



Ciudades, cambio climático y gestión de riesgo de desastres

[Documento Temático N°17, Habitat III]

Palabras clave

Cambio climático, calidad del aire, adaptación, gestión de drenaje urbano, turbidez, infraestructura.

Destacados

1. Los impactos del cambio climático en las ciudades son múltiples y complejos, y la vulnerabilidad frente a estos cambios difiere entre las distintas ciudades.
2. Si bien se pronostica una mejora en la calidad del aire, producto del aumento futuro de las temperaturas, la solución de la contaminación atmosférica a largo plazo es la reducción de emisiones de contaminantes, particularmente las de precursores de ozono y MP2.5 secundario.
3. Un desafío particular del cambio climático en nuestras ciudades es el de asegurar el servicio continuo de agua potable bajo la ocurrencia creciente de eventos de alta turbidez en los ríos de Zona Central de Chile.
4. El riesgo de desastres naturales, y la variabilidad hidrometeorológica, a futuro deben ser más activamente incorporados en las metodologías de diseño y evaluación de infraestructura pública.
5. Se identifican medidas de adaptación frente al cambio climático en ambientes urbanos, siendo la más relevante aquella relacionada con el fortalecimiento de la gobernabilidad y su acción en la gestión del riesgo.
6. La gestión del drenaje urbano requiere, principalmente, de una visión global de la relación cuenca-ciudad, una integración de diversas soluciones estructurales y no estructurales a distintas escalas espaciales en la cuenca, y la incorporación de objetivos ambientales orientados a la preservación de ecosistemas y la calidad de los cuerpos y cursos de agua.

Resumen

Las ciudades inevitablemente se ven afectas a amenazas naturales y están expuestas a las consecuencias del cambio climático, comprometiendo así su tránsito hacia un desarrollo sustentable. En años recientes muchas ciudades y asentamientos humanos han enfrentado una diversidad de desastres originados por eventos naturales cuya magnitud y frecuencia, en muchos casos, se agravan por el cambio climático. Este capítulo presenta los antecedentes de esta temática en Chile y describe el impacto de los desastres de origen natural y el cambio climático que se producen sobre asentamientos urbanos. Adicionalmente, se discuten posibles soluciones o medidas de mitigación para enfrentar la problemática. En particular, el documento se enfoca en los efectos sobre la calidad del aire, la infraestructura pública, la gestión de aguas lluvias e inundaciones urbanas, y la turbidez de los ríos y sus efectos sobre la producción y abastecimiento de agua potable.

Autores

Josefina Herrera, Jorge Gironás, Francisco Suárez, Héctor Jorquera

CIUDADES, CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

El cambio climático corresponde al cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima (Naciones Unidas, 1992). Durante los últimos años ha existido una gran preocupación por la relación entre el proceso de urbanización y el cambio climático, ya que las zonas urbanas no solo se encuentran expuestas a este fenómeno, sino también al riesgo de desastres naturales (ONU-HABITAT, 2015). Esta situación ha planteado un gran desafío en la gestión y planificación de las ciudades, sobre todo porque se pronostica que el suelo urbano se triplicará para 2030 (ONU-HABITAT, 2015) y que los fenómenos extremos de origen climático se incrementarán considerablemente en las próximas décadas (IPCC, 2014).

Las ciudades, inevitablemente, se convierten en foco de los desastres naturales y de las consecuencias del cambio climático (ONU-HABITAT, 2015). Sin embargo, algunas son más vulnerables que otras dada su ubicación, la concepción y diseño de su infraestructura y servicios, etc. Chile, por ejemplo, forma parte de los países que tienen una importante exposición a los peligros o amenazas de origen natural o antrópico (MINVU, 2016). Durante los últimos 10 años el país ha tenido que enfrentar diversos desastres como terremotos, tsunamis, incendios forestales, aluviones y erupciones volcánicas que han afectado a gran parte de la población. Estos desastres, muchas veces agravados por el cambio climático, han impedido el progreso hacia el desarrollo sostenible (ONU-HABITAT, 2015). En este caso, la consideración del riesgo de estos fenómenos en el ordenamiento territorial es fundamental para que se garantice una planificación segura y un desarrollo sostenible (MINVU, 2016).

