



# Vínculos urbano - rural

[ Documento Temático N°10, Habitat III ]

## Palabras clave

Calidad de agua, calidad del aire, calidad de suelos, frontera urbano/rural, suelos urbanos.

## Destacados

1. La expansión de la zona urbana en la Región Metropolitana se produjo principalmente sobre suelos agrícolas. De seguir con las tasas de crecimiento actual, en un breve plazo desaparecerán los suelos de mejor calidad y potencial (I y II) de la Provincia de Maipo.
2. El caso de Copiapó nos muestra que el crecimiento urbano se realizó sin considerar la calidad de los suelos que se incorporaron en la zona urbana: la ciudad creció e incorporó zonas de relaves al área urbana, que pueden exponer a riesgos la salud de la población.
3. El alto uso de leña en ciudades sureñas, producto de su bajo precio y las viviendas térmicamente ineficientes, han llevado a un aumento en las concentraciones ambientales de contaminantes, principalmente MP2.5.
4. Nuestro país presenta una alta cobertura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas; el desafío es la remoción de nutrientes y contaminantes no controlados o emergentes (como perclorato, pesticidas, productos de cuidado personal) para atenuar los impactos negativos del crecimiento de las ciudades en la calidad del agua.

## Resumen

Este documento revisa brevemente una serie de experiencias registradas por CEDEUS sobre el impacto de la urbanización en diversas ciudades. Considerando que su crecimiento se asocia al deterioro y eventual desaparición de importantes superficies de suelo, se analiza el caso de la Región Metropolitana y, en particular, los efectos de la expansión del Gran Santiago en los suelos agrícolas circundantes. Por otra parte, a través del análisis de las condiciones observadas en Copiapó, centro urbano con más de 30 relaves en su interior, se profundiza en aspectos generales y específicos para comprender los orígenes, magnitud y alcance asociado a la contaminación urbana por metales pesados. Además, se aborda el efecto de los sistemas de calefacción en las áreas rurales y urbanas de la zona centro-sur de Chile, donde –como consecuencia del gradiente climático, la deficiente aislación térmica y las condiciones socioeconómicas que favorecen el uso de leña– se registra una alta densidad de emisiones por unidad de superficie. Se discute cómo la producción de agua potable y la depuración de las aguas servidas en las zonas urbanas generan impactos sobre los cursos y cuerpos de agua que afectan las zonas rurales.

## Autores

Héctor Jorquera, Pablo Pastén, Josefina Herrera, Carlos Bonilla

## VÍNCULOS URBANO - RURAL

Las ciudades chilenas, como la mayoría de las ciudades en expansión, han recurrido a una planificación acelerada basada en políticas reactivas, cuya infraestructura muchas veces no ha ido acorde con un desarrollo sostenible (McPhee et al., 2015). El proceso de crecimiento acelerado –evidenciado en un aumento de la población total y urbana– y el incremento en el uso de recursos para cubrir las necesidades de la población, han generado que nuestras ciudades desplacen sus límites, con consecuencias negativas en su interacción con el medio ambiente (ONU-HABITAT, 2015b). El alto consumo de los recursos naturales, la producción de residuos y la emisión de gases de efecto invernadero –pasando de 1,8 t CO<sub>2</sub> per cápita en 1960, a 4,6 t CO<sub>2</sub> per cápita en 2011<sup>1</sup> – han desplazado el equilibrio de los sistemas naturales, aumentando el riesgo de desastres naturales y acelerando el proceso de cambio climático (ONU-HABITAT, 2015a; 2015c).

Si bien la conciencia de los problemas ambientales comenzó hace varias décadas atrás, conferencias como HABITAT han permitido que tanto autoridades como investigadores chilenos enfoquen su quehacer en identificar y resolver los problemas de la interacción de las ciudades con su entorno. Desde HABITAT II (1996), Chile se ha comprometido a fomentar asentamientos urbanos sostenibles y eficientes en el uso de los recursos (MINVU, 2016).

Sin embargo, en términos concretos, todavía queda mucho camino para definir con mayor precisión qué políticas públicas, tecnologías y conocimiento sobre los sistemas socioambientales se requieren para lograr este propósito. Se necesita que el país avance en la definición de políticas públicas sostenidas por una base científica sólida, que permita actuar frente a estos problemas y tendencias sin desconocer los avances a la fecha.

### Los efectos de la urbanización en los sistemas de aire, agua y suelo

La interacción entre lo urbano y lo rural ha acompañado al hombre durante toda su historia. Un hito de este proceso en Chile fue el fenómeno migratorio, que comenzó en el último tercio del siglo XIX y que provocó un crecimiento de los centros urbanos a una tasa más elevada en comparación al resto del país (Memoria Chilena, 2015). Durante los últimos años, tanto en Chile como en el resto del mundo, se ha vivido un proceso llamado urbanización acelerada, que ha generado un cuestionamiento de las bases de la gestión en los asentamientos urbanos. Como consecuencia, se han planteado nuevos desafíos con énfasis en la protección del medio ambiente y en la escasez de los recursos naturales (MINVU, 2016).

