

# Arsénico, institucionalidad ambiental y el valor de la vida

Arsenic, environmental institutions and value life

Gerardo Guzmán <sup>1</sup>

## RESUMEN:

---

**E**l Sistema de Evaluación de Impacto ambiental, los Planes de Prevención y Descontaminación además de las normas de calidad ambiental y de emisión han sido pilares de la gestión ambiental en Chile desde la promulgación de la ley de Bases del Medio Ambiente. Más de veinte años después es posible evaluar la eficacia de esos instrumentos.

Arsénico es regulado en la norma de emisión de fundiciones de cobre. El criterio que la informa es arriesgar la viabilidad de las fundiciones. En Codelco Ventanas autoriza a descargar 48 toneladas al año. En el expediente de la norma no hay estudio de respaldo que justifique estas cantidades y su inocuidad para la salud de las personas.

Antes de la promulgación de la ley, el D.S. 185 reguló a las megafuentes industriales, y así se elaboró el primer plan de descontaminación. Allí se establecía que el Ministerio de Salud debía tramitar una norma de calidad del aire para arsénico. Se elaboró una norma cuya vigencia fue de algunos meses. A día de hoy no existe norma de calidad para este contaminante, pese a que la evidencia de su peligrosidad es robusta. Los planes de descontaminación tienen en promedio un tiempo de tramitación, antes de su vigencia, de 5 años. Durante ese periodo no hay medidas de protección para la salud de la población. Planes de descontaminación como las normas de calidad y emisión incluyen un análisis costo-beneficio que asigna valor monetario a la vida humana. Un tema con implicancias éticas debe ser motivo de reflexión. Los desarrollos en la cuantificación de riesgos por exposición a contaminantes debe ser incorporados al actual sistema de gestión ambiental. Hay evidencia disponible sobre daño a la salud de la población por exposición a material particulado grueso y fino, así como particulado ultrafino y una diversidad de químicos transportados por aerosoles atmosféricos.

**Palabras clave:** *Arsénico, Contaminación, Salud Pública.*

El aire limpio es un bien escaso porque la atmósfera es el sumidero de innumerables residuos, y una enorme diversidad de químicos, que en gran medida son el resultado de actividades humanas como es el caso de artefactos y máquinas que utilizan combustibles fósiles. Particularmente lo que se ha denominado la primera revolución industrial fue posible gracias a la abundancia de un combustible que durante millones de años estuvo almacenado en el subsuelo y que al día de hoy sigue siendo un combustible barato para quienes lo utilizan, me refiero al carbón; pero muy caro por sus efectos ambientales y para la salud de quienes están expuestos a los contaminantes que se liberan en la combustión (i.e. material particulado grueso, fino y ultrafino, metales pesados como mercurio, cadmio, níquel y metaloides como arsénico, entre otros) (Linak, 1993). En nuestro país, a pesar del significativo avance en generación eléctrica en base a energías renovables no convencionales, el parque termogenerador a carbón sigue siendo aún de gran importancia.

Con el retorno a la democracia, los temas ambientales comienzan a ocupar espacios cada vez más amplios en la agenda pública. Precisamente los problemas de calidad del aire marcan esa agenda desde inicio de los años 90. Así por ejemplo antes de la promulgación de la Ley 19.300 sobre bases del medio ambiente se crea la Comisión Especial para la Descontaminación de la Región Metropolitana. Sin embargo en

---

Recibido el 3 de enero de 2019. Aceptado el 18 de marzo de 2019.

<sup>1</sup> Biólogo, director de Conama V Región entre 1994-2003. Correspondencia a: gguzman2006@gmail.com

esos años, la ausencia de regulaciones era una limitación muy importante para la implementación de planes de acción que permitieran abordar el problema de la contaminación del aire. En efecto, la Resolución 1215 del Ministerio de Salud que establecía normas para los contaminantes criterio tales como material particulado respirable 10 µm, material particulado sedimentable y óxidos de nitrógeno, entre otros, pero nunca tuvo el respaldo jurídico que permitiera su aplicación en todo el territorio nacional.

