

CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FACTORES NATURALES Y URBANOS DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN LAS CIUDADES COSTERAS DE VALPARAÍSO Y FLORIANÓPOLIS*

Hugo Romero** y Magaly Mendonça***

I. INTRODUCCIÓN

La Geografía Ambiental ha retomado las intenciones permanentes de esta ciencia por integrar en sus análisis las complejas relaciones entre los atributos de la sociedad y la naturaleza y de esta manera recomponer su unidad disciplinaria, constantemente amenazada por las divisiones entre sus ramas físicas y humanas (Castree *et al.*, 2009; Demeritt, 2009). Esta integración es particularmente importante para analizar los problemas ambientales que se observan a diferentes escalas espaciales y temporales y se presta para ser lograda en el estudio de los llamados riesgos naturales, que como se acepta hoy, comprenden amenazas y peligros provocados por las dinámicas de los procesos naturales y vulnerabilidades causadas por problemas sociales e institucionales (Blaikie *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2010 a; Romero *et al.*, 2010 d).

* Proyecto de investigación financiado por iniciativa milenio NS 100022 Del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile y por el Fondo de Ciencias y Tecnología de Chile (FONDECYT) 1100657.

** Departamento de Geografía y Centro Milenio de Vulnerabilidad y Desastres Socio-ambientales de la Universidad de Chile, Santiago de Chile.

*** Departamento de Geociencias de la Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, Beca Postdoctoral CAPES.

Los riesgos naturales, como inundaciones, derrumbes, sequías o aluviones que afectan a las ciudades latinoamericanas parecen haber aumentado en los últimos años y se ha sugerido que ellos continuarán acrecentándose en la medida que se concreten en el mediano plazo los escenarios de cambio climático (Blaikie *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2010e). Mientras en la actualidad se emplea el concepto de cambio climático para intentar explicar las miles de víctimas y enormes daños y destrucción que causan anualmente los desastres naturales sobre las ciudades, otras veces dichas explicaciones han estado asociadas a la ocurrencia de los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur), cuyas secuencias de años de El Niño y La Niña se han tornado familiares para referirse a sus causas. Aunque en las décadas de 1970 se estimaba que estos complejos fenómenos de perturbación de las condiciones del océano y la atmósfera del Pacífico Sur implicaban sólo a la costa Oeste de Sudamérica, con posterioridad se observó que abarcaban la totalidad del continente y que sus teleconexiones debían tener en cuenta lo que sucedía también con los sistemas climáticos del Noreste de Brasil, la Cuenca del Amazonas o el Altiplano Andino (Mendonça, 2010; Mendonça y Romero, 2010). A fines de los años noventa, dichas explicaciones terminaron por cubrir todo el planeta, antes de que los discursos fueran reemplazados por los de cambio climático.

Sin embargo, los cambios y variabilidades climáticas han afectado desde siempre a las regiones latinoamericanas, debiéndose por ello tener en cuenta que para que se registren desastres no sólo deben ocurrir eventos climáticos extraordinarios en ciertos lugares que se presentan como amenazas naturales, sino que también deben ser consideradas las vulnerabilidades de la población que habita estos lugares (Mendonça, 2010). Dichas vulnerabilidades están construidas por diversos factores de tipo social, cultural, económico, político e institucional y se ven reflejados en las formas y tipos en que se realiza la planificación, diseño y construcción de las ciudades (Romero *et al.*, 2010b). La falta de planificación urbana, de ordenamiento territorial y de respeto por sus indicaciones y restricciones territoriales, el desconocimiento de la dinámica de los fenómenos de la naturaleza, la segregación socio-espacial y socio-ambiental de los habitantes de las ciudades, la debilidad de sus instituciones de control y la ignorancia con que se actúa para desarrollar áreas urbanas, contribuyen a la generación de las condiciones necesarias para que todos los años se deba contabilizar una larga y creciente lista de afectados y damnificados.

Este trabajo pretende demostrar que las ideas prevalecientes sobre cambio climático pueden ser erróneas en la medida que asumen que se trata de tendencias lineales y paulatinas de aumento o disminución de las precipitaciones y las temperaturas, que permitirían el establecimiento gradual de medidas de adaptación y resiliencia de las sociedades locales bajo la dirección de gobiernos inspirados en el bienestar común y responsables de la protección y seguridad de las poblaciones humanas (Nelson, 2010; Romero, 2010). Por el contrario, podría suceder que los fenómenos atribuidos al cambio climático se presentaran como eventos extremos tales como lluvias y tormentas intensas, ondas de calor y de frío (Hoffer *et al.*, 2008; Mendonça y Romero, 2010; Romero y Mendonça, 2011), sequías e inundaciones, que amenazan constantemente a las sociedades locales, dirigidas por sectores hegemónicos que imponen decisiones en beneficio de sus propios intereses y no en función del bienestar colectivo. En todos los casos, se requiere de estrategias permanentes de mitigación y adaptación que deben tener en cuenta las vulnerabilidades socioeconómicas (Mendonça, 2010) en la adopción de medidas destinadas a distribuir socialmente (territorial y espacialmente) los riesgos y su aversión. Sin embargo, forzoso es reconocer que en las ciudades latinoamericanas, los riesgos “naturales” se distribuyen también de acuerdo a los patrones geográficos de segregación socioambiental de los habitantes urbanos (Romero *et al.*, 2010c; Fuentes y Romero, 2010; Romero y Opazo, 2011) y por ello, la gravedad y frecuencia de sus ocurrencias se relacionan directamente con las características de los espacios construidos, por ejemplo, en términos de densidades habitacionales, infraestructuras de mitigación y control de inundaciones, superficies cubiertas por áreas verdes y calidad de los equipamientos urbanos. La planificación de los territorios, medio ambientes y espacios urbanos —o más bien su carencia o escaso poder normativo— no ha sido capaz de incorporar los riesgos en forma clara y explícita en los planes de ordenamiento territorial ni mucho menos de contemplar efectivamente la instalación de las poblaciones más vulnerables en sitios realmente seguros, de distribuir socialmente las amenazas y riesgos y de generar zonas de protección, refugio y alivio frente a la ocurrencia de eventos climáticos extremos (Romero, 2010).

