

**CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD
(FIC) AYSÉN 2018
ENTIDADES RECEPTORAS**

**FORMULARIO
PRESENTACIÓN DE INICIATIVAS**

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA INICIATIVA

1.1 Nombre de la Iniciativa

Innovación integral de evaluación/exposición a contaminantes

No más de 60 caracteres

1.2 Período de ejecución

Duración (meses): **36 meses**

Fecha inicio proyectada: **Enero 2019**

1.3 Ubicación y Cobertura territorial:

Indique localidades, comunas y/o provincias para:

- a) Ubicación del proyecto: esta iniciativa se ejecutará en la ciudad de Coyhaique, capital de la Región de Aysén, que cuenta con una población de 55.100 hbs, según el Censo 2017.
- b) Ubicación de beneficiarios: Corresponde a la totalidad de la población expuesta en el área declarada como saturada.

1.4 Beneficiarios

Número de beneficiarios diferenciados por género. (Caracterización, cuantificación y descripción)

Usuarios según sexo: hombres: 27.411 mujeres: 27.689

Grupo de edad:

0 a 9 años: 8.557

10 a 19 años: 8.668

20 a 29 años: 7.614

30 a 39 años: 8.511

40 a 49 años: 7.799

50 a 59 años: 6.534

60 a 69 años: 4.243

70 a 79 años: 2.117

80 a 89 años: 894

90 a 99 años: 145

Más de 100 años: 18

Población total: 55.100 personas

1.5 Monto Iniciativa

Solicitado Total a FIC : \$ 200.000

Solicitado a FIC 2018 : \$ 0

Aporte Propio¹ : \$ 21.259

Aporte Asociados : \$ 46.563

Monto Total : \$ 267.822

1.6 LINK VIDEO:

<https://www.youtube.com/watch?v=sQKzdzuDhoE&feature=youtu.be>

¹ Al menos el 5%, entre aportes propios y de asociados, debe ser pecuniario.

1.7 Resumen ejecutivo:

Indique brechas abordadas, mérito innovador de la solución propuesta, objetivo general y principales resultados y productos.

Dentro de las exigencias del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para MP10 de la ciudad de Coyhaique, está la realización de estudios para evaluar el impacto y efectividad en salud de las Estrategias de Gestión Ambiental (EGAs) consignadas [1]. Durante los años 2014-2016 se evaluó en un estudio epidemiológico ecológico (FONIS N° SA15I20207), la asociación entre la exposición a MP_{2.5} **ambiental** y el riesgo de ingresos hospitalarios por urgencias respiratorias, observándose una disminución (15%), que estaría asociada al efecto modificador de la intervención “**recambio de calefactores**” [2]. Sin embargo, los diseños ecológicos trabajan con datos agrupados por lo que son susceptibles a sesgos, especialmente lo que se conoce como la “falacia ecológica”, es decir, no podemos inferir los hallazgos de nivel grupal a las personas, razón por la cual se deben realizar estudios analíticos específicos a nivel individual [3]. Considerando que las personas en Coyhaique pasan sobre el 90% del tiempo en espacios interiores, los resultados a nivel “extra muro” no contemplan los efectos por la exposición a contaminantes “intra-muro” [4-9]. De hecho, la composición química de los gases y el MP determinarán los efectos toxicológicos, moleculares y fisiológicos en la salud de las personas, sumados a las características de la exposición, así como los grupos etarios involucrados [10-13]. El objetivo primario de esta investigación es la **caracterización integrada del riesgo en salud humana** a través de la evaluación de la *exposición* extra e intramuros a partículas y gases emitidos durante la combustión a leña al interior de las viviendas, así como la medición de metales pesados presentes en ambas fracciones del MP y en los suelos de Coyhaique y sus alrededores. **El principal resultado** del presente proyecto será una evaluación integrada del riesgo en salud por contaminación atmosférica y medio ambiente en Coyhaique. Este levantamiento es fundamental para los gestores y agentes de regulación sanitaria y del medio ambiente, entre otros, en la evaluación de impacto y efectividad en salud pública de las EGAs que están siendo implementadas según lo establecido en el PDA en la ciudad de Coyhaique. Estas evaluaciones de riesgo en salud son herramientas para la gestión y toma de decisiones en el territorio, principalmente durante procesos de implementación del plan.

Las **brechas que se abordarán** en este estudio son:

- **Realización de un estudio a nivel individual** sobre la exposición a contaminantes del aire y de suelos que nos permitirá evaluar la exposición en forma integrada y caracterizar el riesgo en la salud, lo que permitirá la toma de decisiones en salud y gestión ambiental.
- **Identificación del peligro:** es decir, caracterización química de las partículas en microambientes extra e intradomiciliario a nivel residencial y en recintos escolares, así como la caracterización geoquímica de suelos.
- **Estimación integrada de la exposición** por contaminantes extra e intradomiciliarios a nivel residencial y escolar en población en riesgo.
- **Caracterización integrada del riesgo** en salud por exposición por contaminantes extra e intradomiciliarios a nivel residencial y escolar a través de diferentes vías (MP y Suelos).
- **Relacionar la incidencia** de eventos respiratorios en población vulnerable y su asociación con la evolución de la estrategia de recambio de calefactores en el periodo de estudio.

2. ANTECEDENTES DEL POSTULANTE Y ASOCIADOS

2. ANTECEDENTES DEL POSTULANTE Y ASOCIADOS

2.1 Identificación de la entidad postulante

Nombre	Universidad de Chile
RUT	60.910.000-1
Dirección	Diagonal Paraguay 265. Oficina 1403
Teléfonos	9782125

2.2 Identificación Representante Legal¹

Nombre	Flavio Salazar Onfray
--------	-----------------------

CI	[REDACTED]
----	------------

Dirección	[REDACTED]
-----------	------------

Teléfonos	[REDACTED]
-----------	------------

E-mail	Vicerrector
--------	-------------

Firma ²	
--------------------	--

2.3 Identificación de Representante Técnico

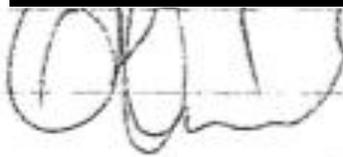
Nombre	Dante Cáceres Lillo
--------	---------------------

CI	[REDACTED]
----	------------

Dirección	[REDACTED]
-----------	------------

Teléfonos	[REDACTED]
-----------	------------

E-mail ³	[REDACTED]
---------------------	------------

Firma	
-------	---



2.4 Presencia Regional del postulante

Refiérase a instalaciones físicas, administrativas, contables y recursos humanos presentes en la región y que el postulante pondrá a disposición para el desarrollo de la iniciativa, refiérase además a la capacidad de gestión técnica y de interacción que tiene con el grupo de beneficiarios directos.

La institución postulante al presente concurso es La Universidad de Chile institución que presenta un estrecho trabajo en colaboración y de cooperación con la Universidad de Aysén, quien cuenta en la región con los siguientes recursos: 25 académicos jornada completa; oficinas de académicos y administrativos en campus Simpson; estación de investigación en Cerro Castillo y que permite realización de reuniones; seminarios, talleres y actividades con académicos y la comunidad, los que serán puestos a disposición del presente proyecto, con el fin de lograr el buen cumplimiento de la presente propuesta:

Respecto a la capacidad de gestión técnica, el equipo es de carácter multidisciplinario donde se conjugan al menos dos disciplinas, Salud y Medio Ambiente. El equipo estará conformado por especialistas del área salud, tanto de la Escuela de Salud Pública de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, como de la Seremi de Salud de la región de Aysén, que tendrán una estrecha relación con la comunidad de Coyhaique. En el caso de la **Seremi de Salud**, profesionales de la Unidad de Vigilancia Epidemiológica colaborarán directamente en la iniciativa, específicamente a través del **coordinador del proyecto, Sr. Marco Acuña, por lo que las dependencias físicas habituales y el recurso humano disponible, serán aportadas al desarrollo del estudio.**

El equipo también estará compuesto por un especialista del área de las Ciencias de la Tierra y medioambiente, responsable de monitorear y analizar dos matrices ambientales, el MP y suelos de la ciudad y sus alrededores, con énfasis en su contenido químico y proveniencia, que generarán información inédita para el área de estudio, así como por un geógrafo, quien será el responsable de espacializar la información recopilada y analizada.

Esta iniciativa considerará la participación de profesionales de las Seremi de Salud y Medio Ambiente como continuidad al proyecto FONIS desarrollado durante los años 2016 y 2017. El objetivo es contar con el involucramiento directo de estas instituciones para generar información científica que permita orientar de forma efectiva y eficaz de las políticas públicas regionales para enfrentar el problema de la contaminación del aire.

2.5 Identificación de asociados	
Nombre asociado 1	Seremi de Salud de la Región de Aysén
Giro	Subsecretaría de Salud Pública
Rut	61.
Dirección	Moraleda N°437
Teléfonos	2261100
Contacto	Alejandra Valdebenito Torres
E-mail	alejandra.valdebenito@redsalud.gov.cl

Nombre asociado 2	Secretaría Regional Ministerial de Medio Ambiente de Aysén
Giro	Subsecretaría de Medio Ambiente
Rut	61.979.930-5
Dirección	Portales N°125, Coyhaique
Teléfonos	Teléfono: (56-67) 2451463 - Fax: (56-67) 2219489
Contacto	Mónica Saldías de la Guarda
E-mail	Seremi de Medio Ambiente

Nombre asociado 2	Universidad de Aysén
Giro	Educación Superior
Rut	61.980.520-8
Dirección	Obispo Vielmo 62, Coyhaique, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo
Teléfonos	(67) 221 4801
Contacto	María Teresa Marshall
E-mail	Universidad de Aysén

3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INICIATIVA

3.1 Mérito innovador

Clara descripción de la iniciativa, su mérito innovador y nivel de diferenciación respecto de soluciones disponibles o iniciativas ya desarrolladas.

La originalidad y mérito innovador de esta iniciativa es la caracterización **de modo integrado el riesgo en salud por exposición extra e intramuros de las personas** a los contaminantes presentes en aire (partículas, gases la combustión a leña), en ambientes residenciales y escolares, así como en suelos de la ciudad y sus alrededores, ya que apunta a evaluar no sólo las estrategias de gestión ambiental en cuanto a su eficiencia, como el caso de los recambios de calefactores, donde es esperable que éstos sean más eficientes en cuanto a emisiones y calidad de la combustión de la leña.

Lo anterior, sobre la base de que las concentraciones extra e intra muro como medioambientales, se encuentran determinadas por una serie de factores que no solo tienen que ver con el tipo de estufa, sino también con el manejo, los comportamientos del entorno, los patrones de actividad de las

personas, las condiciones de la vivienda, las características ambientales exteriores, entre otros.

Por lo tanto, este estudio complementa los primeros estudios analizados en esta materia y permitirá precisar la red causal que caracteriza la exposición y por ende el riesgo, con el objetivo de definir estrategias eficaces de gestión en salud ambiental.

La investigación previamente realizada, demuestra y cuantifica el efecto positivo del recambio de tecnología en la disminución de los niveles de material particulado (MP) ambiental, lo que se refleja en la disminución de la carga de enfermedad respiratoria [2]. Por otra parte, a través de un análisis de series de tiempo, usando la variable compuesta *temperatura de rocío*, conseguimos detectar ondas de aire frío de baja humedad, también detectadas por otros autores, las que se encontrarían asociadas al incremento brusco de material particulado y de enfermedades respiratorias, principalmente virales en periodo de invierno [2]. Estas ondas anómalas de frío extremadamente seco también han sido relacionadas a variaciones climáticas por varios autores [14, 15]. El análisis y discusión se detallan en el informe de FONIS N° SA15I20207, donde se analiza el impacto de las “Ondas de frío de baja humedad y su asociación con la morbilidad respiratoria en la Ciudad de Coyhaique, Chile”, así como su relación con las enfermedades respiratorias virales [2].

Estas condiciones climáticas desfavorables para la salud se suman al hecho que, durante la quema de leña o madera, también se producen gases denominados de “condensación” siendo el complejo molecular “ácido piroleñoso” el mayor representante de esta familia de contaminantes con propiedades corrosivas de mucosas respiratorias. Destacamos que la formación de gases de condensación es exclusiva de la quema de biomasa como madera o cualquier tipo de leña, y se facilita cuando la temperatura de punto de rocío (o de condensación) es baja como lo observado en Coyhaique. Por otra parte, el humo de leña contiene contaminantes muy dañinos para la salud como el material particulado fino ($PM_{2,5}$), el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) los que han sido ligados a una variedad de efectos en la salud como enfermedad respiratoria crónica obstructiva, efectos oculares, efectos del nacimiento, cáncer de pulmón, entre otros [16]. Los PAHs están ranqueados como el séptimo factor de riesgo a nivel mundial [17]. Si bien es cierto a la fecha este es el estudio más completo que se ha realizado sobre el MP atmosférico de la ciudad de Coyhaique, **aún se desconoce su composición elemental química**, razón por la cual esta debe abordarse, ya que permite medir el riesgo al que se encuentra expuesta la población, así como la identificación de otras fuentes contaminantes. Así lo demuestra la experiencia de las otras ciudades del sur de Chile, donde las causales de contaminación no se deben sólo a la combustión de leña, sino a una suma de distintas fuentes contaminantes, cuya identificación ha permitido la regulación de estas.

Por lo tanto, **el carácter innovador de la propuesta** dice relación con dos factores a) el monitoreo integrado mediante la caracterización geoquímica del MP y gases extra e intra muros, así como el monitoreo de suelos de Coyhaique y sus alrededores, con el fin de identificar otras fuentes contaminantes, como por ejemplo, el parque automotriz y por lo tanto, con la posibilidad de normar estas emisiones y detectar el aporte natural, dado que la ciudad de Coyhaique se emplaza en una cuenca rodeada por cordones montañosos, expuestos a los factores climáticos anteriormente mencionados, lo que también hace suponer un aporte natural.