Durante la conferencia de HABITAT II se trataron temas relacionados con el desarrollo sostenible y el asentamiento urbano, así como también se establecieron preceptos respecto de los vínculos urbanos rurales y se adquirieron compromisos orientados a la gestión urbana y ambiental (ONU-HABITAT, 2015a). A pesar de que se ha avanzado en estos temas, las preocupaciones siguen presentes y se ubican en un lugar prioritario dentro de la comunidad internacional (ONU-HABITAT, 2015a). Esto se debe al efecto y las consecuencias que tiene el proceso de urbanización sobre el medio ambiente. Se ha estimado que las zonas urbanas consumen hasta 76% de los recursos naturales, producen 60% de la emisión de gases de efecto invernadero y 50% de los residuos (ONU-HABITAT, 2015a). Hoy, más de 50% de la población vive en zonas urbanas y se prevé que para 2050 la cifra aumente a 66% (United Nations, 2014). Este valor es superado por Chile, en donde 87% de la población vive en áreas urbanas (MINVU, 2016) y se estima que en 2050 será 93% (Figura 1).

1. The World Bank. (2016). World Development Indicators, <http://data.worldbank.org/indicator> visited 21/06/16

### Evolución población urbana y rural en Chile

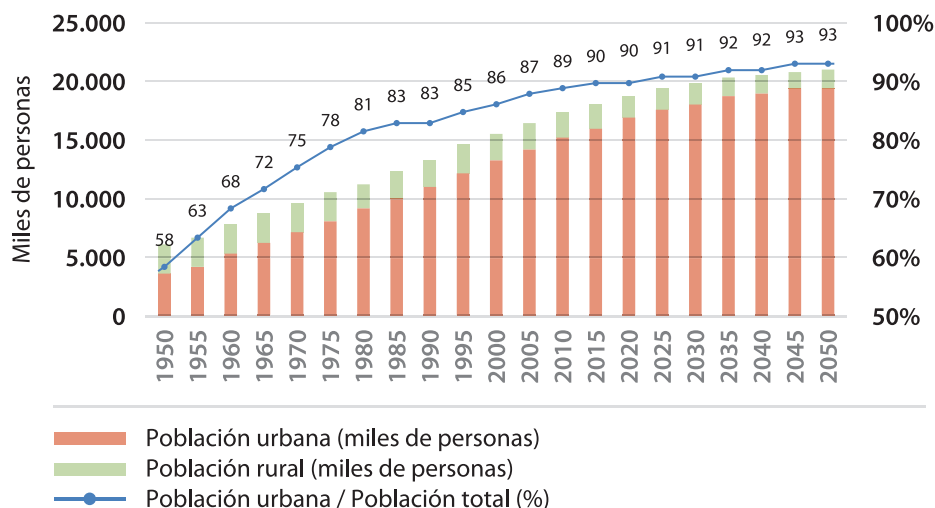


Figura 1. Aumento de la población total 1950–2050 (proyección). Fuente: United Nations, 2014<sup>2</sup>

Si bien la expansión de las áreas urbanas consume tierras agrícolas y los recursos ecosistémicos relacionados, estas pueden tener capacidades positivas que mejoran la economía, la inclusión y el desarrollo sostenible (ONU-HABITAT, 2015a). Es primordial que, para obtener estos beneficios, exista conocimiento y coordinación desde todos los actores sociales. La colaboración entre las instituciones de investigación, la academia, la sociedad civil, el sector privado, las autoridades y los políticos es fundamental para desarrollar capacidades y enfrentar los nuevos desafíos en el desarrollo y fortalecimiento de las zonas rurales, periurbanas y urbanas (ONU-HABITAT, 2015a). Para esto, se ha propuesto disminuir las brechas de conocimiento mediante el estudio de los efectos que ha tenido el proceso de urbanización en los recursos naturales como agua, aire y suelo. De esta forma, se podrá generar una actitud colaborativa con los otros actores fundada en el conocimiento.

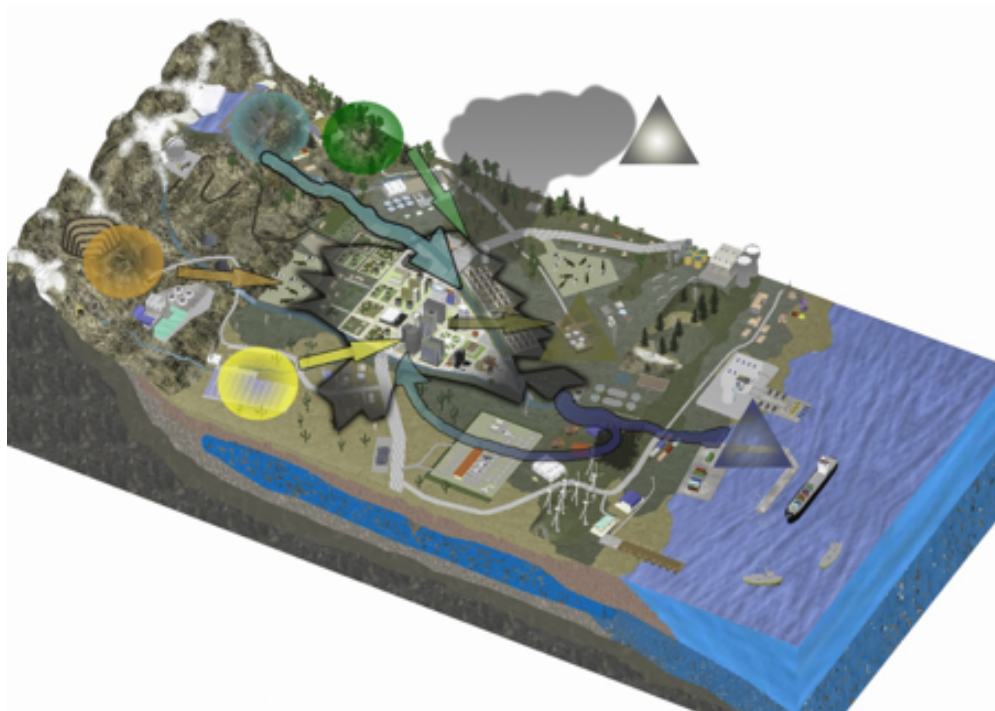
CEDEUS ha avanzado en el estudio de la interacción entre las ciudades chilenas y las cuencas andinas donde se emplazan. Por medio de la comprensión de los límites biofísicos y el estudio del nexo entre agua-energía-materiales-infraestructura, se ha buscado revelar las relaciones entre la urbanización y su entorno. Es fundamental que las políticas públicas de desarrollo urbano, de infraestructura y de aplicación de tecnologías limpias que permitan desacoplar el desarrollo urbano de la generación de residuos, deterioro ambiental y consumo insostenible de recursos.