Como una forma de avanzar en una perspectiva de integración del conocimiento sobre problemas geográficos que conforman comunalidades que afectan a la totalidad de la región latinoamericana, este trabajo presenta en forma comparativa las observaciones y análisis realizados en dos conurbaciones de tamaño medio, Florianópolis y Valparaíso, localizadas en latitudes subtropicales rela-

tivamente semejantes, pero en las zonas costeras Atlántica y Pacífica, respectivamente. Se intenta conocer y caracterizar las fluctuaciones climáticas de corto y mediano plazo para disponer de antecedentes que permitan contrastarlos con las tendencias de largo plazo, que obedecerían al proceso de cambio climático propiamente tal (Mendonça y Romero, 2011; Mendonça y Romero, 2008; Mendonça, 2010). Igualmente se consideran transformaciones ambientales directamente asociadas al crecimiento y complejización de las tramas urbanas de ambas ciudades, tales como los cambios de las tasas de impermeabilización. El propósito es permitir la evaluación comparativa de los procesos que pueden estar asociados prioritariamente a las transformaciones de la naturaleza o bien a las inadecuadas intervenciones sociales e institucionales.

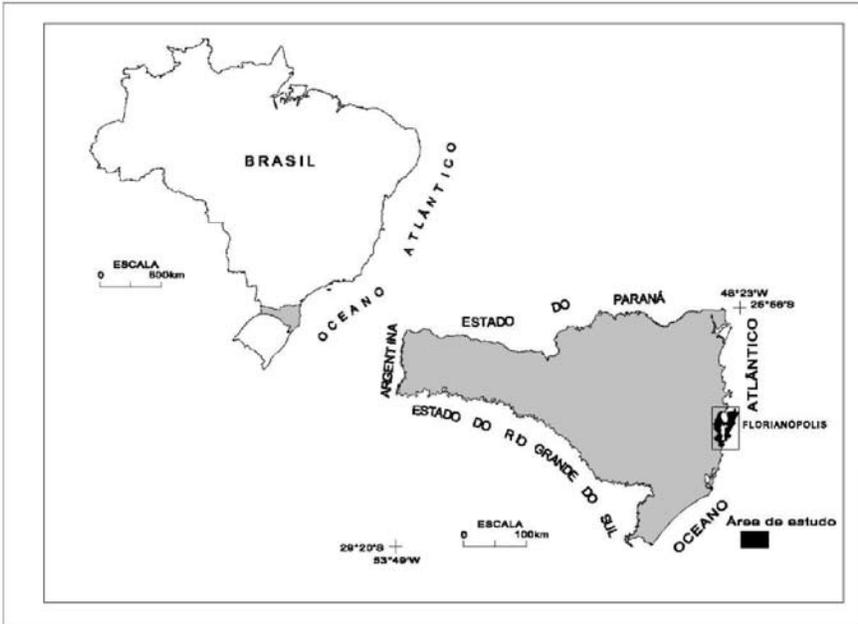
II. Factores naturales

El Centro-Sur Atlántico de Suramérica, dónde se localiza Florianópolis (la ciudad capital del Estado de Santa Catarina, Fig. 1), se encuentra entre las regiones del mundo más afectadas por tormentas severas. En esto se distingue de Valparaíso, ya que en el primer caso la frecuencia de ocurrencia de tormentas severas alcanza más de 20% del total global, mientras que en el segundo, no supera el 3% (Petterssen, S., 1968, apud Vianello y Alves, 1991).

Ambas costas son montañosas. La catarinense está formada por secuencias paralelas de montañas orientadas N-S, con descenso altimétrico en la dirección a la costa atlántica (Rosa y Herrmann, 1986). Las mayores elevaciones alcanzan los 915 m y la altitud media es inferior a 300 m. Entre las elevaciones montañosas se presentan planicies costeras originadas de procesos marinos, aluviales y coluvio-aluvionales, que varían de 5 a 20 m de altitud desde el litoral al pie de las vertientes y aluviones subactuales (Herrmann, 1999).

La ciudad de Valparaíso se sitúa en una sucesión de terrazas de abrasión marina y de montañas de la Cordillera de la Costa, que caen al Océano Pacífico a través de numerosas laderas y valles (Fig.2). La terraza más baja conforma un área casi plana que se eleva desde el mar al interior. El primer plan urbano de la ciudad limita abruptamente con los taludes de una terraza superior que oscila aproximadamente entre 120 y 170 m de altura. Esta terraza intermedia tiene anchura variable y se encuentra limitada por un nuevo talud que aumenta sistemática y rápidamente de altura hasta alcanzar los 400 m, donde se establece

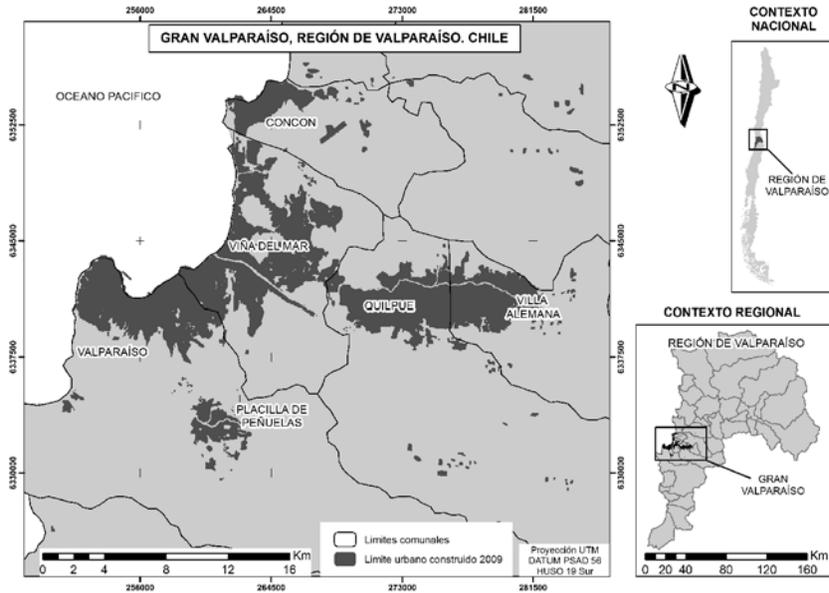
Figura 1. Localización de Florianópolis. Elaboración del Laboratorio de Geoprocessamento del Departamento de Geociencias de la Universidad Federal de Santa Catarina.



una nueva terraza, generalmente más amplia y plana. Las terrazas son drenadas por numerosos cauces o quebradas, que transportan agua y sedimentos desde los sectores altos, conformando una sucesión de cuencas y subcuencas que fragmentan las superficies, segregando los interfluvios.

En la región de Valparaíso las laderas y los valles interrumpen y facilitan, respectivamente, la circulación regular de los vientos y las brisas del mar, lo que también ocurre en Florianópolis, donde las áreas elevadas están unidas por planicies costeras. La costa atlántica es calentada por la corriente de Brasil cuyas aguas registran un promedio de 24° C, mientras que el lado del Pacífico es bañado por la corriente de Humboldt, que transporta aguas de origen antártico, cuya temperatura media anual no sobrepasa 14° C (Mendonça y Romero, 2008).

