos, humedales, accesos a bordes costeros y corredores de ventilación, etc.

Los cambios climáticos afectarán el comportamiento de los climas de las ciudades, los niveles de contaminación atmosférica, la calidad del aire y la ocurrencia de riesgos naturales, tales como las inundaciones y aluviones, pero ello no dependerá sólo de las modificaciones naturales sino que también del acoplamiento de éstas con las acciones sociales, representadas, entre otros elementos, por los planos reguladores de los espacios urbanos. Los instrumentos de ordenamiento territorial deben adquirir necesariamente un carácter estratégico e incluir escenarios distintos a los actuales, como consecuencia de los cambios climáticos. No es posible aceptar que los planes reguladores urbanos ignoren completamente el aumento de las islas y ondas de calor, el incremento de las inundaciones o el empeoramiento de la calidad del aire. Por el contrario, lo que resulta pertinente es la preparación de planes de ocupación de suelos urbanos, diseños de ciudades y usos del suelo que consideren explícitamente el significado de estas amenazas y la necesidad de adoptar medidas de mitigación y adaptación.

Referencias bibliográficas

- Budds, J. (2004). "Power, Nature and Neoliberalism. The political ecology of wáter in Chile". *Singapore Journal of Tropical Geography*, 25 (3), 2004, 332-342.
- Budds, J. (2009). "Contested H₂O: Science, policy and politics in wáter management in Chile". *Geoforum* 40 (2009) 418-430.
- Dietz, M. and Clausen, J. (2007). Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivisión; *Journal or Environmental Management*, doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.026.
- Eliasson, I. (1999). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 48, 31-44.
- Höfer, R. Banzhaf, E. & Romero, H. (2008). Analyzing dynamic parameters for urban heat stress incorporating the spatial distribution of urban structure types. Joint Urban Remote Sensing Event – Shanghai 2009.
- Honjo, T.; Narita, K.I.; Sugawara, H.; Mikami, T.; Kimura, K. and Kuwata, N. (2003). Observation of cool island effects in urban park (Shinjuku Gyoen). XV International Conference on Urban Climates, Varsaw, Sept. 1- 5. Poland.

- Mendonça, M. y Lombardo, M. (2009). El clima urbano de ciudades subtropicales costeras atlánticas: el caso de la conurbación de Florianópolis. *Revista de Geografía Norte Grande* (en prensas).
- Mendonça, M. y Romero, H. (2008). Análise e comparação entre os climas das regiões costeiras de Florianópolis-Brasil e Valparaíso-Chile. Presentado al Octavo Simpósio Brasileiro de Climatología Geográfica.
- Molina, M., Romero, H. y Sarricolea, P. (2007). Características socio ambientales de la expansión urbana de las Áreas metropolitanas de Santiago y Valparaíso. CD de resúmenes Coloquio Del País Urbano a País Metropolitano. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Peña, M. y Romero, H. (2006). Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad y contenido de humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 2005*, 107-117.
- Pickett, S.; Cadenasso, M., and Grove, J. (2001). Urban Ecological Systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of Metropolitan Areas. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32, 127-157.
- Romero, H. y Sarricolea, P. (2006). Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie. Clima, Sociedad y Medio Ambiente: V Congreso de la Asociación Española de Climatología, Sept. 18-21, 2006, Zaragoza, España.
- Romero, H.; Molina, M.; Moscoso, C. y Smith, P. (2006). Cambios de usos y coberturas de los suelos asociados a la urbanización de las metrópolis chilenas. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 194-198.
- Romero, H. y Mendonça, M. (2009). Análisis comparativo de los factores naturales y urbanos de las inundaciones ocurridas en las ciudades costeras de Valparaíso y Florianópolis. Simposio Desarrollo Ciudad y Sostenibilidad, Universidad de La Serena (Chile), 28, 29 y 30 de octubre de 2009.
- Romero, H., Fuentes, C. y Salgado, M. (2009). Dimensiones ambientales y territoriales de la desigualdad y exclusión social en Santiago de Chile. En M. Olavarría (Editor), *Nuevas dimensiones de la inequidad social en Chile*. Santiago: Instituto de Asuntos Públicos de la Universidad de Chile (en prensas).
- Withford, W.; Ennos, A. and Handley, J. (2001). City form and natural process: Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 57, 91-103.