La sustentabilidad de nuestras ciudades se juega no solo en sus límites si no que, responde fuertemente a la relación de la ciudad con su cuenca como entorno biogeofísico. Muchos de los servicios y recursos que utilizan (suelo, agua, alimento, energía, servicios ambientales, materiales de construcción, entre otros) son provistos por áreas periurbanas y rurales inmediatas a la ciudad. La provisión de recursos críticos para el desarrollo urbano sustentable depende de actividades realizadas en el entorno periurbano y rural. Los grandes proyectos de inversión (por ejemplo, hidroeléctricos, mineros e industriales) pueden ser buenas oportunidades de desarrollo, pero al mismo tiempo implicar riesgos para la salud de la población y de los sistemas socioambientales, además de competir por recursos críticos que sustentan a la ciudad. En consecuencia, las oportunidades de mejorar la relación cuenca-ciudad deben buscarse más allá de los límites urbanos.

2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, CD-ROM Edition.

## VÍNCULOS URBANO - RURAL

La Figura 2 presenta un diagrama conceptual de procesos que influyen en la sustentabilidad de la relación cuenca-ciudad en una cuenca andina, identificando interacciones clave entre la ciudad y los ambientes periurbanos y rurales.



**Figura 2.** Relación cuenca-ciudad. Los círculos corresponden a flujos que ingresan a la ciudad (*inputs* del metabolismo urbano: agua, suelo, energía y materiales) y los triángulos flujos que salen (*outputs*: residuos sólidos, líquidos y gaseosos). La idea es hacer sustentable la relación entre la ciudad y su cuenca, generando ciclos circulares que permitan disminuir el uso de recursos y los residuos generados (ejemplificado con recurso hídrico). Fuente: CEDEUS®.

Entre las interacciones se puede mencionar:

1. Las cuencas andinas proveen el entorno biogeográfico para las ciudades chilenas. Esto implica condiciones geofísicas, geoquímicas, hidrológicas y morfológicas particulares que conllevan oportunidades (disponibilidad de espacio, recursos hídricos, recursos mineros, fuentes de energía) y desafíos (riesgos sísmicos, inundaciones, remociones en masa, enriquecimiento natural de contaminantes, recursos limitados, condiciones pobres de ventilación) para el desarrollo urbano sustentable.
2. La expansión urbana afecta directamente a las áreas periurbanas y rurales que cambian su naturaleza y función socioambiental. No solo disminuye la tierra agrícola, sino que cambian las propiedades biofísicas del suelo, que pueden llevar a hacer más vulnerable la ciudad y con menor acceso a servicios ecosistémicos y ambientales.
3. La morfología y clima de la cuenca determinan en gran parte las condiciones de ventilación que regulan la dispersión de contaminantes atmosféricos. La geoquímica de la cuenca y la presencia de actividades industriales y mineras pueden contribuir a aumentar la concentración de material particulado respirable y gases, que se suman a la contribución urbana asociada al transporte y calefacción.

4. Las cuencas andinas proveen recursos hídricos superficiales y subterráneos a nuestras ciudades. La calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles dependen de las características hidro-lógicas y geoquímicas de la cuenca.
5. Actividades mineras y enriquecimientos metálicos en zonas cordilleranas en el norte y centro del país pueden comprometer la sustentabilidad de los procesos de abastecimiento de agua en sitios urbanos. Es necesario entender cómo nuestras fuentes de agua son vulnerables al drenaje ácido natural y de residuos mineros, así como a posibles derrames tóxicos.
6. Los eventos hidrológicos pueden generar condiciones de riesgo que afectan la capacidad de producción de agua potable. La combinación de factores geomorfológicos, los efectos del cambio global, los cambios de uso de suelo y la destrucción de vegetación pueden afectar seriamente la calidad de la fuente de agua y la infraestructura de tratamiento.
7. Los residuos gaseosos, sólidos y líquidos tienen el potencial de impactar su entorno biogeofísico. La generación de residuos y su disposición inadecuada genera riesgos sobre la salud y puede afectar los servicios ambientales de áreas periurbanas y rurales.

### Cambios en el uso de suelo producto de la expansión de la urbanización

Entre los diversos impactos asociados al crecimiento de las ciudades está el uso y pérdida de los suelos en el área de expansión. Dado el sistema de fundación de las ciudades en Chile, estas se han caracterizado por ocupar las partes más bajas de los valles y con ello los mejores suelos de cada región. Lamentablemente, a diferencia de otros recursos, el suelo es uno de los más irreversiblemente afectados por la urbanización (Weil y Brady, 2016), y una vez intervenido es muy difícil que retorne a su condición original.