El **segundo factor innovador**, se relaciona con el desarrollo de una metodología que permita la identificación de variables ambientales en el impacto de salud pública. En este sentido, Coyhaique será una experiencia piloto que eventualmente permitiría su aplicabilidad en otras ciudades de la región y/o regiones del país. Los protocolos de monitoreo de las distintas matrices ambientales, normalmente no se relacionan entre sí, distando más aún de los monitoreos epidemiológicos. Es por esta razón que en la presente propuesta se desarrollará una metodología tendiente a la evaluación de las variables ambientales y epidemiológicas en forma integrada [18].

3.2 Objetivo general

Corresponde indicar cuál es el resultado directo a ser logrado como consecuencia de la utilización de los objetivos entregados por el programa. Es decir, la contribución específica a la solución del problema diagnosticado. Se debe tener en cuenta que cada programa tiene un solo propósito u objetivo general.

El objetivo primario de esta investigación es la **caracterización integrada del riesgo en salud humana** a través de la evaluación de la *exposición* extra e intramuros a partículas y gases emitidos durante la combustión a leña al interior de las viviendas, así como la medición de metales pesados presentes en ambas fracciones del MP y en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

3.3 objetivos específicos

Corresponde identificar y describir cuáles son los productos (bienes y/o servicios) específicos que produce o entrega el programa para cumplir su propósito. Cada objetivo debe ser justificado en relación a su contribución al logro del propósito.

El propósito de esta iniciativa es a caracterización del riesgo en la salud por exposición a contaminantes extra e intra muros en microambientes residenciales, escolares y contaminantes de otras matrices ambientales (suelos y MP). Para el logro de este, se deberán realizar de forma consecutiva los siguientes objetivos específicos, donde en cada uno se detalla el producto y/o resultado esperado:

1. Medir los niveles de concentración ambiental intra y extra** muros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

El producto específico aquí será la generación de un modelo que explique la variabilidad de concentraciones ambientales intra y extra muros del MP en ambas fracciones. Para las muestras de suelos de Coyhaique y sus alrededores, se considerarán variables estacionales, meteorológicas, entre otras. De este modo, se podrá contar con una comprensión profunda del comportamiento de los eventos contaminantes pudiendo asesorar a la autoridad, mejorando medidas de mitigación o mejor control de fuentes de emisión.

2. Determinar la composición química intra y extra muros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

En este caso el producto a elaborar, consiste en un marco referencial que abordará la composición elemental de las muestras como variable principal, cuyas concentraciones y variabilidad serán representadas en mapas de distribución espacial intra y extra muros de $MP_{10/2.5}$, gases y de suelos presentes en el territorio. Estos resultados serán analizados y discutidos con estudios realizados a nivel nacional y según normas internacionales. Este producto corresponde al desarrollo de un instrumento que asesorará a la autoridad en la toma de decisiones.

3. Identificar posibles fuentes de origen de los contaminantes determinados intra y extramuros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

El producto que se abordará en este punto, será la identificación de fuentes contaminantes intra y extramuros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como de los suelos de Coyhaique y sus alrededores. En la medida que se cuantifiquen fuentes contaminantes, se podrán mejorar las medidas de fiscalización de las mismas.

4. Evaluar la exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros a través de aire y suelos.

El producto específico aquí será la generación de un modelo de evaluación del grado de exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros de aire y suelos. Para esto se utilizarán estándares nacionales aceptados y se compararán los resultados obtenidos. También se tendrá presente el background en la composición de suelos del área de estudio con el fin de considerar posibles enriquecimientos naturales.

5. Caracterizar el riesgo en salud de las personas por exposición a contaminantes intra y extra muros en el periodo de estudio.

En este punto se aplicará una metodología tendiente a la caracterización del riesgo en salud de las personas, por exposición a contaminantes intra y extramuros y también ambientales durante el periodo de estudio y como resultados se obtendrán los indicadores de riesgo potencial de efectos adversos en la salud. Además, la aplicación del cuestionario de salud nos permitirá evaluar la asociación entre la evolución de la estrategia de gestión ambiental y las incidencias de enfermedades respiratorias.

Para la mayoría de estos objetivos se compararán las situaciones en las residencias con y sin recambio de calefactores a leña, considerando la variable aislación térmica. Las muestras ambientales (suelos y MP atmosférico) serán analizadas según la metodología descrita en metodología (3.11).

****Nota: Cuando nos referimos a intramuros estamos considerando lo “intradomiciliario (residencias) e intramuros de recintos escolares. Extramuro son las mediciones que se hacen fuera del domicilio en espacios exteriores.**

3.4 Pertinencia y aporte de la iniciativa.

Describe el problema a abordar en relación las líneas priorizadas en el punto 3 de las Bases de concurso y su pertinencia con lo descrito en la Estrategia Regional de Innovación.

Coyhaique es una de las ciudades más contaminadas de Latinoamérica especialmente durante la época de invierno por el uso de leña como combustible para calefacción y para cocinar. Esta situación genera un grave problema de contaminación por humo de leña, lo que implica decretar una serie de medidas de gestión ambiental y sanitaria para proteger la población. Sin embargo, estas medidas deben ser evaluadas a través de estudios que permitan correlacionar su impacto en términos exposición y efectos en la salud de las personas. En el marco del proyecto FONIS N° SA15I20207, “**Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria en la ciudad de Coyhaique, Chile: un estudio de series temporales**” [2], iniciado en enero de 2015, se evaluó en un estudio ecológico preliminar, el impacto de las medidas establecidas en el PDA, que vienen siendo implementadas en la ciudad de Coyhaique desde 2016, principalmente lo relativo al “recambio de tecnología de calefacción, consiguiendo importantes avances respecto al entendimiento del efecto ambiental y en salud, de las acciones. Si bien es cierto, los estudios de corte ecológico son eficientes en generar hipótesis a partir de sus hallazgos, son insuficientes para entender una relación causa efecto, ya que trabajan con datos a nivel agrupado, por lo tanto, sus resultados no los podemos extrapolar a los individuos, fenómeno conocido como “falacia ecológica” y por otra parte no podemos controlar por factores confundentes, es decir, otras variables que pueden estar influyendo en los resultados [3]. Para dar mayor consistencia y precisión a los resultados a nivel de las personas y con ello dimensionar con *mayor resolución* la “efectividad en salud” de las medidas incluidas en el PDA, proponemos este estudio epidemiológico analítico, en el que podremos precisar la exposición a nivel de los microambientes interiores donde están las personas y simultáneamente evaluar su grado de exposición a través la determinación de biomarcadores específicos de exposición al humo de leña, lo que nos permitirá precisar la exposición y por lo tanto, caracterizar el riesgo en la salud de la población.

Por otro lado, estos resultados serán complementados con variables extramuros, como la composición química del MP₁₀, MP_{2.5} y de los suelos de la Ciudad de Coyhaique. De este modo, se podrán identificar contaminantes extramuros y potencial vías de exposición, así como otras posibles fuentes contaminantes.

De acuerdo al punto tres de las bases del concurso, en relación a las líneas priorizadas, el actual

proyecto dice relación con el **promover la innovación social al servicio del bienestar social y la equidad**, la innovación social consistirá en el trabajo multidisciplinario entre profesionales del área académica (Universidad de Aysén y Universidad de Chile) y autoridades regionales (Seremi de Salud, Seremi de Medio Ambiente, etc.) que en conjunto realizarán una serie de seminarios dirigidos a la población y a las autoridades con el fin de mostrar los avances en el PDA y los resultados tendientes a la descontaminación de la ciudad, que implicará pasar de una visión sectorial, a un enfoque de tipo sistémico e integrado, entre distintas instituciones públicas, lo que permitirá analizar una misma problemática desde diferentes ángulos, produciendo información necesaria para las medidas y políticas de mitigación. Al llevarse a cabo la caracterización intra y extra domiciliaria de contaminantes ambientales, se estará contribuyendo a mediano plazo con la descontaminación atmosférica de la ciudad de Coyhaique, lo que sin duda será un bienestar social y de equidad, al tratarse de un aire limpio para todos.

El carácter innovador de esta iniciativa radica en la innovación de la gestión pública, quien mejorará los métodos de medición de la contaminación y por lo tanto, se generará una mayor comprensión de los eventos contaminantes, aumentando la calidad y eficiencia de las medidas adoptadas por el PDA tendientes a mejorar la calidad de vida y en particular la calidad del aire respirable.

Por otro lado, la ejecución de la presente iniciativa también implicará el fortalecimiento del capital humano de la región de Aysén, mediante el desarrollo de capacidades y habilidades para la innovación, así como mediante el fomento de una cultura emprendedora y de innovación, lo cual es muy consistente con lo señalado en el **objetivo n° 3 y 5** de la Estrategia Regional de Innovación (ERI), explicada a continuación:

La presente propuesta permitirá fortalecer el 3^{er} objetivo de desarrollo de la ERI, que establece “Disponer de adecuados niveles de capital humano y social que aseguren un proceso de desarrollo endógeno y participativo”. Este objetivo considera entre otras líneas de acción, **el fortalecimiento de centros regionales de investigación superior y de la investigación aplicada, vinculada con el proceso de desarrollo regional**. Por lo tanto, y considerando que el presente proyecto será ejecutado por la Universidad de Aysén quien participa como institución asociada, se dará cumplimiento al propósito de este objetivo, el que establece tener por finalidad transformar la región de Aysén en el mayor laboratorio de investigación aplicada, vinculada a los recursos naturales más importantes del país. El trabajo en colaboración con la Universidad de Aysén y otras instituciones públicas como la Seremi de Salud y Medio Ambiente, tienen como fin la formación de capacidades técnicas alojadas en el territorio con el fin de mejorar los niveles de monitoreo, análisis y caracterización de resultados y así, avanzar hacia políticas públicas regionales vinculadas con un incremento de la calidad de vida de los habitantes de Aysén.

Por otro lado, la ejecución de este proyecto también permitirá fortalecer el 5° eje de desarrollo de la ERI, consistente en “Promover la valoración que tienen los habitantes respecto de su patrimonio ambiental, a través de mecanismos adecuados para su protección y uso sustentable”. Este objetivo considera entre otras líneas de acción, la Conservación y la Protección Ambiental y desde la perspectiva de esta última, se señala que **se deberán reducir los niveles de contaminación atmosférica, en particular en Coyhaique, y avanzar en reducir los niveles de contaminación en sus diversas manifestaciones en el resto del territorio regional**.

3.5 Diagnóstico de la situación actual

Describe qué acciones se han realizado en el ámbito regional, nacional e internacional en relación al problema a abordar y los resultados que se han obtenido. Incluya aspectos técnicos, comerciales, sociales, ambientales incorporar

Diversas ciudades de la zona central y sur de Chile han sido declaradas saturadas por material particulado durante la última década. Entre las más afectadas están Santiago, Temuco y Coyhaique. En esta última ciudad, Coyhaique, el 95% de las partículas emitidas son finas (MP_{2.5}), y están relacionadas a la combustión por leña al interior de las residencias. Según inventario de emisiones, en la ciudad de Coyhaique existen 22.500 artefactos residenciales de combustión a leña distribuidos en 7.775 km² de territorio [19]. Con una población estimada en 55400 habitantes y 23.000 viviendas,

y una emisión anual de 7,4 toneladas de $MP_{2.5}$. Coyhaique fue clasificada por la OMS como la ciudad más contaminada de América Latina [20], ubicada a una altura media de 310 msnm, y al Este (E) de los Andes. En la ciudad confluyen los ríos Simpson y Coyhaique formando una estructura topográfica que dificulta la ventilación atmosférica en invierno, principalmente durante episodios de inversión térmica provocado por ondas de frío extremadamente seca [21]. Esta condición atmosférica relacionada con anomalías o variaciones climáticas, sumada al creciente uso de leña propició la formulación de un Plan de Descontaminación Atmosférica que entró en funcionamiento en marzo del 2016, con el objetivo de cumplir metas de calidad del aire para la protección de la salud. En este plan son establecidas una serie de Estrategias de Gestión Ambiental (EGAs) para disminuir las emisiones residenciales, donde destaca el aislamiento térmico, el recambio de calefactores y sistemas de quema de leña por otros de mayor eficiencia y menor emisión de partículas. Considerando que la directriz de las EGAs es la reducción de las emisiones de MP para la protección de la salud pública, pocos estudios epidemiológicos han estimado el efecto que tiene este tipo de medidas de control ambiental en la carga de enfermedades de la población.