Figura 2. Localización de Valparaíso.



Fuente: elaboración propia.

Sobre las sierras costeras catarienses aún se encuentran remanentes del bosque ombrófilo denso (Mata Atlántica), en los puntos de mayor pendiente. En muchos cerros de la región, la vegetación secundaria en avanzado estado de regeneración ocupa espacios antes dedicados a la agricultura. Las planicies cubiertas por formaciones pioneras (vegetación de playas, dunas y manglares) fueron por mucho tiempo utilizadas para prácticas agrícolas, que en las últimas décadas vienen siendo sustituidas por la ocupación urbana, repoblaciones forestales con pinos, cultivos de arroz, pastos o vegetación nativa en recuperación (PBDEE, 1996). Parte de la vegetación nativa es protegida por la declaración de sus áreas como unidades de conservación ambiental, pero aún son objeto de actividades inadecuadas. En Valparaíso las laderas y valles se encontraban cubiertos originalmente por matorrales y bosques mediterráneos templados de tipo esclerófilo, especialmente adaptados a la aridez del verano y frío del invierno. Sin embargo, con la expansión urbana, las superficies impermeabilizadas han sustituido las

áreas de vegetación natural densa y dispersa, aunque existen algunos remanentes en los lechos y laderas de quebradas (Romero *et al.*, 2010a).

Ambas regiones poseen climas influenciados por la penetración, actuación y choque de las masas de aire polares y tropicales, favorecidos o limitados por la actuación de los centros de altas presiones o anticiclones. En la latitud de Valparaíso, correspondiente a los 33°S, domina el anticiclón subtropical del Pacífico Sur, mientras que en Florianópolis, localizada a 27°S, se alternan el anticiclón subtropical atlántico y el migratorio polar. La actuación del Frente Polar se registra durante todo el año en la región de Florianópolis y solamente en el invierno en Valparaíso, regulando en ambas ciudades el monto y el ritmo de las precipitaciones que, por lo tanto son pre-frontales, frontales y post-frontales. En la región de Valparaíso las lluvias son causadas exclusivamente por el pasaje del Frente Polar en el otoño-invierno (mayo-agosto), que se disloca de latitudes templadas australes y que nunca excede los 30° S al desplazarse hacia el norte. Esto se diferencia suficientemente de la costa atlántica, donde los frentes alcanzan latitudes intertropicales.

Bajo clima mediterráneo templado seco, la precipitación media anual de Valparaíso es de 450 milímetros, que ocurren en un número de días que no sobrepasa los treinta por año. Las lluvias pueden ser torrenciales, causando inundaciones y derrumbes. Como consecuencia de que la ciudad esté instalada en las laderas, cauces fluviales y conos aluviales de innumerables subcuencas, toda su historia registra desastres naturales, especialmente inundaciones de las tierras bajas, avalanchas de lodo y derrumbes de laderas. Para su control, en vez de adoptar sistemas de manejo integrado de cuencas fluviales, se optó por construir un complejo sistema de drenajes subterráneos que implicó entubamiento de cauces y su reemplazo en superficie por calles y avenidas. La mantención de la fluidez de estos drenajes semi artificiales requiere la extracción de sedimentos en sus lechos y dragado en el mar con anticipación a la estación de las lluvias, lo que se ve cada vez más difícil dada la continua expansión de los espacios urbanos hacia las partes más altas, con la consiguiente impermeabilización de los suelos y deforestación. De allí que mientras en la mayor parte de la historia de la ciudad, las inundaciones afectaron las tierras bajas, en la actualidad se localizan preferentemente en las laderas más elevadas, de urbanización más reciente.

En la región de Florianópolis llueve durante todo el año, pero las lluvias del verano son más intensas y torrenciales. En esta estación ocurren las lluvias con-

vectivas, asociadas al calentamiento del continente y del océano. El promedio anual de precipitación en el período 1925-1995 fue de 1.493 milímetros, de los cuales 526 mm (el 35%) cayeron en el verano (enero- marzo) y 288 mm (el 19%) en el invierno (julio-septiembre). En la región de Florianópolis llueve entre 5 y 10 días por mes y el promedio mensual varía entre 100 y 150 mm (Herrmann, 1999). En el análisis de frecuencia de lluvias realizado para el período referido, Herrmann (1999) verificó que los días con precipitaciones superiores a 200 mm fueron apenas el 2% del total de días de lluvia, mientras que el 42% de los casos registró precipitaciones en la franja entre 25 y 49 mm de lluvias caídas en 24 horas. Analizando los datos de dichos 25 años, la referida autora concluyó que no es necesaria la ocurrencia de un índice pluvial excepcional para promover inundaciones y deslizamientos en las áreas urbanizadas de la región conurbada de Florianópolis. Verificó también que los totales diarios inferiores a 40 mm, antecedidos por días lluviosos, o en torno de 40 mm concentrados en pocas horas, antecedidos por días secos, fueron suficientes para la ocurrencia de inundaciones moderadas y deslizamientos de tierras localizados.

En ambas costas, en años de El Niño puede llover el doble del promedio anual, así como en los de La Niña o neutrales, las precipitaciones se pueden reducir a la mitad o menos del promedio. En Florianópolis, en el año menos lluvioso de 1964 (La Niña) el total registrado fue 823.8 milímetros, con el porcentaje mayor caído en la primavera; mientras que en el año lluvioso excepcional de 1983 (El Niño), el total fue de 2.598,5 milímetros, con el porcentaje mayor en el invierno (Herrmann, 1999). En Valparaíso, en el año Niño de 1997 se registró un total de 1.225,4 mm mientras que en el año neutral de 1990 sólo cayeron 142,8 mm de lluvia, siempre únicamente en los meses de invierno.