Uno de los ejemplos más evidentes de este proceso es el crecimiento urbano en la Región Metropolitana (RM), conformada por seis provincias y 52 comunas (MINVU, 2008). Este es usado como caso de estudio por CEDEUS. En la Tabla 1, se presenta una clasificación de los suelos de la cuenca de Santiago, según su capacidad de uso (CIREN, 1964). Los suelos de mayor potencial agrícola son los de las categorías I a IV, siendo los de categoría VIII los más limitados. El índice "r" señala que se trata de suelos de riego y la ausencia de este índice indica suelos de secano (solo reciben agua lluvia).

| Capacidad de uso | Superficie de la cuenca (%) | Capacidad de uso | Superficie de la cuenca (%) |
|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| I r              | 9                           | I y II           | 13                          |
| II r             | 18                          | III y IV         | 10                          |
| III r            | 18                          | V y VI           | 17                          |
| IV r             | 10                          | VII y VIII       | 5                           |

**Tabla 1.** Superficie de suelos en la cuenca de Santiago según capacidad de uso en base a CIREN (1964).

De acuerdo a la Tabla 1, 78% de los suelos de la cuenca de Santiago son fértiles y aptos para cultivos (capacidades I a IV). Por otra parte, en base al informe de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura y el Centro de Información de Recursos Naturales (Odepa-CIREN, 2012), es posible hacer una cronología de la pérdida de suelos de las categorías I a IV en la Región Metropolitana. En la Tabla 2, se observa que la superficie urbana aumentó 46% y la superficie agrícola disminuyó 25% en el período analizado. Los suelos más afectados fueron los de capacidades I, II y IV. De este total de suelos urbanizados, solo 9,5% corresponden a suelos de capacidad limitada (VI-VIII, mil 338 hectáreas).

## VÍNCULOS URBANO - RURAL

| Año                            | Superficie urbana | Suelos agrícolas | I     | II     | III    | IV    |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------|--------|--------|-------|
| Hectáreas                      |                   |                  |       |        |        |       |
| 1940                           | 11.348            | -                | -     | -      | -      | -     |
| 1955                           | 18.695            | -                | -     | -      | -      | -     |
| 1970                           | 30.949            | 50.436           | 9.819 | 16.065 | 20.701 | 3.851 |
| 1991                           | 45.056            | 37.668           | 6.497 | 11.783 | 16.683 | 2.705 |
| <b>Variación 1970-1991 (%)</b> | 45,6              | -25,3            | -33,8 | -26,7  | -19,4  | -29,8 |

**Tabla 2.** Variación de la superficie de suelos en la región Metropolitana, según capacidad de uso en base a ODEPA-CIREN (2012).

Los datos del estudio de ODEPA-CIREN son anteriores al Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el cual fija los límites de las zonas urbanas (MINVU, 2008). De acuerdo al Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales de la Pontificia Universidad Católica de Chile, entre 1991 y 2001 se incorporaron 12 mil 50 hectáreas a la superficie urbana, llegando a las 57 mil 106 hectáreas (Ducci y González, 2003). Esto significa que Santiago creció en 10 años (1991-2001), la misma cantidad de superficie que durante las dos décadas anteriores (1971-1991).

Al ampliar el plano regulador y anexar las provincias que faltaban a las áreas urbanizables, crecieron y se incorporaron 38 mil 976 hectáreas de suelo con capacidades de uso I a IV, lo que corresponde a 15% del total de suelo agrícola de la región. Las comunas con la mayor disminución de suelos agrícolas fueron Maipú (4.537 hectáreas), Lampa (4.291 hectáreas), Puente Alto (4.196 hectáreas), San Bernardo (3.480 hectáreas), Colina (3.324 hectáreas) y Buin (2.287 hectáreas). Las provincias más afectadas por el cambio en el PRMS fueron Santiago, Chacabuco y Maipo (Tabla 3). Esto indica que en la provincia de Maipo desaparecerían los suelos clases I y II debido a la urbanización proyectada por el PRMS.

| Provincia  | Capacidad de uso |        |        |       |        |
|------------|------------------|--------|--------|-------|--------|
|            | I                | II     | III    | IV    | V      |
| Hectáreas  |                  |        |        |       |        |
| Santiago   | 1.437            | 3.146  | 5.459  | 844   | 10.886 |
| Chacabuco  | 698              | 2.095  | 3.962  | 2.864 | 9.618  |
| Maipo      | 2.176            | 1.969  | 2.765  | 218   | 7.129  |
| Cordillera | 116              | 1.520  | 2.691  | 399   | 4.726  |
| Talagante  | 70               | 1.596  | 2.098  | 129   | 3.893  |
| Melipilla  | 401              | 916    | 1.133  | 275   | 2.725  |
| Total RM   | 4.898            | 11.241 | 18.108 | 4.729 | 38.976 |
| %          | 13               | 29     | 46     | 12    | 100    |

**Tabla 3.** Suelos agrícolas afectados por PRMS 2006 en la Región Metropolitana.

El análisis del crecimiento urbano en la RM en las últimas décadas, demuestra que en el diseño y orientación de esta expansión no se ha tomado en cuenta la calidad de los suelos. Los criterios utilizados en la actualidad en Chile han mostrado reducidos aportes en esta línea y, producto de ello, se hace necesario su replanteamiento. Una planificación en este sentido permitirá cautelar los mejores suelos para las generaciones futuras, disfrutando desde ya los beneficios asociados a este recurso actualmente subvalorado.

### Calidad del suelo en sectores urbanos, periurbanos y/o rurales

La calidad física y química del suelo juega un rol fundamental en la capacidad de uso del recurso, así como en los potenciales riesgos hacia la salud ambiental y humana. Los procesos de dispersión ambiental hacen que actividades localizadas en sectores periurbanos y rurales de la cuenca influyan directamente en la calidad del suelo urbano. Asimismo, el suelo tiene “memoria” respecto de episodios de contaminación ocurridos previamente, sobre todo para contaminantes metálicos que no presentan una atenuación natural significativa.