Por su parte, la contaminación de origen industrial tenía, y aún al día de hoy, a las fundiciones de cobre como protagonistas, ya que liberan al ambiente grandes cantidades de material particulado, dióxido de azufre, arsénico y metales pesados como mercurio, cadmio y plomo. Con el fin de establecer restricciones a las emisiones de ciertos contaminantes, para los cuales no existían normas se promulgó el año 1991 el D.S. 185 que expresamente señala que tiene por objeto regular a las megafuentes, es decir aquellas fuentes industriales que emiten al día más de 3 toneladas de material particulado respirable o 1 tonelada de dióxido de azufre. Este decreto se constituyó en la primera regulación para las fundiciones de cobre que hasta esa fecha no tenían obligación legal de mejorar sus procesos o introducir tecnología que les permitiera abatir contaminación, con la excepción de la fundición Chagres que, por estar localizada en el valle del Aconcagua inició en los años 80 un plan de monitoreo de la calidad del aire y transformaciones tecnológicas como fue la incorporación de un horno flash que le permite controlar una proporción significativa de sus emisiones al aire y de esta forma poder compatibilizar una actividad de alto impacto con la agricultura circundante.

Sin lugar a dudas este decreto fue un hito dada la carencia de regulaciones que permitieran controlar eficazmente la contaminación de origen industrial, pero habiendo transcurrido casi treinta años desde el retorno a la democracia es del todo razonable someter a la institucionalidad ambiental y sus instrumentos a un test riguroso que permita evidenciar, a la luz de los resultados, la eficacia de estos instrumentos, lo que se debiera traducir en la elaboración de propuestas para introducir modificaciones en estos o bien plantear un rediseño de la institucionalidad y sus instrumentos, de tal forma de poner, en primer lugar, a resguardo la salud de la población. Algo que se logra parcialmente con los instrumentos vigentes.

Los tres elementos que confluyen en el título de este artículo tienen por objetivo aportar ciertos

elementos para un debate que nuestro país requiere con urgencia y que se desprenden de los párrafos anteriores. Para tal efecto he centrado el análisis en el arsénico que ya aparece señalado en 1991 en el título del D.S. 185: "...establecimientos emisores de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico en todo el territorio de la República". Sorprendentemente este instrumento no establece una norma de calidad para el arsénico sino que deriva el tema normativo al Ministerio de Salud, y para tal efecto se fija un plazo de 180 días para que dicte el decreto supremo respectivo de la norma de calidad. Este plazo jamás se cumplió.

Tardíamente el Ministerio de Salud elabora una norma de calidad primaria para el arsénico, pero el D.S. 477 de 1994 que dio origen a la norma fue prontamente derogada al cabo de 4 meses de su entrada en vigencia. En síntesis, el arsénico es un buen indicador de la evolución o trayectoria que ha tenido el tratamiento de temas ambientales relevantes en nuestro país, poco antes de la promulgación de la Ley 19.300, y luego cuando se pone en marcha la nueva institucionalidad ambiental con la Comisión Nacional del Medio Ambiente hasta el momento presente cuando la institucionalidad tiene desde 2010 rango de ministerio. Una buena pregunta sería: si con más recursos; monetarios y humanos el Ministerio es más eficaz que la CONAMA o básicamente lo que cambió fue el nivel de burocracia estatal en la gestión ambiental. En otras palabras: ¿Acaso se hace lo mismo con más?

#### **EL D.S. 185 EN EL ORIGEN DE LA LEY 19.300 Y LOS INSTRUMENTOS: PLANES DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN Y EL REGLAMENTO PARA NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE EMISIÓN**

---

Se podría decir que el D.S.185 es el tronco del cual se derivan las normas de calidad ambiental y de emisión de la Ley 19.300, al igual que los planes de prevención y descontaminación. En efecto, la ley recoge los criterios para establecer planes de prevención y descontaminación de este instrumento. A su vez el decreto define zona latente y saturada y fija los estándares de calidad del aire para los episodios críticos. El D.S. 252 de 1992 fijó el cronograma de reducción de emisiones de material particulado respirable (MP10) y dióxido de azufre para la fundición de ENAMI Ventanas y Chilgener Ventanas (actualmente AES GENER) en lo que fue el primer plan de descontaminación

que se implementó en Chile. Para el abatimiento de las emisiones de dióxido de azufre, el plan establecía que durante los primeros 5 años ENAMI mantuviera el nivel basal de emisiones de este contaminante.