III. LOS FACTORES URBANOS

En Valparaíso hasta 1960, las dificultades de la habitabilidad, derivadas de las abruptas pendientes y de la altura creciente de los sitios urbanizables situados sobre los cerros, terminaron por impedir el abastecimiento de agua potable y dificultar la accesibilidad. Por ese motivo, la expansión urbana se dirigió especialmente hacia las ciudades vecinas de Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana, que capitalizaron el crecimiento de las últimas décadas, contribuyendo a generar un área metropolitana conurbada (fig.3). Aun así, Valparaíso continuó

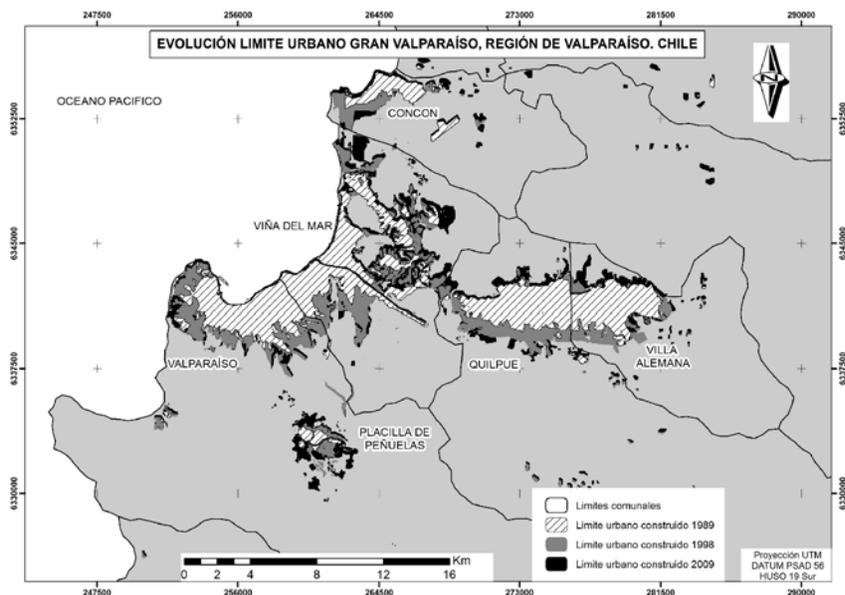
escalando las laderas de los cerros, bajo condiciones difíciles de habitabilidad. En los últimos años se verificó también, como en la totalidad de las ciudades chilenas, el apareamiento de ciudades islas o suburbanizaciones, como sucedió en Concón en el litoral norte, o Placilla de Peñuelas en el interior.

Desde hace tres décadas el Gran Valparaíso, formado por la ciudad original y áreas urbanas conurbadas, ha experimentado un explosivo incremento urbano, aumentando su superficie construida desde 5,800 a 14,100 Ha. entre 1975 y 2004. En el caso específico del área urbana de la ciudad de Valparaíso, la expansión implicó la ocupación de terrenos más altos y en sitios de mayor inclinación. Los usos urbanos de los suelos sustituyeron superficies naturales, tales como espacios abiertos o cubiertos con vegetación densa y dispersa y cultivos. El cambio de las coberturas naturales por espacios construidos generó una serie de impactos sobre el medio ambiente de la ciudad (Pickett *et al.*, 2001; Withford *et al.*, 2001, Sandoval y Romero, 2010). Uno de los principales impactos correspondió a los cambios y desequilibrios climáticos causados por la urbanización, con la creación de islas y micro-islas (a una escala más local) de calor urbano (Romero *et al.*, 2008). La pérdida de espacios naturales y particularmente de zonas vegetadas produjo no sólo una reducción en la capacidad de regulación de las temperaturas atmosféricas en la ciudad, sino que también disminuyó los coeficientes de intercepción de las lluvias y de infiltración de las aguas en el suelo y, consiguientemente, produjo un aumento en la escorrentía y con ello, de los riesgos de inundación (Romero *et al.*, 2009).

Hasta la década de 1970, el proceso de urbanización de la región de Florianópolis estuvo caracterizado por una serie de núcleos urbanos con concentraciones bajas de población. Sólo la ciudad de Florianópolis presentaba una población urbana superior a la rural en 1960. A partir de entonces, el desarrollo de la red vial se constituyó en factor de concentración espacial, que privilegió los flujos de transporte entre centros urbanos y una modernización industrial junto a los ejes viales, en torno de los cuáles se desarrollaron otros municipios (São José, Biguaçu e Palhoça) (Peluso Jr., 1991). La población urbana registrada en 1970 se había más que duplicado en los municipios vecinos que hoy comprenden la conurbación. En 1980 ya había superado a la rural, habiendo crecido en torno al 30% cada 10 años.

En Florianópolis la instalación de órganos gubernamentales estatales y federales y una extensa red de servicios fueron los verdaderos inductores del

Figura 3. Expansión espacial de la ciudad de Valparaíso entre 1989 y 2009.



Fuente: elaboración propia.

crecimiento de la población. Este crecimiento se reflejó en una nítida expansión del sector inmobiliario, con el inicio de una acelerada verticalización del centro histórico de la ciudad en la década de 1970 y la diseminación de las funciones centrales para las demás áreas de la región a partir de la década de 1980 (Peluso Jr., 1991). La implantación de un distrito industrial en las márgenes de la autopista federal costera y los incentivos fiscales al sector industrial en el municipio de Palhoça atrajeron a la población de los pequeños municipios a la región conurbada, donde los demás municipios crecieron a tasas superiores al 4%, casi el doble que Florianópolis (Mendonça y Lombardo, 2009).

Actualmente la expansión urbana alcanza a toda la región, principalmente los balnearios, en función de las inversiones gubernamentales en actividades de turismo y empresas de tecnología que desarrollan sistemas informatizados para mercados como la industria de construcción, sector de transporte y administración pública. Junto con el turismo, éste es uno de los principales sectores de

desenvolvimiento económico de la región, atendiendo el 40% del mercado catarinense y con algunas empresas actuando en el mercado nacional y del exterior, principalmente países de América Latina (ACATE, 2008).

Es difícil cuantificar el crecimiento de la ciudad de Florianópolis, debido a que éste ha ocurrido sistemáticamente por la incorporación de áreas marinas mediante rellenos. Estos rellenos han sido adicionados a la ciudad desde el siglo XIX, principalmente en la Isla de Santa Catarina, que forma la mayor parte del municipio de Florianópolis, para la implantación de la infraestructura vial. Limitado entre el mar y el macizo central, el distrito sede de Florianópolis se expandió con la construcción de edificios de 12 pisos que sustituyeron las construcciones coloniales con sus calles estrechas y ocuparon las antiguas granjas de sus alrededores. Por ser la capital del estado, Florianópolis representa un modelo de ocupación urbana de los suelos para la región, lo que implica la concentración del espacio construido, la verticalización de las edificaciones y la sustitución de la vegetación y de los espacios abiertos (dunas, manglares, planicies inundables) por áreas impermeabilizadas, sea por la construcción de edificios, campos deportivos cementados o vías y estacionamientos para vehículos particulares (Mendonça y Lombardo, 2009).