Una de las condiciones que determina la existencia de este problema de salud son las características meteorológicas, geográficas y geológicas, más el uso de leña al interior de las viviendas. Factores determinantes en los altos niveles de exposición a contaminantes aéreos observados en la ciudad de Coyhaique; la suma e interacción de estas condiciones afectan la salud de la población. Los resultados del estudio FONIS [2] evidenciaron que las medidas de recambio tecnológico implementadas por el PDA generaron una disminución en los niveles y las horas de exposición por $PM_{2.5}$, produciendo un “efecto protector” en la población, a través de la disminución del número de ingresos de urgencias hospitalarias por enfermedades respiratorias durante el invierno de 2016, cuando fueron renovados los aparatos de calefacción en 925 viviendas, siendo que la demanda potencial son 30.000 para una población de aproximadamente 55.000 habitantes [2]. A través de un **estudio epidemiológico de tipo ecológico longitudinal**, conseguimos cuantificar una disminución de 15% el riesgo respiratorio en menores de 4 a 15 años (ingresos por urgencias hospitalarias) durante 2016, comparado con el año 2014, cuando no hubo recambio de calefactores, la reducción de la incidencia respiratoria fue casi 50% [2]. Esto es, **la intervención** se asoció a un efecto protector a través de la disminución de los niveles de exposición a $PM_{2.5}$. Sin embargo, este efecto fue sólo aplicable a valores de punto de rocío mayor a 4 °C (punto de condensación), ya que, a niveles inferiores el riesgo se modifica y aumenta exponencialmente. En el mismo estudio, pudimos observar que las tendencias meteorológicas de largo plazo en Coyhaique son a inviernos más fríos y más secos, con una disminución de -0.18 °C/año (Temperatura de rocío). Aunque la razón no está clara, algunos autores relacionan estas tendencias de inviernos más fríos y más secos con variaciones o anomalías climáticas [15, 22, 23]. Se pudo determinar durante el año 2016, la presencia de bruscas variaciones de temperatura ambiental, principalmente de la disminución de la humedad relativa (%HR) del aire en cortos periodos de tiempo (3 a 4 días) < al 20%, relacionadas con ondas de frío (OdF) extremo ($T^{\circ} < -5^{\circ}C$), tuvieron fuerte asociación estadística con el aumento de la concentración atmosférica de $PM_{2.5}$ e ingreso hospitalario por urgencias por causa respiratoria en niños menores a 15 años. La baja humedad puede afectar la salud humana a través de una variedad de mecanismos [24, 25].

Aunque estos hallazgos ayudan a determinar el comportamiento del efecto extra-muro de la exposición a MP (ambiental), lo cierto es que no sabemos la magnitud ni la dimensión del efecto de la contaminación *intra muro* con las medidas adoptadas por el PDA en la ciudad de Coyhaique, como tampoco se conoce el efecto de la composición elemental del MP y gases intra y extramuro, como del entorno medio ambiental. Es decir, **no tenemos certeza** si las partículas y los gases que se emiten exclusivamente cuando se quema leña (independiente de la tecnología) puedan permanecer al interior de las viviendas generando una exposición de riesgo con eventuales efectos en salud de la población. Así como **tampoco se conoce aún la composición fisicoquímica (composición elemental)** del MP en sus fracciones fina y gruesa, lo que también debe precisarse a nivel intra y extra-ambientes, ya que los efectos en salud están íntimamente asociados a la características de las partículas y de la exposición [26-29]. Por otra parte, los niveles bajos de humedad pueden conducir a la deshidratación y promover la propagación de enfermedades transmitidas por el aire, como la Influenza y el virus respiratorio sincicial (VRS), ya que se incrementa la probabilidad de condensación de gases exclusivos de la quema de leña al interior de las viviendas, y por consiguiente la exposición aguda/crónica a gases irritantes de las mucosas respiratorias. **En Coyhaique este efecto en salud no ha sido evaluado.** En Chile, existe amplia investigación de análisis de contaminantes presentes al interior de las viviendas, como también de exposición al humo

de leña en personas, no así del potencial efecto en salud (riesgo/protección) considerando las medidas establecidas en el PDA [30-33].

Por lo tanto, la relevancia de abordar la problemática en salud, en un contexto donde la mayoría de las ciudades de Chile se encuentran con sus atmósferas saturadas por partículas y donde los PDA están siendo implementados en la mayoría de las regiones de Chile, cuantificar el efecto en salud de tales planes es de absoluta relevancia, considerando que el objetivo principal de los PDA es la protección de la salud de la población. Esto es más gravitante aún, en la ciudad de Coyhaique, donde las principales medidas en implementación son la aislación térmica y el recambio de tecnología al interior de las viviendas. Por ende la importancia de acompañar estas medidas con estudios epidemiológicos específicos es trascendental, justamente debido a que tal como sucede cada año, las variaciones o anomalías climáticas, tal como aire frío y extremadamente seco parecen influir también en la salud de la población.

Un interesante estudio conducido por Noonan y colaboradores (2012) en Libby una localidad rural de Montana, EEUU, con características geográficas y meteorológicas muy parecidas a la ciudad de Coyhaique, evaluaron de forma prospectiva el efecto del recambio de 1100 calefactores sobre los síntomas respiratorios en niños, observando que, las infecciones respiratorias disminuyeron significativamente en la población durante el periodo de recambio tecnológico. En otro estudio realizado en la ciudad de Launceston, Australia, Johnston y colaboradores evaluaron el efecto de las estrategias implementadas para reducir la contaminación por leña sobre los indicadores de morbilidad y mortalidad por causa respiratoria. En este estudio, los autores informan una reducción de 60% en los niveles de MP_{10} . Sin embargo, el efecto de esta reducción en los indicadores de salud no fue significativa.

En Chile existen varios grupos de trabajo en el tema de análisis de calidad de aire en ambientes interiores como también de los efectos meteorológicos en la calidad del aire en grandes ciudades. Destacan los grupos de trabajo estudiando los efectos de la contaminación atmosférica y en microambientes en la salud de las personas, en Santiago, Temuco, y otras grandes ciudades de Chile [31, 33-37].

3.6 Resultados esperados

Enumere los principales resultados que se esperan obtener de la ejecución de la iniciativa.

1. Determinación de los niveles de concentración ambiental intra y extra muros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como de los suelos de Coyhaique y sus alrededores.
2. Caracterización de la composición química intra y extra muros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como de los suelos de Coyhaique y sus alrededores.
3. Identificación de posibles fuentes de origen de los contaminantes determinados intra y extramuros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como de los suelos de Coyhaique y sus alrededores.
4. Evaluación de la exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros a través de aire y suelos.
5. Caracterización el riesgo en salud de las personas por exposición a contaminantes intra y extra muros en el periodo de estudio.

3.7 Impactos esperado (económicos, sociales y/o ambientales)

Describe la dimensión, la magnitud y el tipo de los impactos económicos, sociales y/o ambientales que la iniciativa espera causar entre los beneficiarios y la población objetivo.

Tal como se ha planteado anteriormente, uno de los objetivos específicos en el presente proyecto es la evaluación de la exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros y medio ambientales, a través de la caracterización geoquímica del MP, suelos y del riesgo en salud de las personas por exposición a estos contaminantes en el periodo de estudio.

La adquisición y análisis de estos datos serán utilizados en el establecimiento de la asociación entre variables (ambientales y de salud) que permitirá determinar la incidencia de la composición del MP, gases y suelo sobre el riesgo potencial de enfermedades agudas y crónicas asociadas a la exposición a contaminantes ambientales. En la práctica, esta información permitirá evaluar el riesgo y vías de exposición de la población circunscrita a áreas donde existen anomalías (alta concentración de contaminantes), y mejorar políticas públicas relacionadas con el control de emisiones, y de exposición de la población a metales en concentraciones potencialmente dañinas.

En cuanto al impacto económico sobre los beneficiarios, por medio de la ejecución de la presente propuesta se espera a largo plazo disminuir las concentraciones de MP, que según el PDA para la ciudad de Coyhaique, alcanzará concentraciones aceptables el año 2025 y por lo tanto, la tasa de mortalidad de enfermedades no transmisibles vinculadas a contaminación con metales pesados y gases. En otras palabras, se espera evitar la muerte prematura de las personas posiblemente expuestas a estos focos de contaminación.

Un indicador cuantitativo referido a la pérdida que sufre la sociedad por la muerte prematura de las personas es el indicador Años de Vida Potencialmente Perdidos (AVPP). En el caso de la región de Aysén se presentan los AVPP por enfermedad para el año 2014 (ver tabla 1), de los cuales 1.374 AVPP están asociados a tumores malignos, 1.295 AVPP a enfermedades del sistema circulatorio, y 385 AVPP asociados a enfermedades del sistema respiratorio, que serían las patologías más asociadas a la problemática planteada.

Tabla 1.- AVPP por enfermedad para la región de Aysén, año 2014

Enfermedad	AVPP
Enfermedades por VIH	0
Tumores malignos	1.374
Enfermedades sistema circulatorio	1.295
Enfermedades sistema respiratorio	385
Accidentes de transporte	605
Lesiones auto infligidas	451

Agresiones	154
Resto de causas	2.649
Resto de causas externas	833
Total	7.746

Fuente: Extractado de DEIS. Años de Vida Potenciales Perdidos y Tasa de AVPP en Chile según región de residencia y causa. Total años 1997 a 2014

No es fácil predecir el impacto que se podría esperar del diseño e implementación de políticas públicas que se deriven de esta propuesta. Sin embargo, es posible medir el impacto que dichas políticas y las medidas que de ellas se deriven, por cada punto porcentual de pérdida de AVPP que se pudieran evitar de medición de carga de enfermedad.

En efecto, si consideramos los AVPP de estas tres patologías para la Región de Aysén, se tiene un total de 3.054 AVPP para el año 2014. En este sentido, se puede establecer que por cada punto porcentual que los resultados de este proyecto lograrán impactar en esta estadística, se tendría una menor pérdida de 31 AVPP (años de vida que se dejarían de perder). Este es un valor que se podría, además, considerar para establecer la pérdida de productividad que experimentaría la sociedad si no se evitaran esos AVPP. Para ello, considérese el valor del PIB per cápita para el año 2014, el que de acuerdo con cifras del Banco Central de Chile fue de US\$14.629[1]. Entonces, por cada punto porcentual que se evitará de AVPP, el impacto en la producción del país sería de US\$453.499 anuales (US\$14.629 x 31 AVPP). Si se proyectara este impacto a 10 (el impacto se mantiene en el largo plazo), se obtendría una menor pérdida para la región de US\$4.534.990 medido en valor actual.

Si el análisis se realiza con respecto al Ingreso Medio Mensual y se acota a la Región de Aysén, que para el año 2014 presentaba uno de los menores niveles del país, con un valor de M\$483,3 [2], superando solo a las regiones de O'Higgins, Bío Bío y Los Ríos, entonces la pérdida que se evitaría para la región, sería de M\$179.787,6 (M\$12 x 483,3, x 31 AVPP), lo que implica una pérdida a 10 años, expresada en valor actual de M\$1.797.876, equivalentes a US\$2.962 aprox., considerando del valor del tipo de cambio observado al 30 de diciembre de 2014 de \$607,38[3]. Como se puede apreciar, aún sigue siendo un impacto muy significativo que pone de manifiesto la relevancia de generar políticas públicas en esta materia.

Lo anterior es solo uno de los impactos que se podrían esperar, ya que sin duda el hecho de garantizar una mejor salud de la población, reduciendo la incidencia de patologías como las mencionadas, también tendría impactos positivos en la reducción del gasto esperado en salud, y la reducción de licencias médicas.

En efecto, el costo calculado para el mes de mayo del 2013, en pesos chilenos, de las mortalidades por enfermedades no transmisibles en Chile, fue de \$2.350.000 millones (Caro, 2014). Este monto consideró costos directos, como el Gasto Fiscal[4] (FONASA) con \$183.000 millones, el costo asumido por privados (Hogares e ISAPREs) que ascendió a \$206.000 millones, sumando un costo directo total de \$389.000 millones (Caro, 2014), más los costos indirectos, como los años potencialmente perdidos en base al costo salarial con \$410.000 millones, el trabajo no remunerado en el hogar perdido por \$57.000 millones, y los costos por morbilidad que sumaron \$1.490.000 millones, alcanzando un total de \$1.960.000 millones de costos indirectos.

Si consideramos el costo directo descrito en el párrafo anterior, compuesto por el Gasto Fiscal y el costo asumido por privados, lo que da un total para el año 2013 de \$389.000 millones, se constata el impacto que el proyecto tendría por cada punto porcentual que lograra reducir dichos costos. Esto generaría un menor gasto (ahorro de recursos) al año de \$3.890 millones, lo que proyectado a perpetuidad generaría un beneficio económico de \$64.833 millones, medido en valor actual, considerando la tasa de descuento social del 6%. Esto es un valor equivalente a US\$ 131,5 millones de dólares, al tipo de cambio observado al 31 de mayo de 2013 (\$492,80).

A partir de los resultados del presente proyecto se podría esperar que, en un plazo de 10 años, la mortalidad por enfermedades no transmisibles se reduzca, con los beneficios esperados descritos anteriormente.

Cabe destacar que el plan de descontaminación atmosférico asume un impacto de un 1% en una década, para la ciudad de Santiago, lugar cuyas condiciones geográficas, se acercan bastante a las que configuran la Región de Aysén.

Por otro lado, se han considerado tres costos que han sido calculados en pesos chilenos, considerando que, en Chile, en materia de suelos no existe aún una normativa:

1. El costo estimado sin este proyecto para una línea base de suelos en 2 regiones más, sería del orden de los \$2.000.000.000.
2. El costo de Políticas Públicas para Planes de Prevención y control de fuentes con énfasis en metales se determina en base al costo calculado para la norma primaria del plomo, cuyo valor es de aproximadamente \$9.000.000.000. Este monto ha sido considerado como valor referencial, entendiendo que debiera haber un ajuste económico según los parámetros que permiten calcular el costo de esta normativa. Sin embargo, como este es el único metal que a la fecha se ha normado, y dado que su valor fue calculado en UF, hemos tomado este valor guía obtenido a partir del Análisis General del Impacto Económico y Social anteproyecto de norma de calidad primaria para el plomo en el aire (Conama, 2000).
3. El costo que tendría el control de fuentes emisoras, también se basa en el estudio anteriormente mencionado, y alcanza un monto de \$ 48.164.247.000.

Por lo tanto, el costo total suma \$59.164.247.000, equivalente a US\$98 millones, es decir, solo con el 1% de impacto se lograría superar con creces el costo de las medidas de mitigación y remediación.