Se requiere un acabado conocimiento sobre la geoquímica urbana chilena y la dinámica de ocurrencia de contaminantes en suelos y polvos de calle, para alimentar la evaluación del riesgo potencial a la salud pública, lo que actualmente es extremadamente limitado. El material particulado de diversas fuentes antropogénicas y la deposición atmosférica se acumula en suelos y polvos de calles convirtiéndolos en repositorios de metales dentro de los sistemas urbanos (Wong, 2006). A menos que exista un evento extremo, el suelo y polvo de calles son relativamente estables en el corto y mediano plazo y entregan un indicador de la magnitud y tendencias de la exposición humana a los metales tóxicos presentes en sectores urbanos (Mielke et al., 1999). El riesgo sobre la salud humana se estima en base a las rutas de exposición y la dosis que potencialmente consumen los receptores, ocupando tiempo y recursos cuantiosos que no siempre están sintonizados con la urgencia de la toma de decisiones. Las metodologías de *screening* geoquímico rápido (como la de Carkovic et al., 2016) han proporcionado una alternativa para orientar la definición de políticas públicas que limiten los potenciales impactos sobre la salud de la población.

La ciudad de Copiapó ha sido un excelente modelo que ha usado CEDEUS para graficar la necesidad y desafíos subyacentes de considerar la calidad del suelo como un factor de sustentabilidad de nuestras ciudades en su relación con los ambientes perirurbanos y rurales (Carkovic et al., 2016; Calcagni M., 2016; Moya P., 2017). Copiapó se emplaza en un clima árido, con un fuerte vínculo con la minería desde el siglo XVII hasta la fecha. Existe un enriquecimiento natural de metales asociados a la misma geología que da lugar a los yacimientos mineros. Esto redundo en un enriquecimiento de las concentraciones naturales o de *background* que se suman al aporte de fuentes industriales, mineras y vehiculares, exponiendo a la población a concentraciones de metales elevadas cuando son comparadas con otras ciudades en Chile y en el mundo.

Copiapó sufrió una explosión demográfica ligada al crecimiento de la industria minera durante el siglo XIX, que provocó el crecimiento de las zonas urbanas de forma descontrolada y no planificada. Zonas periurbanas industriales que contenían desechos de la minería (relaves) fueron incorporadas al área urbana residencial, exponiendo a la población a metales pesados presentes en los relaves mineros abandonados. Así, más de 30 relaves se encuentran abandonados siendo una potencial fuente de contaminantes y riesgo para la población. A nivel nacional, existen más de 615 depósitos de desechos mineros, de los cuales 151 se ubican en la Región de Atacama y 79 en la comuna de Copiapó (Sernageomin, 2015). Del total de relaves mineros, 493 se encuentran inactivos o abandonados, convirtiéndose así en pasivos ambientales para Chile y siendo una constante amenaza para la expansión urbana, cuando este factor no se incluye en las políticas de desarrollo y planificación.

## VÍNCULOS URBANO - RURAL

Mientras otros países tienen normativa de calidad de suelo, Chile todavía no dispone de valores que permitan identificar cuantitativamente concentraciones de riesgo. Los primeros esfuerzos se realizaron para el caso de polimetales en Arica (Seremi MINSAL, 2011) donde se establecieron valores previsionales en función de la protección de la salud de la población expuesta. En muchos países existen actualmente valores de referencia de calidad o también estándares para limpieza de suelo. Estos trabajan en base a planes de remediación para disminuir el riesgo ambiental y de salud, y no son mandatorios. En consecuencia, en Chile el desafío de establecer normas de calidad química del suelo sigue pendiente. Este esfuerzo debe ir acompañado por un levantamiento extensivo de información para establecer condiciones de *background* geoquímico, como el que realiza el Sernageomin. Cuando esté terminado, el Mapa Geoquímico de Chile mostrará la composición elemental de suelos de todas las regiones. Los primeros resultados ya indican que la alta heterogeneidad del territorio sugiere que no se puede establecer una norma a nivel nacional.

### Efectos en la calidad del aire provocados por los sistemas de calefacción en las zonas rurales y urbanas del sur de Chile

Desde la latitud 35° al sur, las condiciones climáticas en el país inducen una demanda por calefacción residencial que va en aumento a medida que nos movemos hacia el extremo austral. La mayoría de las viviendas en Chile fueron construidas antes del 2007, año que entró en vigencia la normativa de estándares térmicos más exigente en el país (Schueftan y González, 2013); anteriormente solo había una norma para aislación térmica de techos del año 2000 (Schueftan y González, 2015). Por esta razón, el consumo de leña residencial es muy superior al que tendría una vivienda de similar tamaño, en la misma zona climática, pero con buena aislación térmica.

Más del 80% de las viviendas en el sur de Chile fueron construidas antes de que entrara en vigencia la norma del año 2007, lo que pone de manifiesto la escala del problema a nivel país. A esta deficiencia de calidad de la vivienda se añade el contexto socioeconómico nacional, que favorece el uso de leña debido a su bajo precio respecto de alternativas como el gas licuado o la electricidad. En el sur de Chile se usa a menudo una estufa a leña más una cocina a leña, esta última también para calefaccionar.