En sencillo; durante los primeros años de vigencia de este plan, ENAMI estuvo amparada por el plan para seguir contaminando. Lo esperable era que en los futuros planes se recogieran los aprendizajes para hacer de éste un instrumento robusto que permitiera abordar de manera eficaz la contaminación en zonas donde los niveles elevados de algunos contaminantes implicaban riesgos altísimos para la salud de la población. Al día de hoy podemos decir que los planes de descontaminación en rigor sólo se focalizan en el control de las emisiones, de tal forma de recuperar valores de las normas que no impliquen mayor riesgo para la salud de la población. Esto es en el rango que se extiende entre el 80 y 100% del valor de la norma de calidad o superior, pero en modo alguno estos planes se relacionan con acciones dirigidas a descontaminar un área impactada por la contaminación. Esto lo podemos ejemplificar con el impacto en el suelo, agua y ecosistemas de las emisiones al aire de la fundición de cobre Ventanas y las termoelectricas a carbón. La fundición descarga por chimenea y fundamentalmente como emisiones fugitivas más del 70% de sus emisiones totales. Ambos establecimientos industriales descargan material particulado respirable y asociado a él metales pesados tales como arsénico, cadmio y mercurio (Romo-Kröger, 1994). Algunos de ellos se volatilizan a elevadas temperaturas y luego llegan al suelo, agua y ecosistemas como deposición seca. Tanto el arsénico como el mercurio no se degradan y pueden permanecer inalterables durante un tiempo prolongado en el sistema donde han precipitado y contaminado. Por ejemplo, el tiempo de retención para el arsénico en el suelo es de 1.000 a 3.000 años (Matschullat, 2000).

Evidentemente, un plan de descontaminación debiera hacerse cargo de estos impactos, lo contrario significa sobre-simplificar un problema complejo. El reglamento para los planes de prevención y descontaminación solo considera las normas de calidad que se encuentran vigentes en el país. Eso es concordante con la definición de contaminación de la Ley 19.300. En el caso del arsénico solo existe norma de emisión por lo tanto este contaminante no puede ser incluido en un plan de descontaminación. Para ilustrar un poco más el significado de una descontaminación me referiré a un instrumento utilizado por la Agencia

de Protección Ambiental de Estados Unidos; el denominado Superfondo que consistía en un fondo muy abultado de recursos que se utilizarían para descontaminar sitios industriales. A poco andar las autoridades ambientales pudieron constatar que se necesitarían varios "Superfondos" para lograr cumplir con la meta de descontaminar un gran número de sitios contaminados que inicialmente se habían identificado. Esto generó un profundo debate en el sector académico. La Academia Nacional de Ciencias publicó un libro que da cuenta de un elemento central en este debate, cual es el de la biodisponibilidad de contaminantes en el ambiente (NRC, 2003).

El plan de descontaminación de Ventanas se aprobó un año después de la entrada en vigencia del D.S.185. En cambio, los planes con la Ley 19.300 cuentan con un procedimiento de aprobación que se extiende en promedio cinco años. Es decir, una vez registrados un cierto número de excedencias en los valores de calidad de alguna norma de calidad ambiental, se decreta establecer monitoreo de calidad del aire por 3 años para que la data cumpla con el requisito para declarar zona saturada. Luego viene la elaboración del plan de descontaminación propiamente tal, que en promedio, considerando la mayoría de las ciudades del sur de Chile que han sido declaradas zonas saturadas, se extiende por un periodo de dos años. Sin embargo en el caso de Coyhaique el plan fue aprobado luego de 3 años y siete meses. En resumen, los plazos que se fija la autoridad para implementar un plan de descontaminación a todas luces, exceden lo razonable que el organismo humano deba soportar por exposición a niveles peligrosos de contaminantes en el ambiente. En síntesis, los planes de descontaminación en Chile son esencialmente reactivos, es decir se implementan luego de años de haberse verificado una situación de alto riesgo para la salud de la población.