[1] Banco central de Chile. PIB per cápita, referencia 2013. Visto en:

<https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx>

[2] Síntesis de Resultados NESI. Instituto Nacional de Estadísticas. Visto en:

<file:///C:/Users/carlo/Downloads/s%C3%ADntesis-de-resultados-nesi-2014.pdf>

[3] Banco central de Chile. Visto en:

<https://si3.bcentral.cl/Indicadoresiete/secure/Indicadoresdiarios.aspx>

[4] "Nos referiremos al Gasto Fiscal como los costos directos para el fisco, es decir, los costos visibles asociados al diagnóstico, tratamiento y cuidado de las enfermedades crónicas que son financiados por el gobierno" (Caro, 2014).

3.8 INDICADORES				
Objetivos	Indicador²	Meta³	Medios de Verificación⁴	Supuestos⁵

² Corresponde a una especificación cuantitativa de la relación de dos o más variables (fórmula) que permite verificar el logro alcanzado por el programa en el cumplimiento de sus objetivos. Cuando corresponda los indicadores deben incorporar el enfoque de género y territorial.

³ Corresponde al valor deseado del indicador al término del programa. Cada indicador debe contar con una meta.

⁴ Corresponden a las fuentes de información primaria o secundaria que se utilizaran para obtener los valores de los indicadores que verifiquen el grado de cumplimiento de los objetivos. Fuentes primarias son producidas por el programa mientras que las secundarias son independientes a él.

⁵ Son los factores externos, que están fuera del control de la Institución Responsable de un programa, que inciden en el éxito (fracaso) del mismo. Corresponden a acontecimientos, condiciones o decisiones que tienen que ocurrir para que se logren los distintos niveles de objetivos del programa. supuesto que debe ser cumplido para lograr los objetivos. El objetivo no es consignar cada eventualidad que pueda concebirse, sino identificar aquellos supuestos que tengan una probabilidad razonable de ocurrencia.

<p>Objetivo específico 1:</p> <p>Medir los niveles de concentración ambiental intra y extra muros de MP_{10/2.5}, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.</p>	<p>Porcentaje de determinaciones de microambientes monitoreados de MP₁₀ y MP_{2.5}.</p> <p>[(n° de muestras de MP₁₀, MP_{2.5} analizadas*100/(n° de muestras de MP₁₀ programadas)]</p> <p>Porcentaje de determinaciones de muestras de suelos</p> <p>[(Muestras de suelos analizadas)*100/(Muestras de suelos programadas)]</p>	<p>Informe técnico con el análisis de las concentraciones elementales del MP₁₀ y MP_{2.5}.</p> <p>Informe técnico con el análisis de las concentraciones elementales de las muestras analizadas de los suelos de Coyhaique y sus alrededores.</p>	<p>Informe técnico con la metodología descrita en el punto 3.11., que indica los tipos de análisis considerados para cada matriz ambiental a analizar.</p>	<p>Malas condiciones climáticas</p> <p>Falla inesperada de equipos de monitoreo</p>
<p>Objetivo específico 2:</p> <p>Determinar la composición química intra y extra muros de MP_{10/2.5}, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.</p>	<p>Porcentaje de nuevas fuentes contaminantes</p> <p>[(n° de nuevas fuentes contaminantes identificadas)*100/(n° de fuentes contaminantes existentes)]</p>	<p>Informe técnico con la caracterización de cada una de las fuentes contaminantes</p>	<p>Informe técnico con la metodología descrita en el punto 3.11., que indica los tipos de análisis considerados.</p>	<p>Malas condiciones climáticas</p> <p>Falla inesperada de equipos de monitoreo</p>
<p>Objetivo específico 3:</p> <p>Identificar posibles fuentes de origen de los contaminantes determinados intra y extramuros de MP_{10/2.5}, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.</p>	<p>Porcentaje de muestras analizadas de MP intradomiciliarias sin recambio de calefactores.</p> <p>[(Medidas MP realizadas)*100/(Medidas de MP programadas)]</p> <p>Porcentaje de muestras analizadas de MP extramuros con recambio de calefactores.</p> <p>[(Medidas de MP realizadas)*100/(Medidas de MP programadas)]</p>	<p>Informe técnico con el análisis de las concentraciones de MP Intradomiciliarias sin recambio de calefactores.</p> <p>Informe técnico con el análisis de las concentraciones de MP extramuros con recambio de calefactores.</p>	<p>Informe técnico con la metodología descrita en el punto 3.11., que indica los tipos de análisis considerados.</p>	<p>Malas condiciones climáticas</p> <p>Falla inesperada de equipos de monitoreo</p>
<p>Objetivo específico 4:</p> <p>Evaluar la exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros a través de aire y suelos.</p>	<p>Porcentaje de muestras de orina analizadas para la determinación de biomarcadores de la exposición al humo de leña, intradomiciliario** sin recambio de calefactores.</p> <p>[(n° de muestras de orina realizadas)*100/(n° de muestras de orina programadas)]</p> <p>Porcentaje de muestras de</p>	<p>Informe técnico con el análisis de las concentraciones de biomarcadores Intradomiciliarias sin recambio de calefactores.</p> <p>Informe técnico con el análisis de las concentraciones de biomarcadores extradomiciliarias con recambio de</p>	<p>Informe técnico con la metodología descrita en el punto 3.11., que indica los tipos de análisis considerados.</p>	<p>Malas condiciones climáticas</p> <p>Falla inesperada de equipos de monitoreo</p>

	<p>orina analizadas para la determinación de biomarcadores de la exposición al humo de leña, intradomiciliario** con recambio de calefactores.</p> <p>[(n° de muestras de orinas realizadas)*100/(n° de muestras programadas)]</p>	calefactores.		
<p>Objetivo específico 5:</p> <p>Caracterizar el riesgo en salud de las personas por exposición a contaminantes intra y extra muros en el periodo de estudio.</p>	<p>Riesgo no carcinogénico:</p> <p>Estimación del ingreso de contaminantes al organismo por cada vía de ingreso (inhalación, ingestión, dérmica) contaminante/dosis de referencia para ese contaminante (estándar EPA).</p> <p>Riesgo carcinogénico:</p> <p>Estimación del ingreso de contaminantes al organismo por cada vía de ingreso (inhalación, ingestión, dérmica) contaminante * factores de pendiente (unidad de riesgo carcinogénico) carcinogénicos para cada contaminantes</p> <p>Cálculo de razones de incidencia y prevalencia: casos de enfermedades/población en riesgo durante el período de estudio.</p> <p>Riesgo toxicológico por estrés mitocondrial</p>	<p>Informe técnico con el análisis de:</p> <p>Cálculos potenciales de riesgos carcinogénicos y no carcinogénicos de la población.</p> <p>Cálculos de la incidencia acumulada y prevalencia de las enfermedades.</p> <p>Función mitocondrial en células epiteliales en cultivo:</p> <p>-Consumo de oxígeno</p> <p>-Síntesis de ATP</p> <p>-Potencial de membrana mitocondrial</p>	<p>Informe técnico con la metodología descrita en el punto 3.11., que indica los tipos de análisis considerados.</p> <p>Informe técnico con el análisis de:</p> <p>-Consumo de oxígeno</p> <p>-Síntesis de ATP</p> <p>-Potencial de membrana mitocondrial</p>	<p>Malas condiciones climáticas</p> <p>Falla inesperada de equipos de monitoreo.</p> <p>Malas condiciones climáticas</p> <p>Falla inesperada de equipos de monitoreo</p> <p>Inadecuado crecimiento de las células en cultivo</p>

****Nota:** Cuando nos referimos a intramuros estamos considerando lo "intradomiciliario (residencias) e intramuros de recintos escolares. Extramuro son las mediciones que se hacen fuera del domicilio o recintos escolares en espacios exteriores.

3.10 Detalle de Actividades

Corresponde indicar cuáles son las principales actividades que se deben desarrollar para generar los productos (objetivos) del programa. Las actividades deben presentarse agrupadas por objetivo. De ser necesario, considerar el enfoque de género y territorial.

OBJETIVO	Actividad	Descripción
1. Medir los niveles de concentración ambiental intra y extra muros de MP _{10/2.5} , gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.	Selección de una serie de filtros de ambas fracciones en invierno de dos años consecutivos Toma de muestras de suelo. Análisis de muestras de MP y suelos	Se tomarán máximo 15 muestras de MP _{10/2.5} el año 2019 y 15 muestras el año 2020, correspondientes a los meses fríos de cada año. Esto con el fin de poder medir y comparar la variación de las concentraciones elementales entre ambos años y medir el efecto de las medidas del PDA de un año a otro. La tomas de muestras de suelos, se realizará de acuerdo la metodología y criterios explicados en punto 3.11. Tanto el análisis de muestras de MP como de suelos se llevará a cabo, según lo explicado en el punto 3.11.
2. Determinar la composición química intra y extra muros de MP _{10/2.5} , gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.	Determinar a nivel de laboratorio la composición química de las partículas y las muestras de suelo, así como la composición de gases	Se analizarán las muestras y se determinarán los niveles de concentración ambiental intradomiciliarios de PAH, específicamente en microambientes residenciales con y sin recambio de calefactores a leña, tal como se explica en el punto 3.11.
3. Identificar posibles fuentes de origen de los contaminantes determinados intra y extramuros de MP _{10/2.5} , gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.	Análisis de Componente Principal y Análisis Factorial.	Una vez se obtengan los resultados, se realizará un análisis estadístico consiste en una análisis exploratorio, como el análisis de componente principal (ACP) y factor de enriquecimiento, para finalizar con un análisis factorial con el fin de poder identificar asociaciones elementales tendientes a la caracterización de fuentes.

<p>4. Evaluar la exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros a través de aire y suelos</p>	<p>Medir en muestras de orina biomarcadores de la exposición al humo de leña en personas viviendo en casos con y sin recambio de calefactores a leña.</p>	<p>Se instalarán muestreadores pasivo de PAH instalados en los microambientes intra y extra Las personas seleccionadas del estudio de biomarcadores deberán entregar una muestra de orina, en la mañana posterior al monitoreo de calidad del aire.</p>
<p>5. Caracterizar el riesgo en salud de las personas por exposición a contaminantes intra y extra muros en el periodo de estudio.</p>	<p>Se aplicarán las metodologías estandarizadas de la EPA para estimar los riesgos en salud de no-carcinogénico y carcinogénico.</p>	<p>Cálculo de los índices de riesgo (HQ y CR) una vez estimada el ingreso de los contaminantes por las diversa vías evaluadas. Se calcularán medidas de riesgo y de prevalencia de eventos de salud.</p>

3.11 Metodología

Debe señalar la modalidad de producción de cada objetivo (mecanismos de ejecución o formas de proveer los productos y/o servicios, especificando en quién recae la responsabilidad de la ejecución de los productos o parte de ellos (entidades públicas o privadas).

A continuación, se describen antecedentes relevantes para precisar los métodos que serán usados en este estudio. Posteriormente se informa cómo se logrará cada Objetivo Específico (OE).

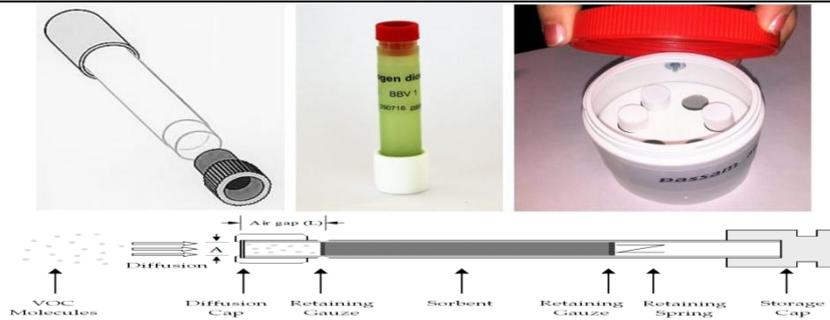
OE N°1. Determinar los niveles de concentración ambiental intra y extra muros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

Para lograr el OE 1, se instalarán monitores de MP, tubos pasivos para gases (PAH, CO) al interior y exterior de los microambientes residenciales y escolares previamente seleccionados considerando estándares EPA para mediciones de calidad de aire interior. El periodo de monitoreo será de al menos 4 días por recinto en invierno y primavera, con el objetivo de medir en días con diferentes condiciones de meteorológicas). Los microambientes medidos serán definidos en un estudio piloto. Se espera que sean living, patios y salas de clases en los recintos escolares. Se harán mediciones de tiempo continuo y gravimétricas.

-Medición continua $PM_{10/2.5}$: ésta determinación de los niveles de concentración se hará con monitores continuos de tiempo real TSI®, DustTrak para $MP_{10/2.5}$, respectivamente. En el caso de $PM_{2.5}$ se hará un monitoreo continuo por al menos 96 horas (días hábiles y fin de semana/festivo).

-Medición gravimétrica de $PM_{10/2.5}$: Se colectará en filtros de teflón de 37 mm de diámetro dispuestos en el dispositivo impactador Personal Environmental Monitors (PEM) de corte $PM_{2.5}$, haciendo uso de bombas gravimétricas de muestreo 44XR® Universal Sample Pump (SKC Inc., Eighty Four, Pennsylvania, USA) a un flujo de 4 L/min (SKC Inc., Eighty Four, Pennsylvania, USA).

-Medición de Gases Intra-muro: La medición de los niveles de contaminación *intra-muro* al interior de las viviendas será enfocada en dos tipos de gases contaminantes; los de naturaleza orgánica como: Levoglucosano, Compuestos Aromáticos Policíclicos y Ácidos piroleñoso, y los denominados de inorgánicos tales como NO_2 , SO_2 , O_3 , NH_3 , y H_2S . En ambos casos utilizaremos varios tipos de tubos pasivos existentes en el mercado para la colecta de gases de forma selectiva en cada vivienda.