Desde el punto de vista de los vendedores de leña, preservar leña seca para la venta no es atractivo y esto explica que en Temuco solo 7% de la leña que se vende está certificada de tener humedad bajo 25% (SNCL, 2016; López, 2016); en Valdivia el porcentaje es aún menor (Schueftan y González, 2015). Desde el punto de vista de los consumidores, se agrega el hábito generalizado de operar las estufas con baja entrada de aire por las noches, cargando la estufa antes de retirarse a dormir (SICAM, 2015), lo que aumenta las emisiones por kilo de leña consumida hasta 10 veces respecto de una condición de entrada de aire óptima (Dictuc, 2008; Jordan & Seen, 2005; Hedberg et al., 2006; Tissari et al., 2008). La creciente urbanización añade sectores vulnerables con viviendas pequeñas, lo que se traduce en una alta densidad de emisiones por unidad de área. Se ha observado que en pequeñas localidades y zonas rurales el consumo de leña por vivienda es incluso mayor al urbano (Gomez-Lobo et al., 2006).

Las circunstancias anteriormente descritas, junto con un crecimiento económico y demográfico en todo el país, acompañado de un incremento en el uso de energía de 320% entre 1990 y 2007 (Schueftan y González, 2013), han llevado a un uso extensivo de leña para combustión residencial. Dado que no ha mejorado significativamente ninguna de las condiciones previamente descritas, ha habido un aumento sostenido de las concentraciones ambientales de contaminantes emitidos por la combustión de leña, especialmente las partículas respirables finas o MP2.5. Tomando como referencia la norma anual de 20 ug/m<sup>3</sup>, actualmente las ciudades que presentan mayores concentraciones ambientales de MP2.5 justamente son las de climas más fríos, desde 46 ug/m<sup>3</sup> en Coyhaique hasta 33 ug/m<sup>3</sup> en Rancagua (SINCA, 2016).

En Temuco, un estudio CEDEUS hecho en exteriores (Villalobos y otros, 2017) encontró que en invierno 85% del MP2.5 proviene de uso de leña como combustible en la ciudad, lo cual se puede extrapolar prácticamente a todas las ciudades del sur a excepción del Gran Concepción. En total, hay aproximadamente tres millones de personas expuestas a niveles de contaminación urbana muy superiores a lo establecido en el país, o a lo recomendado por la OMS (10 ug/m<sup>3</sup>, promedio anual). En ambientes interiores, la situación es igualmente preocupante: en Temuco un estudio de CEDEUS de medición de MP2.5 en interiores (Jorquera, 2016) encontró que, en promedio, la concentración interior es un 10% mayor al valor en exterior; además las concentraciones interiores se tienden a equilibrar rápidamente (de una a dos horas) con las del exterior; ambos resultados son consecuencia de las altas tasas de cambio de aire interior - exterior causadas por la poca hermeticidad de las viviendas.

Podemos clasificar las soluciones en corto, mediano y largo plazo de implementación. Las de corto plazo consisten en reemplazar estufas antiguas por equipos nuevos y mejorar la aislación térmica de las viviendas sellando infiltraciones de aire. En el caso de la zona de Temuco-Padre Las Casas, el Ministerio del Medio Ambiente reemplazó 7.700 estufas entre 2011 y 2017, y hasta septiembre de 2017, 8.500 viviendas fueron mejoradas térmicamente. En un plazo de 10 años, el MMA planea realizar 153.000 recambios de estufas y 176.000 mejoramientos térmicos de viviendas en la zona sur (MMA, 2017).

Algunas medidas de mediano y largo plazo son subir el estándar de la norma del año 2007, la que se sabe que es insuficiente (Schueftan y González, 2013), a un estándar más exigente; instalar sistemas de ventilación mecánica en las viviendas (con filtración del aire que ingresa); cambiar cocinas a leña por cocinas a gas, promover el uso de biomasa en equipos de alta eficiencia como estufas y calderas a pellets e incentivar la calefacción distrital en los nuevos proyectos inmobiliarios. En paralelo, se puede educar a la población para que adquiera hábitos de uso de biomasa más sustentables, como evitar la combustión lenta.

Actualmente, las temperaturas en interiores durante el invierno, entre Concepción y Puerto Montt, están entre 14 y 17°C (Bustamante et al., 2009). En el largo plazo la tendencia es que las personas aumenten sus ingresos, aumentando el consumo de energía residencial para conseguir un mejor confort. Aquí vemos un desafío de sustentabilidad: cómo compatibilizar la mejor calidad de vida con una mejor calidad del aire. No parece sustentable que en el sur se siga usando la leña, al menos no como se está haciendo en la actualidad. Esto va a implicar medidas para promover el uso de energías renovables, por ejemplo, viviendas con bombas de calor para diversificar la matriz energética.