Valparaíso también requirió de extensos rellenos sobre áreas marinas para poder acoger sus funciones centrales y portuarias desde el siglo XVIII, así como para poder conectar sus sectores oriente y poniente, hasta entonces divididos por acantilados rocosos que caían directamente al mar. La consolidación del borde costero se realizó en varias etapas, especialmente entre 1848 y 1885, hasta cubrir 14.7 ha. (Delgado, 2010).

La valorización del suelo dada por la concentración de la infraestructura en el distrito sede de Florianópolis y la mejoría de la conectividad con los balnearios cercanos desplazó a la población pobre hacia los cerros degradados por años de cultivos y extracción de madera y leña (Caruso, 1983), además de la ocupación de las planicies inundables, principalmente en los municipios vecinos. Políticas públicas habitacionales promovieron la construcción de diversos conjuntos residenciales populares, financiados por el Estado en las márgenes de los ríos, en áreas de inundación y laderas inclinadas (Herrmann *et al.*, 1993). Valparaíso y Florianópolis se localizan sobre áreas orográficamente complejas y ambas ciudades experimentan procesos acelerados de crecimiento espacial y conurbación, en parte debido al auge del turismo y a la construcción de segundas residencias y en parte por la creciente segregación socio-espacial de sus habitantes.

Las transformaciones de las estructuras y funciones urbanas de Florianópolis y su región han resultado en una valorización de los espacios urbanos de modo que la población más rica vive en los centros de las ciudades y balnearios, especialmente en la isla de Santa Catarina. Valparaíso, por el contrario, ha sido paulatinamente abandonada por la población rica y por los turistas, que emigraron y se instalaron, respectivamente, en la vecina y conurbada ciudad de Viña del Mar (Mendonça y Romero, 2008).

IV. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Las inundaciones pueden ser clasificadas como graduales o bruscas. Las graduales obedecen a la ocurrencia de períodos de lluvias continuas, con subida y descenso lento de las aguas de escurrimiento, que mantienen su caudal elevado durante un cierto tiempo (Castro, 2003). Las inundaciones graduales se asocian al proceso de urbanización en función de la impermeabilización de las tierras, que sobrecargan los sistemas de drenaje, generando episodios más frecuentes (Tucci *et al.*, 2003).

Las inundaciones bruscas se manifiestan como subidas repentinas y violentas del nivel de los caudales de los cauces, provocando el desbordamiento de las aguas que fluyen rápidamente (Castro, 2003). La urbanización favorece las inundaciones bruscas, aún con totales bajos de precipitación (Herrmann y Mendonça, 2007).

Las inundaciones ocurridas en la región de Florianópolis han sido inventariadas por Herrmann y colaboradores (1999, 2001, 2006) sobre la base de informes de evaluación de daños, preparados por la oficina estatal de Defensa Civil de Santa Catarina. Aunque otros acontecimientos pueden haber causado inundaciones, los aquí analizados han sido reconocidos y registrados oficialmente por la autoridad y clasificados como Calamidad Pública y Situación de Emergencia. La Calamidad Pública significa una situación anormal, provocada por desastres naturales que causan daños serios a la comunidad afectada y a la vida de sus integrantes. La Situación de Emergencia implica que los daños reales son superables y soportables por la comunidad, que, a pesar de ser afectada, puede volver a tomar rápidamente el cotidiano de la normalidad. El reconocimiento de cada uno de estos estados garantiza la ayuda financiera gubernamental para las ciudades afectadas.

Las inundaciones ocurridas en Valparaíso han sido tomadas de publicaciones especializadas (Urrutia y Lanza, 1993), seleccionando el período 1980-2000. La mayor parte de los datos se refieren a la estación meteorológica de Punta Ángeles (33°01'S y 71°38'W) y unos pocos a las estaciones Faro Curaumilla (33°06 'S y 71°45 ' W), Parque Fauna Viña de Mar y Marga-Marga (33°05 'S y 71°24' W). Para la estación Punta Ángeles se han considerado las precipitaciones diarias registradas cada mes, lo que permitió la clasificación de la ocurrencia de inundaciones bruscas cuando las lluvias fueron superiores a 30 mm en 24 hrs. y de inundaciones graduales cuando se registró un período de lluvias de más de tres días.

Durante la investigación, se tuvo acceso a por lo menos dos tipos de escalas cronológicas de registro de la ocurrencia del fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación Sul), disponibles en el Centro de Previsión de Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC, 2009), y el Índice Oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de la Administración del Océano y la Atmósfera de Estados Unidos (NOOA). Se optó por la clasificación de la NOAA para la identificación de la situación global del año y del mes de ocurrencia del acontecimiento. Esta clasificación considera como acontecimiento ENOS el límite $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para la anomalía de la temperatura de la superficie del mar de la región Niño 3.4, observado por lo menos por cinco trimestres (NOOA, 2011).

Respecto a los cambios urbanos, se procesaron imágenes satelitales LANDSAT TM disponibles para los años 1986 y 2009 para la ciudad de Florianópolis y de 1989, 1998 y 2007 para la ciudad de Valparaíso. Mediante fotointerpretación de las imágenes se establecieron los cambios en los principales usos y coberturas de los suelos causados por la urbanización, y a través de éstos, los cambios en las tasas de impermeabilización de las cuencas urbanizadas.

V. INUNDACIONES EN FLORIANÓPOLIS Y VALPARAÍSO

En Florianópolis se registraron 54 eventos de inundaciones entre 1980 y 2008, mientras que en Valparaíso ocurrieron 45 situaciones de emergencia asociadas a temporales entre los años 1980 y 2000. De éstos, en Florianópolis 23 episodios (45% del total) tuvieron lugar durante eventos El Niño, mientras que en Valparaíso 27 (60%) se manifestaron bajo condiciones similares. En Florianópolis, 14 eventos se desarrollaron en años La Niña y 17 bajo condiciones neutrales.

En Valparaíso sólo uno ocurrió en año La Niña y 17 tuvieron lugar en años neutrales.

Respecto a la intensidad de las precipitaciones y los tipos de inundaciones, en Florianópolis 25 fueron graduales y de ellas, tres produjeron Estados de Calamidad Pública en 1991 y 1995, afectando la conurbación en su totalidad. En noviembre de 1991 se registraron 404.8 mm en 24 horas, para un mes cuyo promedio alcanza los 132.4 mm. En diciembre de 1995 se registraron 411.9 mm en 24 horas y 685.0 mm en cinco días seguidos.

Del total de los eventos de Florianópolis, 29 correspondieron a inundaciones bruscas (*flash floods*) y de éstas 23 tuvieron lugar bajo El Niño, 17 bajo condiciones neutrales y 14 sucedieron durante años La Niña.