Es interesante notar que las urbanizaciones –además de aportar vulnerabilidad ante el riesgo de desastres– también crean oportunidades y nuevos desafíos en la capacidad de adaptación y planificación. Podría ser por estas razones que las ciudades y los gobiernos locales han mostrado interés en adoptar compromisos que permitan la reducción de desastres y el cambio climático. Sin embargo, para conseguir una mayor efectividad en este proceso es necesaria la participación de todos los actores urbanos (ONU-HABITAT, 2015). De hecho, contar con información y registros aportados por el sector académico es fundamental para que las autoridades y gobiernos locales tomen mejores decisiones y así puedan diseñar, construir, operar y proteger los entornos urbanos eficientes y saludables (ONU-HABITAT, 2015). En este contexto, es importante conocer los antecedentes, efectos producidos y posibles soluciones a fenómenos como el cambio climático y desastres naturales que puedan ocurrir en ciudades vulnerables como las chilenas.

Efectos en la calidad del aire provocados por el cambio climático

La calidad del aire es el resultado de la dispersión de las emisiones atmosféricas. Por lo tanto, ella depende de cómo el cambio climático, a través del aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ha estado influenciando la meteorología y las emisiones. Es complejo diagnosticar el impacto actual del cambio climático en la calidad del aire debido a que –en la mayoría de las ciudades chilenas– el monitoreo continuo de calidad del aire solo lleva una o dos décadas. Sin embargo, algunas tendencias son claras: el ozono en grandes zonas metropolitanas (Santiago, Valparaíso, Concepción) se ha incrementado debido al aumento sostenido de las temperaturas ambientales (Jorquera et al., 1998; Jorquera et al., 2000). Las altas temperaturas favorecen la evaporación de compuestos orgánicos volátiles (COV), tanto de origen antropogénico (manejo de combustibles, solventes y productos domésticos) como de la vegetación o biogénicos (isopreno del metabolismo vegetal, pinenos de las coníferas, emisiones de incendios forestales, etc.). Esos COV pueden oxidarse fácilmente en la atmósfera, dando origen a partículas sólidas de carbono orgánico secundario (COS). Actualmente en Santiago, el 30% del MP2.5 entre los meses de octubre y abril corresponde a COS (Villalobos et al., 2015), con aportes de origen antropogénico y biogénico.

Las predicciones de los modelos climáticos disponibles que han considerado dos escenarios de emisiones de GEI: A2 (severo) y B2 (moderado) (U. Chile, 2007; Cabré et al., 2010), simulan un aumento

en la temperatura superficial. En particular, se esperan aumentos entre 2° a 4°C adicionales sobre la media en todas las regiones en el escenario A2; mientras que en el escenario B2 los incrementos estarían entre 1° a 3°C. Este crecimiento se acentuaría en la zona andina, y disminuiría de norte a sur. Estacionalmente, el calentamiento sería mayor en verano, excediendo los 5°C en zonas altas de la Cordillera de los Andes. Para la precipitación, los resultados indican que el Altiplano va a experimentar un incremento en precipitaciones en primavera y verano. En el Norte Chico (20° a 33°S) el incremento de precipitación va a manifestarse en todo el territorio, pero en invierno solo en zonas cordilleranas. Por su parte, en Chile central (30° a 40°S), el escenario A2 predice una reducción general de la precipitación. Bajo el escenario B2 pasa lo mismo, excepto para latitudes al sur de 33°S durante el otoño. La reducción de precipitación en zonas bajas se estima en alrededor del 40%, y todavía mayor en áreas cerca de los Andes durante el verano, pero se reduce en otoño e invierno en el escenario B2. En el sur de Chile (40° a 50°S) durante el verano, la precipitación disminuiría 40% y en primavera alrededor de 25%. El extremo sur del país tendría 25% menos de precipitación durante el verano, pero se normalizará hacia el invierno, con un leve incremento anual de precipitación. Estos resultados son particularmente preocupantes para las ciudades ubicadas entre 30° y 40°S, ya que a los aumentos de temperaturas ambientales se va a añadir una reducción drástica de las precipitaciones. Ambas tendencias promueven incrementos en la contaminación atmosférica: las mayores temperaturas promueven mayor frecuencia de incendios forestales, mayores emisiones de COV (especialmente biogénicos) con mayores formaciones de ozono y COS mientras que la menor frecuencia de precipitaciones implica menor ventilación de contaminantes en las cuencas urbanas. En el caso de Santiago, Cortés et al. (2012) indica que para el período 2045–2065 esta será una ciudad más árida y cálida, con mayor número de días con temperaturas extremas. A su vez, este estudio indica que la precipitación va a disminuir sostenidamente en toda la Región Metropolitana, siendo más pronunciada la disminución en el escenario A2.