### **Calidad del agua: Interacciones entre áreas urbanas y ambientes periurbanos y rurales**

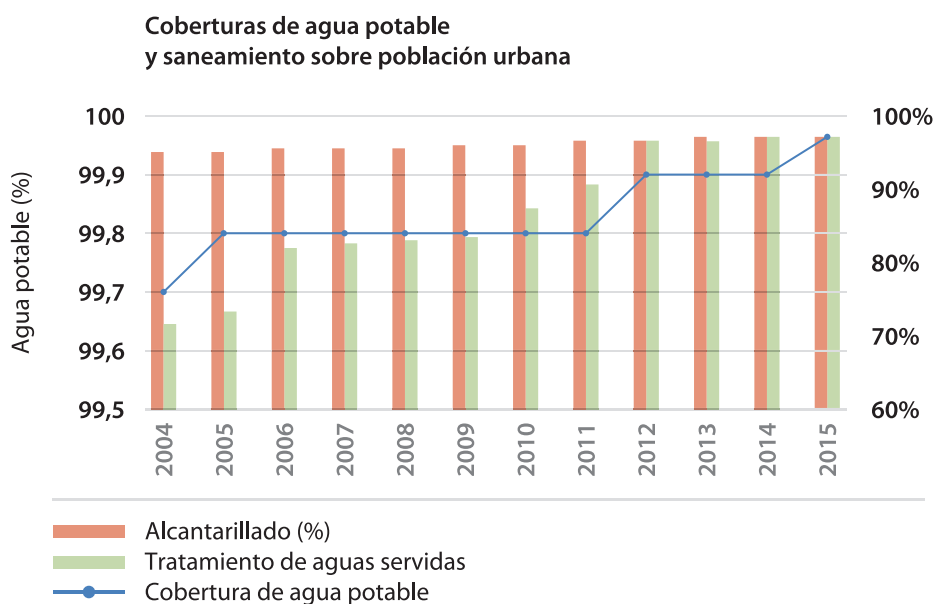
Las cuencas andinas proveen de recursos hídricos superficiales y subterráneos a nuestras ciudades, cuya calidad depende de las características hidrológicas y geoquímicas de la cuenca, así como la intervención antrópica. El diagrama esquemático (Figura 2) presenta interacciones clave asociadas a la calidad del agua, que deben ser consideradas cuando se evalúa la relación entre áreas urbanas, periurbanas y rurales. Por ejemplo, las actividades mineras y enriquecimientos metálicos en zonas cordilleranas en el norte, centro y centro-sur del país pueden comprometer la sustentabilidad de los procesos de abastecimiento de agua en áreas urbanas. Esto hace que sea crítico entender la vulnerabilidad de nuestras fuentes de agua frente a flujos de contaminantes provenientes del drenaje ácido natural, de residuos mineros, industriales, así como a posibles derrames tóxicos.

CEDEUS ha aportado significativamente a entender el comportamiento de los residuos mineros en fuentes de agua potable. Asimismo, se han realizado estudios para entender cómo eventos hidrológicos –como tormentas con isoterma cero elevada– pueden generar condiciones de riesgo que afectan la capacidad de producción de agua potable. La combinación de factores geomorfológicos, los efectos del cambio global, los cambios de uso de suelo, y la destrucción de vegetación pueden afectar seriamente la calidad de la fuente de agua y la infraestructura de tratamiento.

## VÍNCULOS URBANO - RURAL

Por otro lado, después de que el agua es consumida, nuestras ciudades generan aguas residuales que se devuelven a los sistemas acuáticos naturales. Datos del año 2015 (Figura 3) indican que existe un 99,97% de cobertura de agua potable, 96,8% de alcantarillado y 99,85% de tratamiento de aguas servidas recolectadas mediante sistemas de alcantarillado (96,65% respecto de la población total estimada), logrando los objetivos de desarrollo del milenio de las Naciones Unidas tanto para acceso a agua potable como para saneamiento (UNICEF/WHO, 2014). Sin embargo, la cifra considera como saneamiento la disposición de aguas servidas a través de emisarios submarinos. Esto implica una menor exposición directa de la población a las aguas residuales urbanas, pero involucra la descarga de aguas sin tratamiento secundario hacia los sistemas marinos.

Sin duda, el desarrollo sanitario chileno al final del siglo XX implicó un impacto positivo importante en la salud pública y ambiental ligada a los cursos receptores. Pero queda pendiente (1) la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, que constituyen un límite biofísico de sustentabilidad a nivel global (Rockstrom, 2009); (2) evaluar y mitigar la descarga de contaminantes no controlados por los sistemas de tratamiento, como los productos de cuidado personal y los fármacos presentes en las aguas residuales; (3) tener un sistema de monitoreo y vigilancia de calidad del agua más comprehensivo, que considere el desarrollo de modelos conceptuales y cuantitativos de calidad del agua. Esto permite generar conocimiento integrado y sistemático que permita entender y controlar la calidad del agua, que es la base para el desarrollo de políticas públicas para el mejoramiento y protección de la calidad del agua; y (4) evaluar el uso de sistemas de tratamiento más sustentables como humedales o sistemas con fuentes alternativas de energía.



3. [http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=water\\_treat#](http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=water_treat#)

**Figura 3.** Coberturas urbanas de agua potable y alcantarillado 2004-2015. Fuente: elaboración propia datos SISS. Este porcentaje de cobertura considera como tratamiento la disposición de aguas servidas en el mar a través de emisarios submarinos. De acuerdo con datos de la OECD, 24% de la cobertura corresponde a tratamiento primario a 2013<sup>3</sup>.