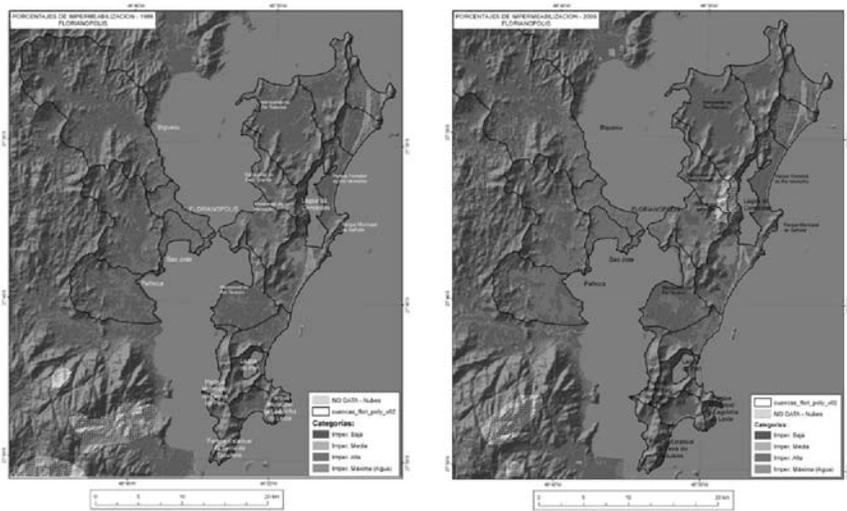
En Valparaíso se registraron 25 inundaciones graduales y 20 bruscas entre 1980 y 1999. 18 inundaciones graduales y 9 bruscas ocurrieron durante años El Niño. Algunas inundaciones bruscas ocurrieron con precipitaciones mayores que 100 mm en 24 horas, registrándose la mayoría (11 eventos) en años neutrales. 10 ocurrieron en el mes de mayo, independientemente de eventos ENSO. En el año La Niña de 1999 se registró excepcionalmente una inundación gradual en el mes de septiembre.

En Florianópolis las inundaciones han sido causadas por el paso de frentes fríos aislados o en asociación con sistemas convectivos y orográficos, por lo que se han registrado durante todo el año. Por el contrario, en Valparaíso las mismas son causadas exclusivamente por el desplazamiento de sistemas frontales polares concentrados en otoño e invierno.

En el caso de la región de Florianópolis, cuando la circulación general del Pacífico influye en el debilitamiento de los sistemas frontales, se estimula la advección tropical de modo que 44 inundaciones fueron registradas en primavera y verano, especialmente entre los meses de diciembre y marzo, sin importar la ocurrencia de eventos ENSO.

Respecto a los cambios en las tasas de impermeabilización, en el caso de Florianópolis no fue posible advertir tendencias claras que manifestaran la influencia de la urbanización en la ocurrencia de inundaciones. Ello se debe a la baja resolución espacial de las imágenes satelitales (Fig. 4), al hecho de que la superficie se encuentre mayormente cubierta por vegetación (lo que evita el aumento de los coeficientes de escorrentía) y, por último, a que en muchos casos y como se ha indicado, la expansión urbana ha procedido a través del relleno de espacios marinos.

Figura 4. Cambios en las tasas de impermeabilización en la región de Florianópolis entre 1986 y 2009.



Fuente: elaboración propia.

Mientras tanto, la población de Florianópolis aumentó en 49% entre 1960 y 1980, cuando se inició el registro sistemático de las inundaciones. Este último año Florianópolis ya registraba 352.41 hab/km², densidad que alcanza actualmente a cerca de 671 hab/km² (IBGE, 1960 y 2011). Observando la evolución de la mancha urbana (Fig. 4) es posible notar la intrínseca relación entre la urbanización y las inundaciones, que a partir de los años 80, se tornaron casi anuales, con hasta más de una por año; todas registradas por la organización de Defensa Civil (Herrmann, 1999, 2001, 2006). Estas inundaciones paralizaron principalmente los transportes terrestres, causaron deslizamientos de laderas, desplazamientos de edificaciones, provocaron damnificados, muertos y millares de afectados. Los eventos pluviales intensos se constituyeron en unos de los más importantes problemas ambientales, debido a las repercusiones socio-económicas que poseen. Las intervenciones urbanas se expresan, además de la densificación de las construcciones, por los cortes y rellenos para la ampliación de las redes viales, rectificación y angostamiento de los canales fluviales, desvío

y formación de barras de los ríos, entre otras obras de ingeniería localizadas para enfrentar problemas puntuales. Las inundaciones en general, han afectado áreas específicas de la ciudad, que son ocupadas a pesar de los riesgos conocidos y con la complicidad de los órganos públicos. Entre estas áreas se encuentran laderas muy inclinadas y degradadas y planicies de inundación, donde la densidad de construcciones y demográfica es elevada, carente de infra-estructura y donde vive principalmente la población más pobre (Mendonça, 2010). Ante las inundaciones de septiembre de 2011, que causaron grandes problemas en todo el Estado de Santa Catarina, el alcalde de Florianópolis declaró que uno de los barrios de clase media-alta, actualmente con gran expansión del comercio y servicios sofisticados, que está situado en una planicie de inundación marina, “es un ejemplo de cómo obras de macrodrenaje pueden resolver la situación”. Sin embargo, otros puntos del norte y sur de la Isla de Santa Catarina fueron inundados afectando 800 personas según la Defensa Civil (PMF, 09/09/2011).

En Valparaíso, se puede advertir que las áreas de bajas impermeabilización ubicadas al interior y alrededor de la ciudad, han disminuido de 68 mil a 59 mil hectáreas entre 1989 y 2007 y más notablemente, que las superficies de alta impermeabilización han aumentado de 1500 a 9100 hectáreas en ese mismo lapso de tiempo. Ello ratifica informaciones anteriores disponibles para las cuencas de Avenida Francia, Yolanda y Miraflores (Romero *et al.*, 2008) y se puede considerar como un impacto directo de la urbanización sobre los balances hídricos y la acentuación de las inundaciones.

VI. CONCLUSIONES

Las inundaciones que se han registrado en Florianópolis y Valparaíso han ocurrido indistintamente durante años que correspondieron a eventos El Niño, la Niña y neutrales, aunque es innegable que su frecuencia e intensidad han sido mayores durante los primeros. La condición climática se manifiesta a través de una alta irregularidad pluviométrica, que puede verse acentuada como consecuencia de los escenarios de cambio climático. El período de cerca de 30 años analizados no permite caracterizar cambios relacionados con la dinámica atmosférica que se relacionen con variaciones sistemáticas de las precipitaciones o las temperaturas. Los eventos de inundaciones registrados fueron causados por precipitaciones abundantes y persistentes durante días, semanas o meses,

predominando los primeros en Valparaíso y los últimos en Florianópolis. En algunos casos estos períodos húmedos ocurrieron con posterioridad a condiciones con bajas o nulas precipitaciones.