El único caso de evaluación de efectos del cambio climático en calidad del aire en ciudades es el trabajo de Mena-Carrasco et al. (2014) donde se simuló el escenario A1B de cambio climático en la ciudad de Santiago para el año 2050. Se utilizó el modelo WRF-Chem junto con las emisiones del año 2011 para simular el escenario de calidad del aire 2050 en la ciudad. En el trabajo se concluye que habría una reducción de 20% en la cantidad de días con alta contaminación por MP2.5. En parte, esto se debe a que el modelo predice un aumento de 5°C de la temperatura media entre abril y agosto, por lo que se debe usar una mayor resolución espacial en la información de uso de suelos que se ingresa al modelo WRF-Chem. Otro efecto que mejora la dispersión de contaminantes es que se reduce la zona de estancamiento del viento cerca de Pudahuel y Cerro Navia.

La única solución que se ve factible para mejorar la calidad del aire en ciudades chilenas es continuar reduciendo las emisiones de contaminantes, particularmente las de precursores de ozono y MP2.5 secundario: compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y amoníaco. Esta no es una tarea fácil de cumplir, dado el crecimiento demográfico y económico que se prevé para el país en el corto y mediano plazo.

Cambio en la infraestructura hídrica producto del cambio climático y desastres naturales

Los servicios y obras de infraestructura cumplen un rol de soporte esencial para una amplia gama de sectores sociales y productivos y, por ende, son facilitadores para el desarrollo económico y el bienestar social, la salud y calidad de vida de la población. Todos los sectores productivos necesitan de infraestructura, especialmente aquella que permite utilizar agua: la agricultura, la minería, el sector energético, la silvicultura y las industrias. Por otra parte, la población necesita de obras para abastecerse de agua potable y disponer y tratar sus aguas servidas y aguas lluvias. También necesita de obras que garanticen su movilidad y conectividad, como puentes, caminos y carreteras. Dentro de las obras que buscan asegurar el bienestar de la población, destacan aquellas cuyo objetivo es

CIUDADES, CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

minimizar el riesgo frente a peligros hidrometeorológicos como crecidas, sequías y deslizamientos en masa. Algunos ejemplos de obras son las protecciones fluviales, obras de control de crecida, obras de estabilización de taludes y piscinas decantadoras.

El desempeño de la infraestructura, así como su planificación, diseño y operación, pueden ser afectados por las condiciones climáticas existentes y también por condiciones a largo plazo, producto del cambio climático. Por ejemplo, los servicios de infraestructura de conectividad y protección necesitan tomar en cuenta los potenciales impactos sobre la provisión de los servicios prestados por la infraestructura frente a cambios en la frecuencia y magnitud o intensidad de los eventos extremos. Adicionalmente, se deben considerar los posibles cambios en la oferta y demanda de recursos hídricos, las que definen en parte el tipo de obras a implementar y su diseño.

Tomando en consideración este factor de impacto, el país ha comenzado a caracterizar la vulnerabilidad de la infraestructura frente al cambio climático, particularmente mediante estudios que buscan determinar los potenciales impactos que puede tener sobre los recursos hídricos y sus implicancias. Henríquez et al. (2016) analizaron de manera retrospectiva los eventos climáticos extremos asociados a declaratorias de zonas de catástrofes en Chile (1984-2013) por distintos fenómenos de carácter hidrometeorológicos. Este trabajo propuso un índice de riesgo en base al grado de exposición, vulnerabilidad y resiliencia de acuerdo con fuentes oficiales. También concluyó que las comunas del país que presentaron mayor riesgo climático fueron las del litoral de la zona central, especialmente la provincia de Petorca. Como conclusión, el trabajo se refirió a la necesidad de usar un enfoque adaptativo en el manejo del riesgo, sobre todo frente a las amenazas que impone el cambio climático.