## Referencias

- Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., Santa María, H. (2009). Eficiencia energética en la vivienda social, un desafío posible. *Camino al Bicentenario, propuestas para Chile*. Santiago. 253–282.
- Calcagni, M. (2016). Screening geoquímico urbano: ocurrencia, distribución y biodisponibilidad de metales y metaloides en matrices sólidas en Copiapó. *Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- Carkovic, A. (2016). Sediment Composition for the Assessment of Water Erosion and Nonpoint Source Pollution in Natural and Fire-affected Landscapes. *Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- Carkovic, A., Calcagni, M., Vega, A., Coquery, M., Moya, P., Bonilla, C., et al., (2016). Active and Legacy Mining in an Arid Urban Environment: Challenges and Perspectives for Copiapó, Northern Chile. *Environmental Geochemistry and Health*, 38(4), 1001-1014.
- CIREN. (1964). Suelos: Descripciones. *Proyecto Aerofotogramétrico Chile/OEA/BID*.
- DICTUC. (2008). *Actualización del inventario de emisiones en las comunas de Temuco y Padre las Casas. Para Comisión Nacional del Medio Ambiente*. Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-46042\\_recurso\\_1.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-46042_recurso_1.pdf).
- Ducci, M. & González, M. (2003). Anatomía de la expansión de Santiago 1990-2001. Instituto de Estudios Urbanos, Facultad de Arquitectura, *Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- Gómez-Lobo A., Lima, J., Hill, C. Meneses, M. (2006). Diagnóstico del mercado de la leña en Chile. *Informe final*. Departamento de Economía. Universidad de Chile.
- Hedberg, E., Johansson, C., Johansson, L., Swietlicki, E., Brorström-Lundén, E. (2006). Is Levoglucosan a Suitable Quantitative Tracer for Wood Burning? Comparison with Receptor Modeling on Trace Elements in Lycksele, Sweden. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(12), 1669-1678.
- Jordan, T. B. & Seen, A. J. (2005). Effect of Airflow Setting on the Organic Composition of Wood-heater Emissions. *Environmental Science & Technology*, 39(10), 3601-3610.
- Jorquera, H. (2016). Antecedentes de la calidad del aire en Temuco – Padre las Casas: ¿Qué pasa dentro de las casas? En Calefacción con biomasa: prohibición vs tecnología. *Santiago: Universidad de Talca*.
- López González, J. (2016). Certificación de leña: una solución a la degradación de bosques y a la contaminación. En Calefacción con biomasa: prohibición vs tecnología. Santiago: Universidad de Talca. McPhee, J., Gironás, J., Fernández, B., Pastén, P. et al., (2015). *Water Security in Chile's Cities: Advances and Pending Challenges. En Urban Water Challenges in the Americas-A Perspective from the Academies of Sciences*, 147-167. México: The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS).
- Memoria Chilena. (2015). *Migración campo ciudad (1885-1952)*. Biblioteca Nacional de Chile, Ministerio de Educación. Disponible en: <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-750.html>.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2016). Chile Informe nacional HABITAT III. Santiago.
- Mielke, H. W., Gonzales, C. R., Smith, M. K., Mielke, P. W. (1999). The Urban Environment and Children's Health: Soils as an Integrator of Lead, Zinc, and Cadmium in New Orleans, Louisiana. U.S.A. *Environmental Research (Section A)*, 81, 117-129.
- Moya, P. (2017). Identificación de fuentes contaminantes en suelos y polvos de calle: el caso de Copiapó, Chile. *Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- ODEPA-CIREN. (2012). Estudio: Impacto de la expansión urbana sobre el sector agrícola en la región Metropolitana de Santiago. *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*. Ministerio de Agricultura de Chile.
- ONU-HABITAT. (2015a). *Habitat III Issue Paper: 10 – Urban-Rural Linkages*. New York, NY.

## VÍNCULOS URBANO - RURAL

- ONU-HABITAT. (2015b). *Habitat III Issue Paper: 16 – Urban Ecosystems and Resource Management*. New York, NY.
- ONU-HABITAT. (2015c). *Habitat III Issue Paper: 17 – Cities and Climate Change and Disaster Risk Management*. New York, NY.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Foley, J. A. et al., (2009). A Safe Operating Space for Humanity. *Natura*, 461(7263), 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
- Schueftan, A. & González, A.D. (2013). Reduction of Firewood Consumption by Households in South-Central Chile Associated with Energy Efficiency Programs. *Energy Policy*, 63, 823–833.
- Schueftan, A. & González, A.D. (2015). Proposals to Enhance Thermal Efficiency Programs and Air Pollution in South-Central Chile. *Energy Policy*, 79, 48-57.
- Seremi MINSAL [Secretaría Regional Ministerio de Salud]. (2011). *Reporte anual de actividades 2011. Plan de Salud de polimetales*. Seremi de salud de Arica y Parinacota.
- Sernageomin. (2015). Catastro de depósitos de relaves. Recuperado el 14 de noviembre de 2016: <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/estudios/Catastro-depositos-relave-de-Chile-julio2015.pdf>.
- SICAM Ingeniería. (2015). Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de concepción metropolitano, año base 2013. Para Seremi del Medio Ambiente Región del Biobío, Gobierno de Chile. Temuco.
- SINCA. (2016). Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Disponible en: <http://sinca.mma.gob.cl/>.
- SNCL (2016). Sistema Nacional de Certificación de Leña. Comerciantes autorizados región de Los Ríos. <http://www.lena.cl/region-de-los-rios/>.
- Tissari, J., Lyyrinen, J., Hytönen, K., Sippula, O., Tapper, U., Frey, A., Jokiniemi, J. et al., (2008). Fine Particle and Gaseous Emissions from Normal and Smouldering Wood Combustion in a Conventional Masonry Heater. *Atmospheric Environment*, 42(34), 7862-7873.
- United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects: 2014 Revision, Highlights*. New York, NY: United Nations Publications.
- United Nations World Water Assessment Programme (2017). *The United Nations World Water Development*.
- Villalobos, A.M., Barraza, F., Jorquera, H., Schauer, J.J. (2017). Wood Burning Pollution in Southern Chile: PM<sub>2.5</sub> Source Apportionment Using CMB and Molecular Markers. *Environmental Pollution*, 225, 514-523.
- Weil R. R. & Brady N.C. (2016). *The Nature and Properties of Soils. 15th Edition*. Columbus, OH: Pearson Education, Inc..
- WHO, UNICEF. (2014). *Progress on Drinking Water and Sanitation 2014 Update*.
- Wong, C. L. (2006). Urban Environmental Geochemistry of Trace Metals. *Environmental Pollution*, 142, 1-16.