### **ARSÉNICO EN LA LITERATURA ESPECIALIZADA Y LA NORMATIVA AMBIENTAL CHILENA**

Desde hace bastantes años el arsénico ha sido motivo de estudios rigurosos en el mundo académico y otros encargados por la Organización Mundial de la Salud para establecer recomendaciones normativas. Por su parte la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha desarrollado estudios muy concluyentes sobre este contaminante (IARC, 2012) clasificándolo en el grupo 1 de sustancias cancerígenas

puesto que la evidencia científica acumulada no dejan lugar a dudas de su peligrosidad. Si bien existen fuentes naturales de este metaloide como pueden ser las erupciones volcánicas y aerosoles marinos (Bowell, 2014). En la zona saturada de Concón, Quintero y Puchuncaví las principales contribuciones de este contaminante al ambiente se relacionan con la actividad industrial. En particular, las fundiciones de cobre y las termoeléctricas que utilizan carbón como combustible.

En Chile, la minería y algunos procesos de combustión pueden representar una fuente importante de arsénico en el ambiente. En el expediente del fallido plan de descontaminación para la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví de 2016, se puede encontrar un estudio de la deposición seca y algunos contaminantes como los BTEX (benceno, etilbenceno, tolueno y xileno) en la zona saturada. El estudio realizado por el CENMA, y encargado por el Ministerio de Medio Ambiente, confirma algunos hallazgos como el de Gidhagen (Gidhagen, 2002) los que indican que la distribución del arsénico es más amplia que la zona de impacto de las emisiones de la fundición de cobre Ventanas. Sin embargo, el plan de descontaminación, que se encuentra en su fase final de elaboración, no considera implementar monitoreo de material particulado sedimentable.

Luego del efímero ejercicio realizado por la autoridad de normar calidad para el arsénico, hasta el día de hoy no existe declaración o documento alguno del Ministerio de Medio Ambiente que indique la necesidad de establecer una norma de calidad primaria para este contaminante, a pesar de que las evidencias aconsejarían darle prioridad, considerando el resguardo a la salud de la población. Una muestra elocuente es que entre los antecedentes del plan de descontaminación de 2016 se incorporó al expediente los datos de los filtros de la red de monitoreo en Quintero-Puchuncaví, los cuales indican altísimos niveles de arsénico. En algunos casos superando hasta 15 veces la norma vigente en la Unión Europea de 6 ng/m<sup>3</sup> [directiva Europea]. Eso significa que la zona de Quintero-Puchuncaví se encuentra sobresaturada en arsénico. Al parecer eso no inquieta a la autoridad ambiental. El año 2013 se promulga la norma de emisión de arsénico que regula solo a las fundiciones de cobre. Curiosamente la autoridad omite las emisiones de las termoeléctricas que utilizan carbón, en cuya composición se encuentra arsénico, cadmio y mercurio, entre otros. La norma de emisión de arsénico para las fundiciones de cobre se estableció en base a 11 criterios. El primero de

ellos señala expresamente que la norma no puede poner en riesgo la viabilidad de las fundiciones. No deja de llamar la atención que no existe ningún estudio en el expediente que señale la inocuidad de las emisiones autorizadas a las fundiciones para la salud de la población.