Otro de los proyectos relevantes es MAPA (Maipo, Plan de Adaptación), desarrollado por el Centro UC de Cambio Global (CCG-UC) y con la participación de investigadores de CEDEUS, para proponer medidas de adaptación frente al cambio climático. MAPA llevó a cabo una proyección del uso de suelo esperado en el futuro en la cuenca, destacando el uso urbano entre los principales. Apoyado por el uso de modelos hidrológicos y de gestión de recursos hídricos, se establecieron posibles impactos respecto de la disponibilidad futura de agua para la población.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el Ministerio de Desarrollo Social ha comenzado a establecer una metodología para la identificación y evaluación de riesgos de desastres en proyectos de inversión pública. Para esto se ha requerido de una mejor descripción de los procesos físicos y de las condiciones de vulnerabilidad y exposición que detonan un desastre, junto con la visualización de la necesidad de incorporar también el cambio climático. Cabe mencionar que estos avances además han llevado al planteamiento de metodologías para evaluar el impacto del cambio climático sobre la infraestructura, conducentes a nuevas prácticas de diseño y de adaptación. En este sentido destaca el documento Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático (PUC et al., 2013), en el cual se presenta un análisis metodológico para incorporar elementos de cambio y variabilidad climática en proyectos de infraestructura, tomando como casos de estudios la infraestructura de riego, portuaria y de puentes (Demaría et al., 2013).

En conclusión, la necesidad de tomar medidas para adaptar los servicios de infraestructura al cambio climático ha sido identificada en estos y otros estudios. Ante esto, el CCG-UC (2014) ha propuesto cinco áreas de acción para un plan de adaptación de este tipo. CEDEUS ha hecho suyas estas propuestas y las ha complementado:

- Fortalecer los aspectos de gobernabilidad involucrados en la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Hay varios ministerios y otras entidades involucradas que tienen que actuar de forma coordinada, de manera de minimizar gastos de parte del Estado a la vez que se maximizan los beneficios.

- Mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas que pueden afectar el desempeño de infraestructura urbana. Esto es relevante no solo dentro de la ciudad sino también fuera de esta, en los sistemas naturales con ella relacionados.
- Mejorar los sistemas de identificación y caracterización de la vulnerabilidad, de manera que no solo se incluya la dimensión física de esta, sino también la capacidad de resiliencia de la ciudad y de la sociedad.
- Redefinir el rol y características de la infraestructura frente a la incertidumbre en un contexto no estacionario. Esta incertidumbre obliga a repensar la infraestructura como una fuente de múltiples beneficios.
- Desarrollar metodologías específicas de planificación y diseño de infraestructura, que puedan incorporar el cambio climático de manera formal, y que permitan cuantificar el riesgo asociado.

Inundaciones urbanas y una mejor gestión de las aguas lluvias

Durante la segunda mitad del siglo XX solo en Santiago se urbanizó a una tasa de 8 km²/año (Fuentes & Sierralta, 2004). Este crecimiento ha tenido un impacto hidrológico muy fuerte, produciendo problemas de inundación, alteración de cauces y contaminación de cuerpos receptores (Estelle et al., 2012). Adicionalmente, la ocupación territorial no planificada ha hecho que viviendas e infraestructura pública y privada se ubiquen en quebradas, cauces, humedales y zonas inundables de cauces y ríos. Para abordar estos impactos, el país periódicamente ha recurrido a costosas inversiones en infraestructura, las cuales no han sido del todo sustentables ya que desplazan los problemas a otras locaciones dentro de la cuenca, o a un tiempo futuro cuando se vuelven obsoletas. Si bien el país ha avanzado bastante en el manejo del drenaje urbano, aún podría hacer mucho más con objeto de proveer soluciones sustentables a largo plazo integradas al territorio urbano. Veinte años han pasado desde la promulgación de la Ley N° 19.525 de Aguas Lluvias de 1997, la que declara al Estado responsable de la existencia de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias en centros poblados. Esta ley plantea que la red primaria de estos sistemas debe ser gestionada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) mientras que la red secundaria, por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Además, la ley establece los planes maestros (PM) como herramientas de diagnóstico, planificación y gestión del drenaje urbano, habiéndose realizado a la fecha más de 40 de estos, los que cubren aproximadamente a 90% de la población.