Lo que se ha podido constatar es un aumento de la frecuencia de las inundaciones y de los daños a la población, lo que estaría relacionado tanto con el aumento de las superficies construidas y de las superficies impermeabilizadas, como con la ocupación urbana de áreas de riesgo, como planos de inundación y laderas cada vez más inclinadas.

La utilización de terrenos inclinados, algunas veces en forma planeada y en la mayoría de los casos de manera irregular, para dar cuenta de las necesidades de habitación de los sectores más pobres de la población, se ha llevado a cabo en forma improvisada, sin la debida gestión de los terrenos ocupados, correspondientes muchas veces a microcuencas dinámicas, sin la debida construcción de defensas contra el escurrimiento concentrado que provoca erosión, movilización de sedimentos y colmatación de canales de drenaje, lo que pone en riesgo de deslizamiento a las áreas elevadas así como el represamiento de las barreras de protección. El colapso inevitable de estas últimas ha sido responsable de las peores inundaciones y avalanchas sobre las planicies, impermeabilizadas a su vez por las edificaciones, que muchas veces incluso ocupan los mismos lechos de inundación de quebradas y arroyos.

La variabilidad climática interanual ha sido más bien ignorada en los cálculos estructurales de las obras que además no consideran debidamente las funciones naturales y servicios ambientales que cumplen determinados espacios dentro del ciclo hidrológico y de los demás procesos dinámicos de los ecosistemas. La pretensión de domesticación de estos procesos espaciales a los tiempos y necesidades de los mecanismos de reproducción económica de las sociedades antropocéntricas han sido rechazados por la naturaleza, expresándose en inundaciones catastróficas para los habitantes de las ciudades, que deberían ser, supuestamente, los ambientes artificiales más seguros para su desenvolvimiento. Son sintomáticos de la vulnerabilidad de las ciudades, la creación de órganos de defensa civil y el establecimiento de bancos de datos sobre desastres naturales. Cuanto mayor es la ciudad más estructurados se observan estos servicios, aunque no ocurre lo mismo con las actuaciones en la planificación de los usos del suelo de los territorios, en la gestión de cuencas hidrográficas o en la protección de ecosistemas sensibles.

Por otro lado, no ha sido posible observar el impacto directo de la urbanización en el aumento de las tasas de impermeabilización en Florianópolis, lo que seguramente se debe a la incidencia permanente y generalizada de los bosques y cubiertas verdes que resultan de lluvias y temperaturas altas todo el año, así como debido al abandono de la agricultura, que era practicada en cerros que hoy son de difícil acceso para los medios de transporte modernos, vitales para el establecimiento y funcionamiento de las actividades urbanas. Por el contrario, en Valparaíso es evidente que la urbanización ha determinado una reducción de las áreas verdes y un aumento de las tasas de impermeabilización y escorrentía. Se puede indicar que en el caso de las ciudades ubicadas en paisajes de climas tipo mediterráneo, el escaso volumen de las lluvias, su alta irregularidad y concentración, tornan igualmente sensibles sus territorios que los de ciudades más subtropicales y lluviosas, como Florianópolis.

En este contexto, sea bajo los comportamientos actuales o en presencia de lluvias más concentradas, lo cierto es que ambas ciudades deben estar preparadas para precipitaciones intensas, que desencadenan episodios de inundaciones graduales y bruscas en forma reiterada. Corresponde a la planificación y al diseño urbano considerar estos antecedentes básicos y adoptar estrategias de adaptación que eviten la ocupación urbana de sitios inadecuados, o el aumento de las tasas de impermeabilización y escorrentía. Para esto último es sumamente importante mantener, perfeccionar y restaurar las áreas verdes, lo que se opone a la tendencia destructiva y sustitutiva que ha caracterizado el crecimiento de las ciudades las últimas décadas.

REFERENCIAS

- ACATE (2008). Pólo de tecnologia de Florianópolis (02/07/2007). Consulta en: www.acate.com.br/acate/ Fecha: 10/04/2008.
- BLAIKIE, P.; CAMMON, T.; DAVIS, I. y WISNER, B. (2005). *The Challenge of Disasters and Our Approach. At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge, 2005.
- CARUSO, M. M. L. (1983). *O desmatamento da Ilha de Santa Catarina, de 1500 aos dias atuais. Florianópolis*: Ed. da UFSC, 1983, 160 p.
- CASTREE, N.; DEMERITT, D. AND LIVERMAN, D. (2009). "Introduction: Making Sense of Environmental Geography" en *Companion to Environmental Geography*,

- Edited by Noel Castree, Davis Demeritt, Diana Liverman and Bruce Rhoads. Willey Blackwell, 588 p.
- CASTRO, A. L. C. (2003). *Manual de Desastres: Desastres Naturais*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 174 p.
- CPTEC. (2009). Clima. Consulta en: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Fecha: 11/09/2011.
- DELGADO, S. (2009). “La Expansión de la Ciudad de Valparaíso y su Relación con Deslizamientos en Laderas Asociados a Eventos Meteorológicos del Siglo XX”. Ponencia al XXX Congreso Nacional y XV Internacional de Geografía, Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 2009: 30-36.
- DEMERRIT, D. (2009), “From externality to inputs and interference: Framing environmental research in Geography”, *Trans. Inst. Br. Geogr.* (NS 34): 3-11.
- FUENTES, C. Y ROMERO, H. (2010). “Evaluación de las medidas de mitigación ante amenazas de inundaciones y anegamientos en las áreas de expansión urbana de la cuenca de Macul”. III Coloquio Chile: Del país urbano al país metropolitano. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- HERRMANN, M. L. P. (1999). *Problemas geoambientais na faixa central do litoral catarinense*. (Tese de Doutorado), USP/FFLCH, São Paulo, 307p.
- HERRMANN, M. L. P. (2001). *Levantamento dos Desastres Naturais Causados pelas Adversidades Climáticas no Estado de Santa Catarina, período 1980 a 2000*. Florianópolis: IOESC, 89 p.
- HERRMANN, M. L. P. (org.). (2006). *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: IOESC, (CD e impresso ago 2007).
- HERRMANN, M. L. P. y MENDONÇA, M. (2007). “Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina durante o período de 1980 a 2004: inundações e estiagens associadas aos sistemas meteorológicos nas escalas Global e Regional”. *Anais do II ENCONTRO SUL REGIONAL DE METEOROLOGIA*, 2007. Florianópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, junio de 2007. p. 1-13, CD.
- HERRMANN, M. L. de P; MENDONÇA, M. y CAMPOS, N. J. de (1993). São José – SC: “Avaliação das Enchentes e Deslizamentos ocorridos em novembro de 1991 e fevereiro de 1994”. *Geosul*. Florianópolis, Editora de la UFSC, n.16, año VIII, 2º Semestre de 1993, p. 46-78.
- 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 (Conference).