En el caso de CODELCO Ventanas se le autoriza para descargar al ambiente 48 toneladas de arsénico al año. Adicionalmente habría que señalar que la norma de emisión está referida a arsénico total, la especiación del contaminante no está considerado en el reporte de las emisiones. Precisamente los estudios disponibles al día de hoy indican que el arsénico en sus formas inorgánicas como trióxido o pentóxido son las más tóxicas (Cohen, 2013). Las señales que da la autoridad al regular solo las emisiones de arsénico de las fundiciones de cobre, teniendo como limitante que la norma no ponga en riesgo la viabilidad de las fundiciones es una muestra irrefutable de la ausencia de una preocupación y, consecuente con esto, medidas de resguardo para la salud de la población. Sin duda estos criterios normativos no pueden dejar indiferente, toda vez que por el imperio de la ley son los organismos competentes del Estado los que deben establecer regulaciones ambientales que permitan poner a resguardo, en primer lugar, la salud de la población. Evidentemente al normar solo la emisión sin tener ningún objetivo de calidad que cumplir, lo esperable es que existiendo un permiso para emitir a las fundiciones, no existe incentivo alguno para ir más allá de esta licencia otorgada y así disminuir la carga de este contaminante en el ambiente. Es importante señalar que la larga vida media del arsénico en el ambiente conduce indefectiblemente a la acumulación de este contaminante en el suelo, biota y acuíferos. Un ejemplo del cual Chile debiera aprender es Canadá, país que tiene un fuerte componente minero en sus actividades económicas al igual que Chile pero que sin embargo pueden exhibir tendencias decrecientes de este contaminante en el medio ambiente (Wang, 2006). La zona saturada de Concón, Quintero y Puchuncaví necesita con urgencia disponer de información no solo del nivel de riesgo a que están expuestas las poblaciones aledañas al complejo industrial sino también pesquisar la trayectoria de este contaminante en los ecosistemas terrestres y dulceacuícola, que deriven en un plan integral para la descontaminación de la zona. Evidentemente eso excede los alcances de un plan de descontaminación.

Desde hace bastante tiempo las emisiones de las fundiciones de cobre han sido objeto de estudios,

tanto para los impactos en zonas aledañas a estas instalaciones (Carrizales, 2006; Cordier, 1983) como el impacto en la salud de los trabajadores (Enterline, 1982; Viren, 1994). La fundición de CODELCO Ventanas (ex ENAMI) tiene un macabro record de ex trabajadores con altísimos niveles de cobre y arsénico en sus cuerpos, los llamados “hombres de verde”, lo que nos retrotraen a los tiempos de la revolución industrial. Sorprendentemente en Chile no se realiza este tipo de estudios. En la literatura especializada es posible encontrar diversas soluciones para capturar gases y partículas contaminantes, incluyendo arsénico (Luo, 2010). Por ejemplo se ha descrito un desarrollo tecnológico bastante eficiente para capturar arsénico en fundiciones de cobre, pero requiere que la fundición realice lavado de gases. Por lo tanto la fundición de cobre de CODELCO Ventanas no podría implementar esta solución porque más del 70% de sus emisiones son fugitivas.

### **LAS NORMAS Y PLANES, EL ANÁLISIS COSTO BENEFICIO Y EL VALOR DE LA VIDA**

---

Los procedimientos establecidos en los reglamentos para dictar normas de calidad ambiental y de emisión y los planes de prevención y descontaminación incluyen un Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES). Esta metodología se basa en el análisis costo-beneficio, la cual es aplicada durante el proceso de elaboración de normas de calidad ambiental y de emisión y en los planes de prevención y descontaminación. Este método de análisis ha sido objeto de fuerte controversia, principalmente en Estados Unidos donde se utiliza rutinariamente en procesos normativos ambientales.

Quienes han manifestado dudas de los criterios utilizados, particularmente para valorizar la vida humana (Broome, 2018; Frank, 200; Heinzerling, 2004; Heinzerling, 2002) señalan que precisamente allí radica el problema metodológico más de fondo porque traduce un tema valórico, esto es el valor de la vida humana, a un valor monetario expresado en dólares o UF, es lo que denominan “el valor estadístico de la vida”. Este concepto está sujeto a múltiples interpretaciones, muchas de ellas exceden el ámbito económico. Para la aplicación del análisis costo beneficio en los planes y normas ambientales en Chile, el DICTUC elaboró una guía metodológica donde se echa de menos una reflexión sobre el concepto que traduce

la vida a un valor monetario. Es evidente que este análisis aplicado a la evaluación de factibilidad de un negocio es del todo pertinente, pero completamente discutible en el plano de las regulaciones ambientales por el enorme significado moral involucrado.