Tubos pasivos para la detección de gases al interior de las viviendas y recintos escolares

-Muestreo de matriz suelos extramuros (análisis de suelos): La metodología de muestreo y de análisis de laboratorio, se basa en la metodología de Salminen et al., (2005) (proyecto FOREG, Atlas Geoquímico Europeo). Por otro lado, debido a las características del área de estudio, que presenta una fuerte actividad agrícola, se consideró el protocolo de muestreo del SAG, el cual se explica en la metodología.

Metodología de muestreo y trabajo en terreno

La importancia que presentan los sedimentos de ríos y de planicies aluviales, es que reflejan el origen de los elementos y composición de cuencas aledañas, aunque también son susceptibles a procesos contaminantes. La composición de las muestras de suelo, refleja la variación de las capas de la superficie terrestre. La comparación de la composición del subsuelo con el top suelo, entrega información acerca de procesos de enriquecimiento o empobrecimiento entre las capas. Uno de estos procesos es el proceso de contaminación antropogénico del top suelo.

Ambientes de muestreo

Cuencas de mayor drenaje (área 1.000-6.000km²): De acuerdo al área de estudio, el muestreo se centrará fundamentalmente en los suelos de la ciudad de Coyhaique y sus alrededores, correspondientes a una antigua cuenca que incluyen antiguas planicies fluviales y depósitos coluviales y aluviales, entre otros.

Malla y selección de muestras según cuencas de drenaje: La grilla de muestreo propuesta para las muestras tomadas en la ciudad de Coyhaique y sus alrededores, será de 1 muestra cada 1-5 km², según el terreno lo permita.

El muestreo realizado tanto en antiguas llanuras de inundación como en conos coluviales y/o aluviales es de tipo compósito, lo que significa que cada muestra de aproximadamente 2 kg, estará conformada de 5 sub-muestras, correspondientes a los vértices de un cuadrángulo separados 5 metros el uno del otro, más una sub-muestra obtenida en el centro de este cuadrángulo (Figura 1). El objetivo de este método es velar por la homogeneidad del terreno que se está muestreando, ya que existen variaciones geoquímicas centimétricas a métricas que podrían alterar la interpretación de los resultados. Para la obtención de la muestra se procede a excavar con pala plástica un hoyo de aproximadamente 20 x 20 cm (Figura 2a) donde se obtiene los primeros 5 cm del suelo. La muestra es acumulada en una bolsa de muestras de polietileno la cual es sellada y rotulada (Figura 2b).



Figura 1: Muestra tipo compósito. La muestra final está compuesto por 5 sub-muestras tomadas en el centro y en cada vértice del Cuadrángulo de 5 x 5m.



Figura 2: a) Hoyo de 20 x 20 cm desde donde se toman los 5 primeros cm del suelo. b) En el centro de la fotografía se observan las bolsas de polietileno, con la muestra de suelo tipo compósito.

Terreno urbano y periurbano: Basado en estudios anteriores (Guillén et al., 2011; Reimann et al., 2009), se propone una malla de muestreo de 0.5 x 0.5 km en las localidades ubicadas en el área de interés y de 1.0 x 1.0 km en zonas periurbanas. El trabajo de terreno incluirá parques, espacios abiertos y campos situados en los alrededores de Coyhaique.

Según los antecedentes recientemente expuestos, el mapeo geoquímico urbano de las ciudades de Coyhaique se realizará a una escala urbana con una grilla cuyo espaciamiento será de 0.5 km x 0.5 km.

Validación de datos de terreno: Con el fin de tener un control de los resultados entregados por el laboratorio, durante el proceso de muestreo se tomaron, de modo aleatorio, 13 duplicados equivalentes a un 10% y el 15% del total de las muestras. Estos duplicados de terreno muestran la diferencia entre los dos análisis según la siguiente fórmula: $((X-Y)^2/(X+Y))^*100$,

Donde X es la concentración de un elemento en el duplicado e Y es la concentración del elemento dado en el primer análisis.

Referencias

- R. Salminen et al: FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps
- Contaminación aérea intradomiciliaria por material particulado (MP2.5) e incidencia de infección respiratoria aguda en los

- primeros seis meses de vida. René Barria Pailaquilén. Tesis Doctor en Salud Pública, Universidad de Chile, Marzo 2013.
- Guillén, M., Delgado, J., Albanese, S., Nieto J., Lima, A., De Vivo, N. 2011. Environmental geochemical mapping of Huelva municipality soils (SW Spain) as a tool to determine background and baseline values. *Journal of Geochemical Exploration* 109: 59-69.
- Reimann, C., Matschuillat, J., Birke, M., Salminen, R. 2009. Arsenic distribution in the environment: The effects of scale. *Applied Geochemistry* 24: Issue 7, 1147-1167.

OE N°2: Determinar la composición química intra y extra muros de $MP_{10/2.5}$, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

Composición química de metales en $PM_{10/2.5}$: Se caracterizará el contenido másico y porcentual de metales pesados en los filtros de teflón u otros, éstos serán medidos a través de fluorescencia de rayos X (XRF Analysis) que permite un barrido de los siguientes elementos: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, La, Hg, Pb. (Iones). Estas determinaciones serán realizadas en EEUU por el laboratorio CHESTER LabNet. (www.chesterlab.net). Con el objetivo de tener una aproximación al origen del $PM_{2.5}$ se analizará en una submuestra de los filtros la presencia de carbono elemental (EC) y orgánico (OC) que está asociado a procesos de combustión incompleta (tráfico vehicular o calefacción por combustibles de origen fósil) [Brown et al., 2012].

Métodos de análisis filtros MP exterior: Una vez los filtros sean seleccionados, estos serán analizados con ICP-MS dada las bajas concentraciones que se pueden determinar a través de este método. Es una medida analítica de alta sensibilidad que permite medir muchos elementos en poco tiempo. Siendo muy representativa aquellas concentraciones de metales pesados tales como el arsénico, cadmio, plomo, entre otros. En caso de no poder seleccionarse los filtros desde la red de monitoreo de la red SIMCA, debido a factores climáticos que hayan impactado la toma de muestra u otras variables que impidan la selección de estas, se procederá a un monitoreo con equipos a adquirir en el marco del presente proyecto, durante la época fría de dos años con el fin de comparar la variación de las concentraciones de un año, respecto al otro, teniendo en cuenta la implementación de medidas del PDA.

Composición química de gases: los tubos pasivos (OE N°1) serán analizados en un cromatógrafo de gases unido a un espectrógrafo de masa (GC/MS) para su identificación y cuantificación. El análisis de laboratorio será realizado por el Laboratorio de Toxicología Humana y Ocupacional de la Fundación Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.

Composición química de suelos, procedimientos de Laboratorio: El total de elementos a analizar corresponderá a 35, entre los cuales, los elementos mayores tales como el Fe, Na, Ca, Mg, Si y K serán analizados por Fluorescencia de Rayos X, al igual que los elementos trazas como el Cu-Sc. Tanto las Tierras Raras como los denominados "otras trazas" (Se, Ta, Ga, etc) serán analizados en el ICP-MS. Una vez obtenidas las muestras en terreno, son guardadas a temperatura ambiente en la bodega de la Universidad de Chile, hasta pasar al laboratorio de preparación de muestras donde, previo a iniciar el proceso de secado, una parte de la muestra es extraída para medir el pH del suelo que se analizará. Posteriormente, el resto de la muestra es secada en un horno electrónico marca MEMMERT, a una temperatura de 30,1°C, proceso que dura aproximadamente 1 semana. Una vez realizado el proceso de secado, se procede al tamizado, en el cual se utilizan tamices marca VWR, uno de 10 mallas equivalente a 2mm y uno de 80 mallas correspondiente a 180µm, obteniéndose dos fracciones, una entre 2mm y 180µm y otra inferior a 180µm, las cuales son guardadas en frascos de polipropileno. La primera fracción es guardada y la segunda, de material más fino, es enviada para análisis químicos (absorción atómica, etc.). Por otro lado, 40 gr. de la fracción fina es cuarteada y molida en el pulverizador de rocas ROCKLABS de ágata y es posteriormente tamizada mediante una malla 200, correspondiente a 75µm. Esta muestra es enviada a análisis de ICP-MS.

Referencias

Brown, K.W., J.A. Sarnat, and P. Koutrakis, Concentrations of PM (2.5) mass and components in residential and non-residential indoor microenvironments: the Sources and Composition of Particulate Exposures study. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2012. 22(2): p. 161-72.

OE N°3. Identificar posibles fuentes de origen de los contaminantes determinados intra y extramuros de MP_{10/2.5}, gases, así como en los suelos de Coyhaique y sus alrededores.

Metodología de análisis de resultados de MP y suelos: Según los objetivos propuestos, la metodología que a continuación se presenta permite por un lado determinar las concentraciones actuales de óxidos y elementos, metálicos y no metálicos, de los suelos y del MP, del área de estudio y por otro lado, permite detectar la presencia de posibles suelos contaminados a través de la identificación de concentraciones anómalas, es decir concentraciones por sobre la media determinada.

En este sentido se utilizarán 3 herramientas principales: Box-plot, Factor de Enriquecimiento (FE) y Análisis Factorial (AF), determinando de este modo, la línea base, suelos contaminados y fuentes contaminantes, respectivamente. A través de la construcción de los diagramas Box-plot, explicados más adelante en la sección "*Mapa de Concentración de Puntos*", se determinan los valores "normales" de la zona de estudio, el cual corresponde a la media de los datos, siendo considerados suelos contaminados todos aquellos valores que se ubiquen por sobre este rango.

De acuerdo a los antecedentes recopilados, se podrán discriminar fuentes contaminantes, naturales y antropogénicas. Por lo tanto, la diferenciación y la estimación del aporte de cada una de ellas contribuirán a disminuir los niveles de contaminación. Para esto se utilizaron dos metodologías:

1. Factor de enriquecimiento (FE), con el fin de discriminar entre fuentes naturales y antropogénicas de los elementos analizados. Esta metodología corresponde a la razón entre las concentraciones de elementos medidos en la muestra, respecto a un valor referencial, lo cual se explica a continuación.
2. Análisis de Componentes Principales y Análisis Factorial, esta herramienta ha sido utilizada con el fin de identificar las fuentes que se encuentran actuando en el área de interés.

-Factor de enriquecimiento: El FE permite establecer la influencia de una fuente contaminante respecto de otra fuente de referencia. Las concentraciones elementales son normalizadas de acuerdo a un elemento representativo de la corteza superficial, como por ejemplo el Al, Zr o Th, debido a que son estables (o conservativos), en la mayoría de los procesos ambientales. Una vez normalizados los elementos, los valores se comparan con su equivalente representativo natural, obtenido a partir de la concentración representativa del medio geológico. En el presente estudio, se utilizó la compilación de Taylor y McLennan (1995) como referencia del medio geológico. La fórmula a continuación explica el cálculo del FE:

$$EF_x = (C_x/C_{ref})_{muestra} / (C_x/C_{ref})_{corteza\ continental}$$

Donde $(C_x/C_{ref})_{muestra}$ es la razón de la concentración de un elemento respecto de un elemento de referencia en la muestra, en este caso el Al, y $(C_x/C_{ref})_{corteza}$ es la razón entre los mismos elementos en el material cortical, de acuerdo a Taylor y McLennan (1995). Se considera que los elementos con valores más altos que 1, son aportados por otras fuentes y no sólo presentan un origen cortical.

-Matriz de Pearson: La correlación de Pearson es una relación lineal entre dos variables y sus direcciones (directas o indirectas). Por lo tanto, el coeficiente de correlación lineal será 1 o -1. Cuando los valores son cero o cercanos a cero, quiere decir que la relación es no lineal. El coeficiente de correlación Pearson, es obtenido calculando la covarianza entre las variables. En el presente estudio corresponden a los elementos analizados.

-Análisis Factorial: El Análisis de Componente Principal (ACP) y Análisis Factorial (AF), permite identificar variables desconocidas, o factores, que explican el patrón de correlación en el set, de datos o variables analizadas (Reimann et al., 2008). En general, PCA es utilizada para reducir el número de variables, con el fin de identificar un número reducido o menor de factores que expliquen la mayor varianza en el número mayor de variables. La diferencia entre PCA y AF, es que en el PCA se considera la máxima varianza de todas las variables, mientras que el AF considera el máximo entre las correlaciones (Reimann et al., 2008).

En el análisis ACP, se reducen las dimensiones de la base de datos originales, transformando el grupo de variable originales **p** en otro grupo con un número **q** de variables no correlacionadas (**q < p**), las que se conocen como Componentes Principales. Si un número importante de variables, presenta una alta dependencia entre ellas, es probable que un pequeño número de variables (menor al 20%) puedan explicar la mayoría de la variabilidad original (más del 80%) (Filzmoser et al., 2003). Para **n** muestras y **p** variables,

los datos en la matriz es igual a matriz = $n \times p$ ($n > p$), donde las columnas son las variables y las filas son las muestras.

Análisis de Componente Principal: Las nuevas variables q (componente principal) se obtienen como una combinación lineal de las variables originales. Los componentes son organizados como una función del porcentaje de la variabilidad. La dirección en el espacio de las variables que preserve la mejor distancia relativa entre los objetos de estudio (muestras) es una variable potencial que tiene un varianza máxima de los "scores" (valores de datos proyectados sobre la variable potencial). Esta dirección es definida como primera Componente principal (CP1). El ACP trabaja en la dirección del espacio multivariable que contiene el máximo de variabilidad. La CP1 será la más importante porque explica la variabilidad máxima del set de datos. La segunda Componente Principal (CP2) es ortogonal a la CP1 y contiene la cantidad máxima de variabilidad restante (Reimman, et al., 2008).