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2011). IBGE Cidades@ Consulta en: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Fecha: 11/09/2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (1960). Censo demográfico Santa Catarina. Rio de Janeiro, 1968. v. 1. t. 15, pte 1.
- MENDONÇA, M. (2010). A vulnerabilidade da urbanização do centro sul do Brasil frente à variabilidade climática. *Investigaciones Geográficas*, Santiago de Chile, Nº 42, 2010: 57-84.
- MENDONÇA, M. y ROMERO, H. (2010). “Efectos de la onda de frío del invierno 2010 sobre las ciudades sudamericanas”. XXXI Congreso Nacional y XVI Internacional de Geografía, 19 – 22 de octubre, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- 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*, Vol.44:129-141.
- MENDONÇA, M. y ROMERO, H. (2008). “Análise comparativa dos fatores e formas dos climas urbanos de Florianópolis -Brasil e Valparaíso-Chile” en: *8º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA*, 2008, Alto Caparaó. Evolução tecnológica e Climatologia. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2008. v.8. pp. 98 – 113.
- NELSON, D. (2010). “Adaptation and Resilience: responding to a climate changing”, *Wires Climate Changes*, (2):113-120.
- NOAA/NCEP (2012). Cold & Warm Episodes by Season. Change to the Oceanic Niño Index (ONI).Consulta en: www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis. Fecha: 06 a 10 /04/2012.
- PBDEE (1996), *Plano Básico de Desenvolvimento Ecológico-Econômico*. Governo do Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SDM) e Associação dos Municípios da Grande Florianópolis (GRANFPOLIS).
- PELUSO JR. V. A. (1991). *Estudos de geografia urbana de Santa Catarina*. Florianópolis: Ed. de la UFSC: Secretaria de Estado da Cultura e Esporte, 400 pp. + ilustr.
- PETTERSEN, S. (1968). *Introducción a la meteorología*. Madri: Espasa-Calpe, 1968, 429 p.
- PICKETT, S., CADENASSO, M., & GROVE, J., NILON, C., PUYAT, R., ZIPPERER, W. (2001). “Urban Ecological Systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of Metropolitan Areas”. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32:127-157.

- PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS (PMF) (2011). Prefeito concede coletiva sobre o efeito das chuvas na Capital. Consulta en: www.pmf.sc.gov.br/noticias/index.php?pagina=notpagina¬i=5131. Fecha: 11/09/2011.
- ROMERO, H. (2010). “La Geografía de los riesgos y catástrofes y algunos de sus aportes para su inclusión en los planes de ordenamiento territorial”. *Revista INVI*, nº 68, vol. 25, mayo 2010: 53-62.
- ROMERO, H. y MENDONÇA, M. (2011). “Ondas de Frío registradas en invierno de 2010: Necesidad de una perspectiva regional integrada para la Climatología latinoamericana”. *Revista Geográfica de América Central*, v.2, p.1 – 13.
- ROMERO, H. y OPAZO, D. (2011). “Ecología Política de los Espacios Urbanos Metropolitanos: Geografía de la injusticia ambiental”. *Revista Geográfica de América Central*. V. 2, pp. 1-16.
- ROMERO, H., LÓPEZ, C. Y SANDOVAL, G. (2010 a). “Degradación Ambiental de Paisajes Naturales y Expansión Urbana de Viña del Mar”. *III Coloquio Chile: Del país urbano al país metropolitano*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- ROMERO, H., SMITH, P., FUENTES, C. Y SANDOVAL, G. (2010 b). “Evaluación territorial y ambiental de los planes reguladores de las metrópolis chilenas”. *XI Seminario Internacional RII*, 26, 28, 29 y 30 de octubre, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- ROMERO, H., FUENTES, C. Y SMITH, P. (2010 c). “Ecología política de los riesgos naturales y de la contaminación ambiental en Santiago de Chile: necesidad de justicia ambiental”. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2010, vol. XIV, nº 331 (52).
- ROMERO, H., FUENTES, C. Y SMITH, P. (2010 d). “Dimensiones geográficas territoriales, institucionales y sociales del terremoto de Chile de febrero 2010”. *Cuadernos de Geografía, Revista Colombiana de Geografía*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, nº 19, 2010, p. 135-150.
- ROMERO, H., SALGADO, M. Y SMITH, P. (2010 e). “Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile”. *Revista INVI*, Instituto de la Vivienda, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile 70:151-179.
- ROMERO, H., MOSCOSO, C. Y SMITH, P. (2009). “Lecciones y conclusiones sobre la falta de sustentabilidad ambiental de crecimiento espacial de las ciudades chilenas”. En

- Chile: de país urbano a país metropolitano*. Hidalgo, R., De Mattos, C. y Arenas, F. (editores). Serie GEOLibros n° 12, Colección EURE Libros, Santiago, Chile, p. 187-200.
- ROMERO, H., MOLINA, M., VASQUEZ, A. y SMITH, P. (2008) "El clima urbano del puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras". *Revista da Faculdade da Universidade do Porto-Geografia*, II serie, vol. 2, 2008.
- ROSA, R. de O. y HERRMANN, M. L. P. (1986). "Geomorfología". En: *Santa Catarina*. GAPLAN. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro do Sul.
- SANDOVAL, G. y ROMERO, H. (2010), "Simulación de los patrones de expansión urbana en escenarios futuros del Gran Valparaíso". *III Coloquio Chile: Del país urbano al país metropolitano*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A.; GOLDENFUM, J.; GERMANO, A. "Brasil". (2003). En: Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH, p. 275-324.
- URRUTIA, R. Y C. LANZA (1993). "Catástrofes en Valparaíso". En: *Catástrofes en Chile 1541-1992*. Editorial la Nona: Santiago de Chile, 242 pp.
- VIANELLO, R. L. y ALVES, A.R. (1991). *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- WITHFORD, W., ENNOS, A. & 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(2), 91-103.