Por ejemplo cuando el AGIES para la norma de emisión de arsénico valorizó la vida humana o su valor estadístico en US \$390.500 sin precisar si esta valoración está referida solo al segmento de la población más vulnerable a la contaminación o bien es una estimación pareja independiente de aspectos etarios, salud u otros. Aunque si le ponemos el apellido “estadístico” debiera haber alguna mención a las probabilidades de fallecer por causas naturales o la contaminación. La citada norma asigna una cierta cantidad de toneladas de arsénico que las fundiciones de cobre pueden liberar al ambiente. La fundición Codelco tiene permiso para descargar al ambiente 48 toneladas de arsénico al año.

Cualquier persona que revise el expediente disponible en la web del Ministerio de Medio Ambiente notará que no existe un estudio de respaldo que permita demostrar que 48 toneladas de arsénico son inocuos para los habitantes de las comunas de Quintero, Puchuncaví y también para Quillota y Concón. Bastaba que las autoridades del Ministerio de Medio Ambiente y también de Salud, consultaran la Guía OMS para Europa (WHO, 2000) donde se indica el riesgo de fatalidad por exposición de arsénico en aire es de 1 en 10.000 cuando este contaminante se encuentra en una concentración de 66 ng/m<sup>3</sup>. En absoluto esto significa poner alarmas en un tema que fue abordado de manera de proteger a las empresas y no a la población, sino por el contrario poner de manifiesto que una norma de emisión tiene mucho sentido cuando se trata de un mecanismo para administrar la calidad ambiental, de lo contrario se transforma simplemente en un permiso para contaminar.

Algo muy parecido a la norma de arsénico es el valor, traducido a UF del día de hoy, para la vida estadística del AGIES en el Plan de descontaminación de Concón, Quintero y Puchuncaví. No deja de llamar la atención que para valorizar la mortalidad prematura se consideró el material particulado y ozono troposférico aunque este último contaminante no es monitoreado en la zona saturada. Tampoco se valorizaron los efectos de la contaminación en los ecosistemas. Además la contabilidad de las muertes evitadas producto del plan considera el periodo 2018-2030 es decir

resultados positivos desde antes de ejecutar el plan; algo insólito. En resumen el AGIES para el plan de descontaminación Concón, Quintero y Puchuncaví reduce el problema a una pocas variables intervinientes y obviando otros elementos de gran importancia que, al ser ignorados no pueden explicar parte de los beneficios del plan o bien podría quedar de manifiesto que el plan no puede entregar resultados de efectividad porque precisamente no incluye variables que tal vez sean relevantes a la hora de implementar medidas para resolver el problema.

El debate sobre el valor de la vida en el contexto del análisis costo beneficio lleva varias décadas en Estados Unidos y al día de hoy la controversia no ha sido zanjada. Aunque en Chile no ha sido motivo de reflexión ni siquiera en el ámbito académico, aunque el tema a mi juicio es de la mayor relevancia. Por ejemplo, la comunidad de Quintero y Puchuncaví que se ha movilizó por los episodios de intoxicación han reclamado de manera persistente que en Chile se adopten normas OMS que para material particulado fino y grueso son el doble más exigentes que las vigentes en el país. Eso significa que si se adoptan estas normas, el nivel de protección para la salud de la población se incrementa significativamente.

### **OMISIONES, DEFICIENCIAS E INCONSISTENCIAS EN LOS INSTRUMENTOS DE LA LEY**

---

Sólo con la finalidad de ilustrar algunos temas ambientales que requieren un tratamiento más riguroso, me referiré a dos contaminantes que son motivo de especial preocupación en el mundo académico y la OMS. Uno de ellos, el mercurio ha sido objeto de un Acuerdo Internacional recientemente suscrito por Chile, el denominado Acuerdo de Minamata (D.S.269/2018) que tiene por objetivo proteger la salud de la población y los ecosistemas. Este Acuerdo en su artículo 8 se refiere al control y reducción de emisiones para fuentes puntuales. Para el cumplimiento de este aspecto del Acuerdo será preciso corregir algunas situaciones como en la evaluación ambiental de algunos proyectos de centrales termoeléctricas a carbón, como por ejemplo, la central Campiche en Ventanas, comuna de Puchuncaví. El titular en la declaración de emisiones omite las descargas por chimenea de arsénico y mercurio. Yudovich y Ketris (Yudovich, 2005) señalan que en las cenizas del carbón, el arsénico se concentra cinco veces más que el del carbón mineral. Por su parte,

Tchounwou identifican seis países donde la población está muy expuesta al arsénico entre ellos Chile (Tchounwou, 2012). El mismo artículo reconoce que los siguientes metales o metaloides deben tener un tratamiento prioritario por su peligrosidad: arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio.