Todos los puntos del set de datos son ortogonales proyectados en CP1, dando como resultado un nuevo set de datos, que son llamados "scores" de la Primera Componente Principal. Cada *scores* es un número que representa cada punto a lo largo de la nueva coordinación CP1. CP2 es una dirección ortogonal a CP1, que da como resultado *scores* CP2 correspondientes a todos los puntos de los datos proyectados ortogonalmente de CP2. La dirección de cada componente principal es expresada según sus cargas (*loadings*), la cual expresa la relación de las variables originales.

ACP es una descomposición en "eigenvectores" y "eigenvalues" de la covarianza, matriz de correlación o matriz. Los eigenvectores son las cargas de las componentes principales, llevadas al nuevo sistema de CPA. La variabilidad de cada componente principal es expresada por eigenvalues, los cuales son una variabilidad de los *scores*. El ACP será usado de modo exploratorio, con el fin de encontrar el número de componentes no correlacionadas que serán usadas como número de factores, los cuales serán establecidos en el AF.

Antes de la aplicación del AF, es necesario verificar que el set de datos presenta una distribución normal y que las observaciones sean independientes. Sin embargo, es sabido que es muy extraño que los datos geoquímicos presenten una distribución de este tipo (Reimman, et al., 2008). En la naturaleza, la presencia de valores *outliers* es muy recurrente, por lo tanto, es importante que todas las variables se acerquen lo más posible a este tipo de distribución (Reimman et al., 2008). En este caso, es necesario reducir el impacto de estos valores (*outliers*), aplicando una versión robusta de ACP o AF (Filzmoser, 1999; Pison et al., 2003).

En conclusión, ACP y AF requieren un número suficiente de muestras comparables con un número de variables, para una base de datos estable. Diferentes reglas empíricas han sido sugeridas (Reimman, et al., 2008) como por ejemplo, $n > p^2 + 3p + 1$, donde n es el número de muestras y p el número de variables. Aunque si bien existen reglas adaptadas para cada situación, para una pequeña base de datos, ACP o AF debe preferentemente no utilizar todo el set de elementos.

OE N° 4 Evaluar la exposición de las personas a los contaminantes determinados en los microambientes intra y extramuros a través de aire y suelos.

Evaluación de la exposición en las personas

Para la evaluación de riesgo no-carcinogénicos y carcinogénicos se usarán las metodologías establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [40-43]. Para la exposición de los compuestos determinados se calculará el ingreso diario promedio (ADD) al organismo por la vía oral, contacto dérmico e inhalatoria en dos escenarios; residencial y en recintos escolares. Para polvo se usar la fórmula 1, 2 y 3, y para $PM_{2.5}$ se usará las fórmulas 1, 2 y 4, respectivamente. En los casos de los compuestos gaseosos, se usaran las fórmulas adaptadas para tal caso [44].

$$ADD_{oral} \left(\frac{mg}{kg - dia} \right) = \frac{C \times IR \times ABSi \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$ADD_{d\acute{e}rmica} \left(\frac{mg}{kg - dia} \right) = \frac{C \times ABSd \times SA \times AF \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (2)$$

$$ADD_{inhalatoria} \left(\frac{mg}{m^3 - dia} \right) = \frac{C \times EF \times ED \times ET \times \frac{1}{PEF}}{AT} \quad (3)$$

$$EC_{inhalatoria} \left(\frac{g}{m^3 - dia} \right) = \frac{C \times EF \times ED \times ET}{ATn} \quad (4)$$

Para el cálculo de la concentración (C) se usará el límite superior del intervalo de confianza del 95% de la concentración para los elementos determinados, usando la siguiente fórmula:

$$C_{95\%UCL} = + t_{\alpha, \alpha-1} s / \sqrt{n} \quad (5)$$

Los parámetros usados para estimar el (ADD) por las diversas vías y las dosis de referencia para calcular los riesgos no-carcinogénicos (HQ; HI) y carcinogénicos (RC; RCI) del presente estudio, serán obtenidos de la base de datos IRIS de la EPA [44] <https://www.epa.gov/iris>.

Evaluación de la exposición en las personas a través de biomarcadores de exposición a leña

El biomarcador Levoglucosano (LG) se utiliza con frecuencia como un marcador para la quema de biomasa porque se produce a niveles relativamente altos y es estable en la atmósfera y en humanos. Debido a su abundancia en el humo de leña se correlaciona de forma positiva con los niveles de PM_{2.5}, **Levoglucosano (LG)** se considera un buen candidato para la evaluación como un biomarcador de la exposición al humo de la leña y también compuestos aromáticos policíclicos (HPAs). Levoglucosano es específico para la combustión y la exposición humana al humo de leña. Después de la colecta de orina serán mantenidas a -80°C hasta su análisis en el laboratorio por GC/MS. Notamos que en adición a la medición de levoglucosano, también será evaluada la existencia de COTININA. Muestras en que se detecte cotinina serán excluidos de los análisis urinarios de LG porque la exposición al humo de tabaco es un factor de confusión potencial para el análisis urinario de LG. Todas las muestras de orina usadas en este estudio también serán analizadas con creatinina usando un kit ELISA existente en el mercado (Cayman Chemical Company, MI, EE. UU). Los valores de creatinina se usarán para normalizar las mediciones de LG. Los niveles urinarios de LG serán analizados según el método desarrollado por *Migliaccio et al* [38], and validated by *Bergauff et al* [39]. Todo el análisis de laboratorio, serán realizados por el Laboratorio de Toxicología Humana y Ocupacional de la Fundación Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.

Destacamos la importancia, en el análisis, que estos dos grupos sean homogéneos en cuanto a su estructura de calefacción y similares en cuanto al uso de ella, con y sin el factor “recambio de tecnología”. Los metabolitos a ser detectados en la orina representan “exposición reciente” a gases que también serán medidos concomitantemente durante 24 horas con el uso de dispositivos de monitoreo específico (tubos pasivos) para gases orgánicos e inorgánicos al interior de las viviendas, y a la aplicación de la encuesta viene a auxiliar sobre los potenciales efectos en la salud resultante de exposiciones reciente a gases al interior de las viviendas. Esto es, el estudio es una fotografía (observacional) de la situación en salud actual (exposición/potencial efecto), respecto a la emisión de gases de combustión y condensación al interior de las viviendas CON y SIN recambio de tecnología según el PDA.

OE N° 5 Caracterizar el riesgo en salud de las personas por exposición a contaminantes intra y extra muros en el periodo de estudio, así como también a variables físico químicas ambientales en MP como en suelos.

Para lograr este objetivo se deben completar los OE N°1 y OE N° 2. Es decir, se deben tener determinados los niveles de concentración de los contaminantes a nivel intra y extramuros, así como la caracterización química de las matrices aire y suelo. Estos antecedentes permitirán caracterizar el riesgo en salud, de tipo no-carcinogénico y carcinogénico respectivamente.

Cálculo del riesgo no-carcinogénico (HQ; HI)

$$HQ = \frac{C_{inh}}{(RfC) \times 1000 \mu g/mg} = \frac{C_{ing}}{RfD_{ing}} = \frac{C_{der}}{RfD_{ing} \times ABS_{ing}}$$

Donde: RfC (mg/m^3 -día): dosis de referencia por inhalación; RfD (mg/kg -día): dosis de referencia por ingestión. HQ : riesgo no carcinogénico (Hazard Quotient). Cuando el $HQ \leq 1$ indica que no habrían efectos adversos, y cuando $HQ > 1$ indica la probabilidad de producirse efectos adversos. Cuando son diversos los contaminantes a los que están expuesta las poblaciones se puede estimar el índice de riesgo (Hazard Index: HI) que se calcula de la siguiente manera:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i [5]$$

Donde HI es la sumatoria de los HQ individuales. Si $HI \leq 1$, no habría riesgos significativos no-carcinogénicos. Cuando $HI > 1$, significa que hay un riesgo significativo de sufrir un efecto no-carcinogénicos.

Cálculo del riesgo carcinogénico (RC)

$$RC = IUR \times C_{inh} = SF_{ing} \times C_{ing} = \left(\frac{SF_{ing}}{ABS_{ing}} \right) \times C_{der}$$

Donde: IUR ($\mu g/m^3$): unidad de riesgo por inhalación; $C_{inh;ing;der}$: concentración de la exposición en el aire ($\mu g/m^3$) o polvo (mg/kg); SF_{ing} : Factor de pendiente ingestión (mg/kg -día); ABS_{ing} : Factor de Absorción Gastrointestinal. Valores entre 1×10^{-6} a 1×10^{-4} indican un riesgo tolerable o aceptable para un efecto adverso carcinogénico para la salud humana [45]. Sobre estos valores habría una mayor probabilidad de desarrollar un cáncer. Cuando son diversos los contaminantes se puede calcular el RCI , que es la sumatoria de los RC de cada elemento evaluado.

$$RCI = \sum_{i=1}^n RC_i$$

Estimación del riesgo por estrés fisiológico por exposición a humo de leña

Previa obtención del consentimiento informado por parte de los voluntarios involucrados y/o de sus padres, se obtendrán células de la mucosa de la cavidad oral, a través de un raspado indoloro, con una espátula. Desde estas muestras se establecerá un cultivo primario, de células de epitelio (REF: Epithelial cells from oral mucosa: How to cultivate them? Cytotechnology (2016) 68:2105–2114. DOI 10.1007/s10616-016-9950-9), en el cual se medirá la función mitocondrial en los diferentes escenarios de contaminación. Entre los diversos parámetros de función mitocondrial, en este proyecto trabajaremos con los siguientes: Consumo de oxígeno, medido a través de un analizador de flujo extracelular (Seahorse XFe) (REF: Integration of cellular bioenergetics with mitochondrial quality control and autophagy. Biol. Chem., 2012; 393(12): 1485–1512. DOI 10.1515/hsz-2012-0198) Síntesis de ATP, medido a través de kits de luminiscencia (REF: Methods for Assessing Mitochondrial Function in Diabetes. Diabetes 62:1041–1053, 2013. DOI: 10.2337/db12-1219). Potencial de membrana mitocondrial, medido por microscopía de epifluorescencia (REF: Methods for Assessing Mitochondrial Function in Diabetes. Diabetes 62:1041–1053, 2013. DOI: 10.2337/db12-1219)

Estimación del riesgo en salud a partir de las determinaciones de enfermedades respiratoria por la aplicación de cuestionario de síntomas autorreferidos.

Para lograr esta parte del OE N° 5, previamente se debe diseñar un estudio epidemiológico transversal analítico en el cual se estudiarán una muestra de casas con y sin recambio de calefactor que sea representativa del área de influencia de la contaminación por humo de leña en la ciudad de Coyhaique (PDA). La unidad de estudio serán niños y adultos que serán ubicados en las viviendas en estudio (que serán las unidades de muestreo). El estudio transversal es relativamente económico y poco consumidor de

tiempo para obtener resultados razonables a corto plazo. Tiene en adición a su capacidad de describir la prevalencia de exposición y enfermedad en una población determinada, la fortaleza de explorar posibles asociaciones que posteriormente pueden estudiarse con mayor rigor a través de un diseño de estudio distinto (p.e. estudio de seguimiento de cohorte o controlado aleatorizado). Es justamente aplicado para problemas en salud donde se desea “tomar una foto” lo más representativa posible EFECTO EN SALUD del factor de riesgo/efecto, en nuestro caso el recambio tecnológico al interior de las viviendas. Una de sus mayores aplicaciones es evaluar a nivel intradomiciliario el efecto (efectividad) de una intervención discrecional ambiental (no obligatoria) en salud pública. Destacamos que nuestro diseño encuentra pocos dilemas y dificultades éticas, aunque no está totalmente exento de asuntos relacionados con el manejo confidencial de datos recolectados, pero en general dado que no existe una exposición deliberada por parte del investigador y que no lleva a cabo un seguimiento de pacientes a lo largo del tiempo, los problemas éticos que enfrenta son menores.

Se calcularon los tamaños de muestra necesarios para el estudio de asociación entre exposición a contaminantes y para el análisis de los biomarcadores considerando los siguientes supuestos:

El tamaño de la muestra para el estudio epidemiológico: En general, el procedimiento para establecer el tamaño de muestra en estudios de prevalencia o transversales, es representada por la siguiente ecuación.