Actualmente los PM son una guía para la gestión de las aguas lluvias, principalmente desde la óptica del drenaje en el suelo público a escalas espaciales mayores. Sin embargo, tanto los PMs en particular, como la gestión del drenaje urbano en general presentan ciertas falencias muy vinculadas a la generalizada inacción previa a la Ley N°19.525 y al antiguo paradigma según el cual la escorrentía urbana es una molestia, residuo e incluso amenaza, y no un potencial recurso a proteger. Estas falencias incluyen: (1) una falta de visión integral donde la cuenca es la unidad territorial relevante, (2) la carencia de objetivos ambientales dependientes de cada cuenca (e.g. preservación de cauces, control de la calidad del agua de cuerpos receptores), (3) la nula o baja integración de distintas escalas espaciales (desde la escala domiciliaria hasta la regional) en el desarrollo de alternativas de gestión de escorrentía, ya que el foco de los PMs es la red primaria, (4) la escasa implementación de infraestructura verde como técnicas de infiltración y almacenamiento, por sobre conducción, (5) la nula o baja vinculación con los instrumentos de planificación territorial (IPTs) y (6) la orientación más bien estructural, siendo las medidas no estructurales y la gestión de zonas de inundación solo abordadas parcialmente.

Los anteriores problemas requieren de una gestión integrada a largo plazo donde se incorporen las distintas escalas espaciales y los diversos actores involucrados. El Manual de Drenaje Urbano (MDU) del MOP (MOP-DOH, 2013) busca abordar estos inconvenientes poniendo en un mismo contexto las preocupaciones, intereses y responsabilidades de los actores involucrados (i.e. privados, urbanizadores, municipios, ministerios públicos y empresas sanitarias), y guiando su participación en la planificación, diseño, operación y conservación de los sistemas de drenaje urbano. Como filosofía central se

CIUDADES, CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

busca mantener o recuperar cada componente del ciclo hidrológico a su nivel natural, considerándose las aguas lluvias como un recurso que puede contaminarse y afectar cursos y cuerpos receptores, y no como un residuo o amenaza en sí misma.

Si bien el país cuenta entonces con una ley y documentación técnica de soporte para la implementación de sistemas de drenaje urbano sustentables, aún hay brechas importantes a cubrir. Esto requiere nuevas políticas de drenaje urbano ya identificadas en el MDU y apoyadas por CEDEUS, las que se resumen a continuación:

- La planificación, diseño y gestión de sistemas de aguas lluvias son actividades integrales a nivel de cuenca, que trascienden divisiones administrativas y que abordan el proceso desde aguas abajo. De esta manera, se involucra a los privados en la solución, se evita transferir los problemas hacia aguas abajo y se favorece la sostenibilidad de las soluciones a largo plazo.
- Se debe buscar que los nuevos desarrollos urbanos mantengan o reduzcan las tasas y volúmenes de escorrentía superficial y cargas de contaminantes propios de los niveles naturales.
- En el sistema de drenaje deben incorporarse activamente el control local domiciliario, la retención local en suelo público, el transporte superficial lento, el almacenamiento a mayor escala en suelo público, y una conducción y descarga controlada hacia cursos y cuerpos receptores.
- La red de drenaje natural debe ser respetada al urbanizar, pasando a ser parte de la red de drenaje urbano. Se debe evitar ocupar la zona de inundación de $T=100$ años, y se debe preservar la integridad geomorfológica de quebradas y cauces.
- Los PM deben completarse y actualizarse periódicamente para todo el país. Estos deben ser vinculantes con los IPTs e incorporar explícitamente: (1) aspectos relevantes de la gestión y planificación territorial, (2) la zona de inundación de $T=100$ años de cauces y quebradas urbanos, y (3) las condiciones de descarga y evacuación a cauces y cuerpos de agua.
- Frente a eventos de precipitación poco frecuentes, el drenaje urbano debe proveer una gestión segura de las inundaciones para evitar pérdidas humanas y de infraestructura. Por otra parte, frente a lluvias frecuentes, debe minimizar las disfuncionalidades, trastornos, y efectos ambientales, de modo de preservar la calidad de los cuerpos receptores y su integridad ambiental.