En Chile se encuentran vigentes dos normas de emisión para procesos industriales que liberan al ambiente flujos másicos elevados de los contaminantes antes señalados (i.e. norma de emisión de fundiciones y norma de emisión de termoeléctricas). Para las emisiones de mercurio en las fundiciones de cobre se pide a las empresas reguladas: “medir e informar los niveles de mercurio porque se espera que las emisiones de estas sustancias tóxicas se reduzcan producto de las mejoras aplicadas”. Con el Acuerdo de Minamata vigente se esperaría que estas laxitudes normativas sean corregidas.

### **ELEMENTOS PARA COMPRENDER LA COMPLEJIDAD AMBIENTAL DE CONCÓN QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ A LA LUZ DE NUEVOS HALLAZGOS EN LA CIENCIA**

---

En párrafos anteriores he tratado de dejar en evidencia las falencias de los planes de descontaminación y los procesos normativos. Lo primero que debemos enfatizar es que los planes de descontaminación no descontaminan; solo establecer restricciones a las emisiones con el fin de alcanzar en un periodo determinado de tiempo los valores de normas de calidad que se establecen como objetivo del plan. Lo segundo es que estos planes simplifican, a mi juicio, en extremo situaciones de suyo complejas. El espacio geográfico donde se localizan las tres comunas de la zona saturada: Concón, Quintero y Puchuncaví comparten junto con una calidad del aire de riesgo para la población, el hecho que todas ellas son comunas costeras. Esto no es un mero detalle sino un tema tremendamente relevante para comprender la complejidad ambiental de la zona saturada. El ecosistema marino es fuente de aerosoles y algunos halógenos de gran importancia para las reacciones químicas que ocurren en la tropósfera. Por ejemplo la volatilización de cloro a partir de aerosoles marinos es la fuente más importante de cloro inorgánico en la tropósfera (Andreae, 1997). Los principales iniciadores de los procesos químicos que se desencadenan en la franja troposférica que limita con el medio marino son

los radicales hidroxilos durante el día, los radicales libres de nitratos por la noche y el ozono tanto de día como de noche (Finlayson-Pitts, 2000).

Establecer un nivel básico de comprensión de procesos relacionadas con la química heterogénea en la tropósfera así como la trayectoria de algunos contaminantes en los ecosistemas marino, terrestres y tropósfera además de los ingresos, transformaciones y salidas de contaminantes de estos ciclos biogeoquímicos, es de la mayor relevancia al momento de definir planes que se hagan cargo de manera sistémica de los principales elementos que inciden en los niveles de riesgo de exposición a la contaminación principalmente en zonas saturadas como Concón, Quintero y Puchuncaví. Insistir en una forma extremadamente simplificada y sesgada de la contaminación en absoluto se condice con los hallazgos que se han producido en la investigación científica de estos temas. Cabe señalar que se han reportado daños incluso a nivel celular debido a las partículas ultrafinas (i.e. < 0.1µm), al igual que el estrés oxidativo por exposición a contaminantes (Li, 2003). Tiempo atrás se pensaba que regulando el material particulado fino era suficiente para poner a resguardo la salud de la población. Sin embargo ese paradigma pierde sustentación cuando se descubre que el tamaño del particulado no define per se sus efectos en la salud de la población y que su composición es de importancia para establecer relación causa-efecto (Ostro, 2007). La exposición a contaminantes en bajas dosis tampoco es inocuo para la salud de la población (Riva, 2011). Finalmente un área donde se han producido grandes avances dice relación con algo que se podría entender como una obviedad, en el futuro se debiera avanzar hacia una gestión de la contaminación que considere múltiples contaminantes a la vez porque estos no se comportan de manera independiente cuando están presentes en el aire que respiramos (Dominici, 2010).