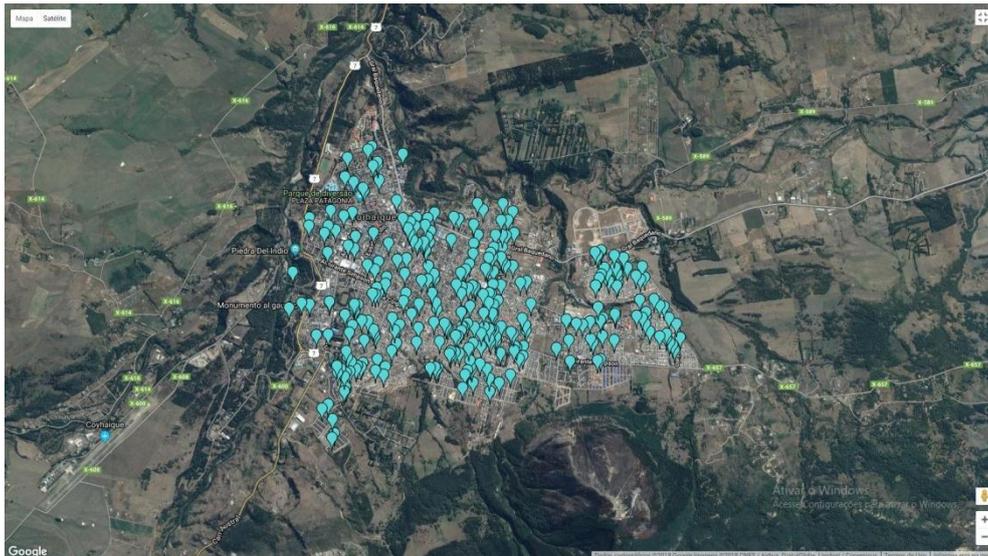
$$n = \frac{(z_{1-\alpha/2})^2 P(1-P)}{D^2}$$

Donde n denota el tamaño de muestra a determinar, P representa la probabilidad esperada, y D corresponde al nivel de precisión absoluta deseada, definida como la distancia máxima a partir de la probabilidad esperada, donde $z_{1-\alpha/2}$ es el valor de la distribución normal, asociada a un nivel de confianza de $100(1-\alpha)$ %. En muchas ocasiones se conoce el tamaño de la población (N) desde donde se desea estimar la probabilidad. En estos casos, el tamaño de muestra se debe ajustar por el llamado factor de corrección para poblaciones finitas definido como $(FCPF=1/(1+n/N))$. Considerando, que solo han sido renovados 1500 viviendas, aplicando el $FCPF=1/(1+(1537/1500))=0.4939$, el tamaño de muestra corregido es de $1537*0.4939=760$ viviendas, esto es el 50% del universo muestral. De este universo seleccionaremos 160 viviendas representativas del factor CON o SIN “Recambio de Tecnología”. Así, dos grupos de 80 viviendas consideradas CON o SIN el “factor de riesgo” (agrupados según análisis de similaridad y homogeneidad) serán evaluadas en la composición de gases contaminantes (orgánicos e inorgánicos) al interior de las viviendas con el uso de tubos pasivos. De estos dos grupos (expuestos/no-expuestos) serán seleccionados dos submuestras de 30 voluntarios (mujeres dueñas de casa y/o jóvenes entre 4 a 15 años elegidos aleatoriamente) por cada grupo (total 60 voluntarios), para los análisis de biomarcadores y de síntomas autorreferidos como fue descrito anteriormente. El número de individuos es el doble al estimado por la *ecuación de Kelsey, para estudios transversales o cross-sectional*, como fue discutido anteriormente en el ítem ‘tamaño de la muestra’. Un modo más detallado, es la fórmula del tamaño de muestra de estudios transversales para el método descrito en Kelsey et. al., 1995, mostrado a continuación. El cálculo puede ser realizado online a través de la plataforma de código abierto (<http://www.openepi.com>). Los supuestos usados para el cálculo de muestra para los biomarcadores fueron las siguientes condiciones “a priori” tales como el % de expuestos y positivos, como también el % de no expuestos y positivos. En este caso, el valor de 90% en dar positivos quienes están expuesto es un “valor” altamente probable, por estudios realizados con anterioridad, inclusive en otras partes del mundo donde se observa una clara relación entre levoglucosano y los niveles de exposición intradomiciliaria. De alta importancia en la estimación, es el “valor” de 40% de dar positivo, en aquellos que no están expuestos (CON recambio). Este valor se sustenta en la suposición que el recambio de tecnología solo consigue mitigar y no eliminar la exposición de gases al interior de las viviendas. Con todo, una muestra de 30 individuos entre expuestos y no expuestos es necesaria para probar nuestras hipótesis según la ecuación de Kelsey et al., 1995, sin embargo en este trabajo intentaremos trabajar con 60 voluntarios (mujeres dueñas de casa y/o jóvenes entre 4 a 15 años elegidos aleatoriamente), esto es el doble de individuos provenientes de 160 casas catastradas.

Los detalles que dan sustento al diseño epidemiológico, están directamente relacionados con la operación de: a) tamaño de la muestra a ser analizada, b) la robustez del agrupamiento a ser realizado en base al factor de riesgo, y c) la especificidad y sensibilidad de las mediciones a ser colectadas en la orina de voluntarios (mujeres dueñas de casa y/o jóvenes entre 4 a 15 años), en micro ambientes (intra-muro), como también a la pertinencia y especificidad de la encuesta de síntomas autorreferidos a ser aplicada, y d)

Apreciación de la investigación por el comité de Ética.

El agrupamiento a ser realizado en base al factor de riesgo: Según el PDA de Coyhaique, la reducción de la concentración diaria de $MP_{2.5}$ alcanza el objetivo propuesto por la norma de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el año 2025. Las medidas con mayor reducción corresponden al reacondicionamiento térmico (33,4%), al recambio de calefactores (cumple norma y pellet) (38,4%), al mayor uso de leña seca (28,4%). Se estima que en la ciudad de Coyhaique se alcanzaría una concentración diaria de $MP_{2.5}$ estimada de $49,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se calcula la reducción de los niveles de contaminación con el recambio de tecnología en 7000 viviendas. Esta acción según el PDA se realizará hasta el 2020. Cambia también el periodo y número de recambios por año, se realizarán 2500 recambios anuales (50% cumple norma y 50% pellet) durante 4 años. Hasta le fecha han sido renovado equipamientos en aproximadamente 1500 viviendas. Solo en el año 2016 fueron renovadas 923 viviendas según muestra el mapa.



Cobertura territorial de instalación de equipamientos al año 2016, Coyhaique. Chile.

Podemos establecer a priori que la instalación de equipamiento no sigue una tendencia en el territorio formando conglomerado, existe una homogeneidad espacial en los recambio de tecnología. Los siguientes aparatos son los que están siendo subvencionados para su recambio dentro de las viviendas. Obsérvese que a diferencia de calefactores artesanales, estos presentan una cámara de combustión posiblemente de mayor eficiencia energética en la combustión (entra más oxígeno). Los gases de combustión y condensación son eventualmente enviados (sin quema posterior) a una chimenea hacia el exterior. Posteriormente, los dos tipos de modelos que están siendo implementadas, las cuales son altamente similares en su estructura de combustión como de su eficiencia energética. Considerando esta característica, durante la etapa de planificación y visita a domicilios “el uso” y “espacios” de calefacción serán evaluados para reunir la mayor información suficiente de forma de producir una muestra altamente representativa del cambio de tecnología, de las que aún no la realizan. Este análisis de homogeneidad y similaridad será realizado después de tener acceso al tipo de viviendas donde están siendo instalados los equipamientos, criterios de emisión de gases, horas de uso, entre otros.

Imagen N°2: Características técnicas de Equipos de PRC 2012



Fuente: Seremi del Medio Ambiente región de Aysén

"Programa Recambio de Calefactores a leña en la ciudad de Coyhaique"

Tipos de estufas del programa de recambio tecnológico, PDA en Coyhaique.

Medición de síntomas respiratorios autorreferidos en el periodo de estudio: un cuestionario de síntomas autorreferidos serán aplicados a los voluntarios (mujeres dueñas de casa y/o jóvenes entre 4 a 15 años elegidos aleatoriamente) previa firma del documento de adherencia a la investigación conocido también como consentimiento informado. Estos documentos (cuestionario y consentimiento informado) serán confeccionados durante la etapa de planificación, y sometido al Comité de Ética local, en conjunto a detalles de la investigación para su apreciación y recomendaciones. Considerando que, el Comité de Ética es consultivo y no resolutorio, posterior a la aprobación nos reuniremos con autoridades y líderes locales para, además de explicar detalles del proyecto y sus objetos y objetivos de análisis, comenzar la etapa de enrolamiento y de estrategia de muestreo. Como se ha establecido, una encuesta de síntomas autorreferidos será aplicada a cada voluntario (mujeres y/o niños entre 4 y 15 años elegidos aleatoriamente) enrolado en el estudio. En esta encuesta además de preguntas respecto al tipo y uso de la calefacción en invierno, también será preguntado sobre síntomas y quejas en salud, principalmente respiratorias. Para evitar sesgos, preguntas sobre hábito de tabaquismo, como morbilidades y enfermedades crónicas también están consideradas. La construcción, evaluación y validación de la encuesta será realizada antes de su aplicación.

El plan de análisis de datos en forma detallada y secuencial

En términos secuenciales, el plan de análisis estadístico de este estudio será realizado en su totalidad en la plataforma R, programa de estadística y computación científica de código abierto, de la siguiente forma:

- Organización información validada en banco de datos
- Agrupamiento y descripción cualitativa de los datos (cantidad, perdidas, inválidos, incompletos, duplicados)
- Análisis de patrones de dispersión estadística (normalidad, distancia de mahalanobis, test estadísticos para describir y diferenciar pares de poblaciones, heterogeneidad y similaridad)
- Confección y discusión de algoritmos de análisis de asociación y correlación (tablas de contingencia 2x2)
- Discusión de resultados gráficos y numéricos

En esta secuencia, el análisis estadístico de asociación usando tablas 2x2 es fundamental y central en la discusión de los factores de riesgo considerando el diseño epidemiológico de tipo transversal analítico (cross sectional) a ser implementado. Por ejemplo, uno de los objetivos implica que se estime la proporción de personas expuestas cuyo indicador de exposición sea positivo ($P1 = a/a+b$) y se compare con el porcentaje de no expuestos que también fueron positivos para el bioindicador ($P2 = c/c+d$), esto siguiendo la tradicional tabla de 2x2. Así, el indicador que puede usarse en nuestro estudio es la razón de prevalencias [RP] (prevalence ratio por sus siglas en inglés), que es análogo a la razón de incidencia acumulada de un estudio de cohorte. Usualmente, la RP puede calcularse cuando el resultado de interés ocurre en un período relativamente corto de tiempo. Por ejemplo, podríamos calcular la RP de presencia de levoglucosano en las personas debido a la exposición en viviendas con y sin recambio de tecnología, supongamos que los datos son organizados como sigue:

Recambio de Tecnología	Levoglucosano en Humanos		
	Presente	Ausente	Total
Presente	10	60	70
Ausente	30	12	42
Total	40	72	102

$$P1 = 0.714 (30/42); P2 = 10/70 (0.143); RP = 4.99$$

La razón de prevalencias de este ejemplo puede ser interpretada como que la proporción de voluntarios (mujeres dueñas de casa y/o jóvenes entre 4 a 15 años) con presencia de levoglucosano es casi 5 veces mayor si no recibe recambio de tecnología. Con las limitaciones propias del estudio transversal para establecer relaciones de causalidad, la **Odd Ratio** puede también ser obtenida mediante **modelos de regresión logística**, utilizando varias variables obtenida en el levantamiento de información, aunque manteniendo el verdadero sentido en la interpretación y evitando sesgos en la interpretación.

Consideraciones de los estudios epidemiológicos transversales: Una de las principales consideraciones de un diseño transversal es su imposibilidad para hacer inferencias de causalidad robustas, fundamentalmente por la ambigüedad temporal que surge al medir simultáneamente la exposición y la enfermedad. Para “disminuir este sesgo temporal” el levantamiento de información en nuestra investigación será simultáneo durante 24 hrs. continuas en periodos de invierno, incluyendo medición de variables meteorológicas (temperatura, humedad) y de salud respiratoria que antecedieron (por lo menos tres semanas atrás) y acontecieron durante el levantamiento de información (campaña de muestreo), principalmente referida a variaciones bruscas en el clima como las ondas de frío de baja humedad, y epidemias por virosis respiratorias en la región de Coyhaique.

El Consentimiento informado, y el comité de ética: Considerando que la colecta de “orina” no es invasiva, aspectos de “anonimato”, “revocación a la investigación” como “acceso a la información” serán derechos a ser destacado en el documento “consentimiento informado” detalles legibles de esta investigación de tipo observacional. En este caso, el consentimiento podrá ser revocado, totalmente o para determinados fines, en cualquier momento. Cuando la revocación se refiera a cualquier uso de la muestra, se procederá a su inmediata destrucción, sin perjuicio de la conservación de los datos resultantes de las investigaciones que se hubiesen realizado con carácter previo. En el documento debe constar la explicación de las características y el objetivo del estudio, sus riesgos y beneficios potenciales a la personas y que no hay oposición por su parte, entre otros.

Algunas consideraciones logísticas: Todas estas acciones y procedimientos que serán llevadas a cabo desde una “Base de Coordinación y Operación (BCO)” en Coyhaique que seguirá el muestreo y actividad de los investigadores de campo, a tiempo real con el uso de tecnología GPS (smartphones) para dar soporte ante cualquier eventualidad en el territorio como para coordinar la recolección de datos, preservación y envío de muestra para análisis, como también réplicas de resguardo. La BCO también dará todo el soporte para alojamiento, alimentación, comunicación y logística a los investigadores de campo. Considerando todo y sin imprevistos meteorológicos, la campañas de muestreo deberán durar 1 semana a lo menos cada vez. Destacamos que la colecta de orina será mantenida y almacenada a -80°C (Nitrógeno líquido) hasta su análisis en laboratorio. En este caso, después de codificadas las muestras para asegurar el anonimato de cada voluntario (mujeres y/o niños entre 4 y 15 años), las muestras serán transportadas tanto por vía aérea y terrestre por una empresa especializada hasta los laboratorios de análisis en Rio de Janeiro, Brasil. Destacamos que las réplicas de todas las muestras de orinas serán guardadas a -80°C (Nitrógeno líquido) en el laboratorio de la Universidad de Chile.