A estas políticas –que deben ser abordadas con decisión– se agregan actividades específicas fundamentales que identificamos desde CEDEUS:

- Mejorar el registro de información hidrometeorológica relevante para conocer mejor la variabilidad espacio-temporal de los eventos de precipitación y definir series continuas de estas.
- Definir la zona de inundación de cauces, insumo esencial para la planificación y gestión territorial.
- Utilizar modelos distribuidos y de simulación continua, que permitan simular y comprender el funcionamiento hidrológico y ambiental del sistema urbano y sus componentes, y facilite su gestión.
- Implementar y monitorear casos piloto para validar y/o mejorar los diseños de las obras de drenaje y para entender su interacción con la comunidad.
- Reconocer en la normativa las descargas de escorrentía urbana y los vertidos de sistemas unitarios como eventos de contaminación.
- Potenciar el rol de la realidad local en la definición de metas específicas en la gestión de aguas lluvias.
- Educar a la comunidad para que conozca la problemática del drenaje urbano y entienda el funcionamiento, objetivo y beneficios de las distintas obras. La comunidad es usuaria, beneficiaria, y de algún modo, primer responsable de estas obras.

Efectos del cambio climático en eventos extremos de turbidez y su consecuencia en la producción de agua potable en la ciudad de Santiago

Hace 20 años, en general en Chile se consideraba que el cambio climático iba a tener efectos adversos sobre la cantidad y ocurrencia de los recursos hídricos, así como sobre la magnitud de los caudales máximos. Prácticamente no existía una discusión relacionada a eventos extremos de turbiedad en los ríos y su consecuencia en la producción de agua potable en las ciudades. Por ejemplo, en el río Maipo existen registros de turbiedad diaria desde el año 1990, y recién en el año 2000 se comenzó a registrar esta información de manera continua a una escala horaria. En 2008 se observó el primer evento de turbiedad extrema que superó las cifras históricas medidas hasta esa fecha y que generó cortes en el suministro de agua. Ya el año 2010 existía entonces evidencia empírica de que los eventos extremos de turbiedad tienen una consecuencia importante sobre la producción de agua potable en Santiago. Entre los años 2013 y 2017 cinco cortes masivos de agua han afectado a Santiago, y se estima en 30 los eventos de turbiedad cuyos impactos en el suministro pudieron ser evitados durante los últimos tres años (La Tercera, 01/03/17).

En un estudio reciente, Bravo et al. (2014) analizan los posibles impactos en la gestión de los abastecimientos hídricos de Santiago debido a fenómenos asociados al cambio climático, enfocándose en los problemas asociados a eventos de alta turbidez y a sequías. Ellos destacan que existe una relación extremadamente no lineal entre caudales y turbidez, donde altos valores de turbidez pueden ocurrir tanto en condiciones de alto caudal como en condiciones de bajo caudal. Los eventos de turbidez extrema asociados a altos caudales son producto del arrastre y suspensión de sedimentos, que generalmente están explicados por aumentos de temperatura en la parte alta de la cuenca (eventos térmicos), mientras que los eventos de turbiedad extrema asociados a bajos caudales se explican por eventos aluvionales derivados de tormentas convectivas que ocurren durante el verano (eventos pluviales). De estos dos tipos de eventos de turbiedad extrema, los pluviales son los más extremos debido a que pueden producir una remoción en masa que aumenta de manera importante el transporte de sedimentos en el río.