## REFERENCIAS

Andreae, M., Crutzen P (1997). Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, 276:1052-1058

Bowell, R.J., C.N. Alpers (2014). The environmental geochemistry of arsenic. An overview. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 79:1-16

Broome, J. (1978). Trying to value a life. *Journal of Public Economics*, 9:91-100

Carrizales, L. et al. (2006). Exposure to arsenic and lead of children living near a copper smelter

in Sa Luis Potosi, Mexico. Importance of soil contamination for exposure of children. *Environmental Research*, 101: 1-10

Cohen, S.M. et al. (2013). Evaluation of the carcinogenicity of inorganic arsenic. *Crit. Rev. Toxicol.*, 43:711-752

Cordier, S. et al. (1983). Mortality patterns in a population living near a copper smelter. *Environmental Research*, 31:311-322

Dominici, F. et al. (2010). Protecting human health from air pollution: Shifting from a single pollutant to a multipollutant approach. *Epidemiology*, 21:187-194

Enterline, P.E., G.M. Marsh. (1982). Cancer among workers exposed to arsenic and other substances in a copper smelter. *American Journal of Epidemiology*, 116:895-911

Finlayson-Pitts, B., J.C. Hemminger. (2000). Physical chemistry of airborne sea salt particles and their components. *J. Phys. Chem. A.*, 104:11463-11477

Frank, R.H. (2000). Why is cost benefit analysis so controversial? *Journal of Legal Studies. University of Chicago*, 29:913-930

Gidhagen, L. et al. (2002). Anthropogenic and natural levels of arsenic in PM10 in Central and Northern Chile. *Atmospheric Environment*, 36:3803-3817

Heinzerling, L. (2000). The rights of statistical people. *Harv. Envtl. L. Rev.*, 189:200-207

Heinzerling, L. y Ackerman, F. (2002). Pricing the Priceless. Cost benefit analysis of environmental protection. *University of Pennsylvania Law Review*, 150:1553-1584

IARC. (2012). *Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of the human carcinogens*. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France:100C

Li, N. et al. (2003). Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environmental Health Perspectives*, 111:455-460

Linak, W.P. y J.O.L. Wendt (1993). Toxic metal emissions from incineration: mechanisms and control. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 19:145-185

Luo, T. et al. (2010). Arsenic removal and recovery from copper smelting wastewater using TiO<sub>2</sub>. *Environmental Science and Technology*, 44: 9094-9098

Matschullat, J. (2000). Arsenic in the geosphere. A review. *The Science of the Total Environment*, 249:297-312

NRC (2003). *Bioavailability of contaminants in soils and sediments. Processes, tools and applications*.

Washington D.C.: The National Academies Press.

Ostro, B. et al. (2007). The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: Results from CALFINE. *Environmental Health Perspectives*, 115:13-19

Riva, D.R. et al. (2011) Low dose of fine particulate matter (PM2.5) can induce acute oxidative stress, inflammation and pulmonary impairment in healthy mice. *Inhalation Toxicology*, 23:257-267

Romo-Kröger, C.M. et al. (1994). Heavy metals in the atmosphere coming from a copper smelter in Chile. *Atmospheric Environment*, 4:705-711

Tchounwou, P.B. et al. (2012). Heavy metals toxicity and the environment. En Luch, A (ed.) *Molecular, clinical and environmental toxicology*,

3:131-164

Viren, J.R. y A. Silvers. (1994). Unit risk estimates for airborne arsenic exposure. An updated view based on recent data from two copper smelter cohorts. *Occupational and Environmental Medicine*, 52:28-32

Wang, S., Mulligan, C.N (2006). Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution. *Science of the Total Environment*, 366:701-721

WHO (2000). *Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition*. WHO Regional Publications. European Series N° 91

Yudovich, Ya.E., M.P. Ketris (2005). Arsenic in coal: A review. *Coal Geology*, 61:141-196