Uno de los problemas actuales es la complejidad en la predicción de eventos de turbiedad extrema en los ríos y en fuentes de agua para potabilizar. Los estudios probabilísticos hasta la fecha (e.g. Bravo et al., 2014) muestran una compleja relación entre las distintas variables hidrometeorológicas que intervienen en este fenómeno, y no identifican con contundencia ningún patrón representativo entre caudal y turbidez en los datos históricos. Adicionalmente, existe una deficiencia en la red de monitoreo en las partes altas de la cuenca que no permite contar con la información relevante para comprender de mejor manera los fenómenos de turbiedad extrema que han ocurrido en el río Maipo. Desde los ámbitos político, social y científico es imperativo que: 1) se incremente la red de monitoreo en las distintas partes de las cuencas para comprender mejor los procesos asociados a los fenómenos de turbiedad extrema; 2) se fomenten estudios científicos que posean una base física para representar los procesos involucrados (ya sean procesos asociados al cambio climático, como procesos asociados al transporte de sedimentos en los ríos); y 3) se desarrollen herramientas de alertas tempranas que permitan mitigar los efectos adversos que pueden tener los eventos de turbiedad extrema. El desarrollo de estos temas permitirá contar con herramientas de pronóstico de acontecimientos de turbiedad extrema que ayuden a mitigar los impactos de estos sobre la producción de agua en ciudades en un contexto de cambio climático.

CIUDADES, CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

Referencias

- Bravo, M., Flores, R., Galindo, R., Garreaud, R., Muñoz, E., Serey, A. & Viale, M. (2014). Determinación de posibles impactos en la gestión de los abastecimientos humanos de agua situados en la zona metropolitana de Chile, provocados por fenómenos asociados al cambio climático. *Aquae Papers*, Fundación Aquae.
- Cabré, M.F., Solman, S. A. & Nuñez, M. N. (2010). Creating Regional Climate Change Scenarios over Southern South America for the 2020's and 2050's using the Pattern Scaling Technique: Validity and Limitations. *Climatic Change*, 98, 449–469
- Cortés, G., Schaller, S., Rojas, M., García, L., Descalzi, A., Vargas, L. & McPhee, J. (2012). Assessment of the Current Climate and Expected Climate Changes in the Metropolitan Region of Santiago de Chile. *UFZ Reports, No 03/2012, Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ)*. Disponible en: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/58274/1/717181324.pdf>
- Demaría, E., Gironás, J. & Vicuña, S. (2013). *Metodología propuesta para la inclusión del cambio climático en la planificación de infraestructura. Aplicación a puentes. Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático*. P. Universidad Católica de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Medioambiente.
- Estelle L., Gironás, J. & Fernández, B. (2012). *Fundamentos del drenaje urbano e inundaciones*. XII jornadas Francisco Javier Domínguez. Valparaíso.
- Fuentes, L. & Sierralta, C. (2004). *Santiago de Chile, ¿Ejemplo de una reestructuración capitalista?*
- Henríquez, C., Aspee, N., & Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 27-44.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J, Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J, Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M. & Midgley, P.M. (Eds.). *Cambridge, Reino Unido y New York, NY: Cambridge University Press*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. & Meyer, L.A. (Eds.). *Ginebra: IPCC*.
- Jorquera H., Cipriano A., Pérez R. & Acuña G. (1998). Forecasting Ozone Daily Maximum Levels at Santiago, Chile. *Atmospheric Environment*, 32(19), 3415-3424.
- Jorquera H., Palma W. & Tapia, J. (2000). An Intervention Analysis of Air Quality Data at Santiago, Chile. *Atmospheric Environment*, 34(24), 4073-4084.
- Mena-Carrasco, M., Saide, P., Delgado, R., Hernandez, P., Spak, S., Molina, L., Carmichael, G. & Jiang, X. (2014). Regional Climate Feedbacks in Central Chile and their Effect on Air Quality Episodes and Meteorology. *Urban Climate*, 10, 771–781.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2016). *Chile Informe Nacional HABITAT III*. Santiago.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.
- ONU-HABITAT (2015). *Habitat III Issue paper: 17 - Cities and climate change and disaster risk management*. New York.
- Pontificia Universidad Católica de Chile et. al (2013). *Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático*. Ministerio de Obras Públicas y Ministerio del Medio Ambiente.
- Universidad de Chile, Departamento de Geofísica. (2007). *Study on Climate Variability in Chile in the 21st Century*. Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente.
- Villalobos, A.M., Barraza, F., Jorquera, H. & Schauer, J.J. (2015). Chemical Speciation and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Santiago, Chile. *Science of the Total Environment*, 512-513, 133-142.