Por último para la evaluación de la caracterización del riesgo en salud de las personas por exposición a variables físico químicas ambientales en MP como en suelos, se llevará a cabo una representación espacial con las anomalías encontradas, generando dos productos:

1. Mapa de Concentración de Puntos para resultados de suelos

Distribución Normal: Como se ha comentado anteriormente en la mayoría de los tratamientos estadísticos, en geoquímica ambiental se requiere respetar la distribución normal de los datos, debido a que cuando los datos presentan otro tipo de distribuciones, como las sesgadas a la izquierda o a la derecha, entre otras, los valores como medias, promedios, etc. son erróneos. Por lo tanto, la necesidad de normalizar los datos con el fin de lograr una distribución normal y de este modo, realizar un análisis correcto del set de datos, abre una discusión respecto a cuáles son los métodos más adecuados para normalizar los datos. Como se ha demostrado que la tendencia de los datos es presentar un comportamiento de tipo logarítmico (Reimann et al., 2008), el método Transformación Isometric logratio (Egozcue et. al., 2003) (ilr) permite una normalización de este tipo y además respeta la distancias originales de los datos.

En el presente estudio se ha utilizado la normalización denominada ilr, que se obtiene a partir de la siguiente fórmula: $Ilr(x) = \sqrt{1/2} \ln(x / \text{raiz}(1-x))$,

Donde x corresponde a la concentración del elemento normalizada de acuerdo a su fracción en la muestra, esto quiere decir que, dependiendo de las concentraciones (w%, ppm o ppb) estas serán divididas o por 10.000.000, 1.000 o 100, respectivamente. Esto sobre la base que la suma total de cada análisis supera el 100%.

A partir de estos datos “normalizados”, se generan los diagramas compuestos explicados a continuación.

Diagramas Compuestos: Los diagramas compuestos son utilizados para observar la distribución de los datos, previo análisis exploratorio de los datos originales versus datos normalizados. El Diagrama es ventajoso ya que permite la observación de datos como: la dispersión de puntos, el histograma, la densidad y boxplot, al mismo tiempo (Figura 3).

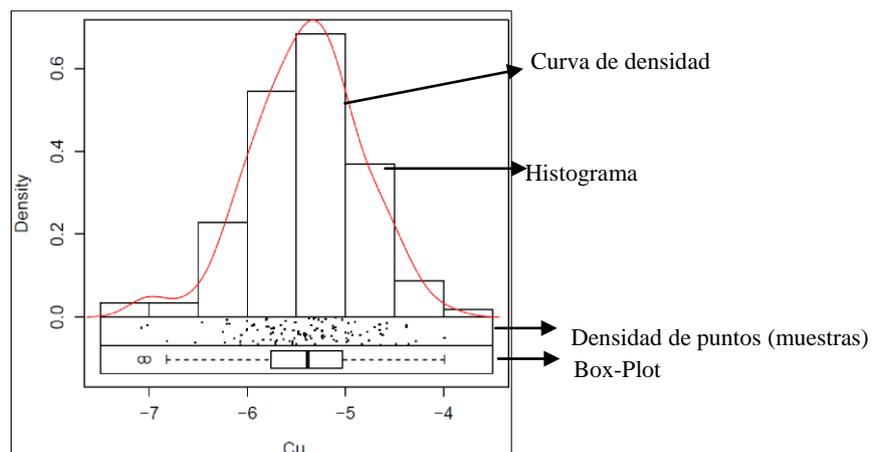


Figura 3: Diagrama compuesto conformado por una curva de densidad, histograma de densidad, concentración de puntos y Box-Plot. En el diagrama de concentración de puntos, cada punto corresponde a una muestra analizada.

Box-Plot: La construcción de este tipo de diagrama conocidos como *diagrama de caja y bigotes*, definido por Tukey (1977), se realiza a partir del cuartil superior (q3) e inferior (q1) correspondientes al 75% y 25% de los datos, respectivamente. El Rango Inter-cuartil (RI) definido por q3 y q1 contiene aproximadamente el 50% de los datos. En este diagrama se define un Límite Interno (Figura 4), según el cual los valores que se ubiquen más allá de este, son considerados valores extremos o anómalos (outliers). Este límite se define como 1.5 veces la longitud del box (caja) hacia los valores máximos y mínimos, y algebraicamente se define como:

Límite Interno Superior (LIS) = $q_3(x) + 1.5 \cdot (RI)$, donde

RI = $q_3 - q_1$ y el Límite Superior (LS) o Bigote Superior se define como:

Límite Superior = $\max(x | x \leq LIS)$, donde los valores que se encuentran entre [...] indican un subset de

valores que reúnen criterios específicos.

Del mismo modo, se obtiene tanto el Límite Interno Inferior (LII) como el Límite Inferior (LI) o Bigote Inferior:

$$\text{Límite Interno Inferior (LII)} = Q1 - 1.5 * (RI)$$

$$\text{Límite Inferior (LI)} = \min (x [x \geq \text{LII}])$$

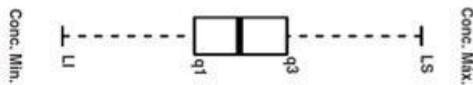


Figura 4: Límites presentes en el Box-Plot

De este modo, en el levantamiento de la *línea de base del presente estudio*, los valores que definen el rango intercuartílico, y a su vez la media de las concentraciones, son considerados como los valores “normales” y las concentraciones mayores se definen como concentraciones anómalas o suelos potencialmente contaminados. Las muestras con valores por debajo del límite inferior o por encima del límite superior, se destacan con colores más acentuados en el mapa correspondiente. En el presente estudio, estos valores podrían estar indicando potenciales fuentes de contaminación.

En el mapa, la simbología utilizada son círculos proporcionales a las concentraciones del elemento respectivo, y se obtiene mediante la utilización del software ArcGis 14.0. El tamaño de las circunferencias es proporcional al rango de concentración determinado, y el color corresponde al determinado para cada elemento. En el caso de las anomalías, estas son destacadas según el código de color, acentuando su tonalidad.

Mapas de Interpolación: A continuación se exponen los fundamentos teóricos y conceptos necesarios en la construcción de mapas de interpolación, a través de la técnica Kriging, según Reimann et al., (2008):

En la construcción de mapas de superficies, una de las herramientas más utilizadas es el método kriging, debido a la información que genera a partir de un set de datos puntuales, entregando un estimador estadísticamente optimizado para cada punto de la grilla seleccionado para la interpolación. Adicionalmente, kriging permite una aproximación a la predicción de la calidad en cada punto de la grilla. Además, es posible estimar los valores de las celdas definidas en la grilla, mediante las intersecciones de las líneas de la grilla o para cualquier lugar en el espacio (punto kriging). El objetivo fundamental del análisis espacial y del kriging, es la determinación de las ponderaciones proporcionales a la distancia de las muestras en la interpolación, ya que las muestras tomadas en sitios vecinos presentarán una relación más estrecha y, por lo tanto, una influencia mayor en la interpolación que aquellas muestras más distantes. Por lo tanto, la pregunta es, cómo establecer las ponderaciones proporcionales a la distancia.

La base del kriging se encuentra en la construcción de los Semi Variogramas (Cressie, 1993), los cuales permiten observar la similitud (varianza) entre los datos (eje y) y las distancias definidas (eje x). Las distancias ploteadas a lo largo del eje x en el semi variograma, es la distancia Euclidiana, que se define como la distancia de conexión directa entre dos puntos del área de estudio. Normalmente, entre el 30% y el 50% de la distancia máxima en un área de estudio, es usada como máximo en el eje x en el semivariograma. Esto se fundamenta en que la variabilidad en la diferencia de las concentraciones del elemento, es muy alta en muestras muy distantes.

El semivariograma muestra el cuadrado de la diferencia de las concentraciones de elementos, entre todos los posibles pares de puntos de datos. Los pares se representan gráficamente, en función de su distancia de separación a lo largo del eje x. El eje y registra la semivarianza, que es la mitad del valor de las diferencias al cuadrado, entre los valores de los pares. La semivarianza se utiliza, ya que permite una visualización más fácil de la varianza total en el semivariograma. Se puede observar que, efectivamente, a mayor distancia, mayor es la semivarianza y que, a una cierta distancia, la línea se “aplana”, lo que en otras palabras significa que la varianza comienza a ser constante. Esto quiere decir que a una distancia determinada, las concentraciones no muestran una dependencia espacial. Para pequeñas distancias, la semivarianza es pequeña debido a la alta dependencia entre puntos.

Para medir la calidad de un semivariograma, existen algunos conceptos importantes de conocer:

- **Rango:** es la distancia donde las muestras pueden ser consideradas independientes unas de otras. Esta será la distancia donde el modelo en el semivariograma se hace plano. Este será el punto donde el modelo también alcanza la varianza total. El rango relativo a la máxima distancia, es un indicador de calidad de los datos. Cuando este rango es corto, esto indica que las muestras del área de estudio no son suficientes. Sin embargo, la calidad de la predicción aumentará, con un incremento de muestras en el área de estudio.
- **Varianza Nugget:** también se conoce como Efecto Nugget, y corresponde a la varianza a la distancia cero, que en teoría debiera ser cero. En teoría, dado que aunque dos muestras se tomen muy cerca la una de la otra, siempre existirán múltiples razones para observar una cierta variación, como por ejemplo, errores en el muestreo, errores analíticos y considerar que en la realidad no existen dos muestras idénticas.

El semi-variograma indica completamente independencia de las muestras, y una predicción espacial no sensible, si el rango es cero, reflejando sólo efecto Nugget. En el presente trabajo, esto es un indicador de la densidad de muestras, si fueron muy bajas (esparcidas) o de una calidad analítica muy pobre.

Sill: es la diferencia entre la varianza total y la varianza Nugget. La proporción del sill de la varianza total debe ser grande (large), porque esto indicará una dependencia espacial bien definida, priorizando una predicción de alta calidad.

El variograma determina el peso de las muestras vecinas usadas para la predicción; mientras las muestras se encuentren más distantes, menor es el peso que tendrá el rango. Para cada elemento, una función individual, el semi-variograma, es estimado. Todos los valores observados, tienen un peso según el semi-variograma y son usados para la predicción. Esta es la ventaja sobre otros métodos (por ejemplo, el movimiento de la mediana), el cual considera sólo muestras en el radio definido. La mayor ventaja de este método, con respecto a otros métodos de interpolación, es que el semi-variograma permite juzgar la calidad de los datos, incluso evaluar la idoneidad para la construcción de colores en el mapa.

La selección de clases y escala, tiene una importante incidencia en la construcción de los mapas de interpolación kriging. Los datos deben ser estructurados y visibles, y las clases deben tener una relación directa con los datos.

Referencias

- EGOZCUE, J. J., PAWLOWSKY-GLAHN, V., IKAITE, I., IATEUFIGUERAS, G. & BARCELO-VIDAL, C. 2003. Isometric logratio transformations for compositional data analysis. *Mathematical Geology*, 35 (3), 279-300.
- Kelsey et al. 1995 *Methods in Observational Epidemiology* 2nd Edition, Table 12-15. Fleiss, *Statistical Methods for Rates and Proportions*, formulas 3.18 & 3.19.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Review Geophysics*, 33, 241-265. doi:10.1029/95RG00262.
- P. Filzmoser and C. Croux. Dimension reduction of the explanatory variables in multiple linear regression. *Pliska Studia Mathematica Bulgarica*, 14:59–70, 2003.
- Pison G, ROUSSEEUW P, FILZMOSE P, CROUX C. Robust factor analysis. *JOURNAL OF MULTIVARIATE ANALYSIS*. ACADEMIC PRESS INC ELSEVIER SCIENCE; 2003;84(1):145–72.
- Cressie, Noel *Statistics for Spatial Data*, Revised Edition. ISBN: 978-1-119-11461-1

3.13 Equipo técnico

Señalar el equipo técnico que desarrollará la iniciativa. Indicar quién actuará de coordinador técnico.

Nombre completo	Profesión	Rol	Funciones Principales	Dedicación (hrs.)	Relación Contractual y financiamiento (1)
Dante Daniel Cáceres Lillo	Médico veterinario, epidemiólogo, Doctor en Salud Pública	Especialista en epidemiología y salud ambiental	Director del proyecto. Planifica, coordina y dirige las acciones del estudio. Responsable de informes y presentaciones	12	Académico Jornada completa. Universidad de Chile
Especialista (PhD) en Ciencias de la Tierra Geoquímica de Medio ambiente		Geólogo Especialista en Geoquímica de material particulado atmosférico y contaminación ambiental		Media jornada	FIC
Ana Karina Maldonado Alcaino	Geógrafa, Diplomada en Geomática, Magíster en Salud Pública(c)	Trabaja en el levantamiento de la información espacial de la información de medio ambiente y Salud.	manejo de bases de datos y sistemas de información geográfica	Media jornada	FIC
Franz Muñoz	Bioquímico, Doctor en Salud Pública	Toxicología, epidemiología Ambiental,	Modelamiento estadístico y epidemiológico de la información	8 horas semanales	FIC

		Geoestadística			
Marco Acuña Briones.	Enfermero-Matrn, Epidemiólogo	*Coordinador Técnico	Coordinación de actividades de terreno, nexo de trabajo con SEREMI de Medio Ambiente, Universidad de Aysén y U. de Chile	3 - 4 hrs semanales	SEREMI de Salud de Aysén
Carla Basualto Alarcón	Médica, Magíster en Ciencias Biomédicas Mención medioambiente y Biomedicina., Doctorada en Ciencias Biomédicas	Coordinador Técnico Alterno	Trabaja sobre los efectos en el metabolismo y estrés mitocondrial por efecto de la exposición a humo de leña.	3-4 h semanales	Académica Jornada Completa, Universidad de Aysén

(1) Relación contractual: **CT**: Contrato código del trabajo; **CH**: Contrato a honorarios;
EX: Externo/a (a través de una subcontratación)
Financiamiento: FIC - Aporte Propio - Asociados

3.14 Subcontrataciones

Señalar, si los habrá, contratos con personas jurídicas para la prestación de servicios relacionados directamente con las actividades del programa. Se excluye de este ítem todo gasto destinado a contratar servicios de administración y apoyo. Indicar razón social, RUT, giro, descripción de los servicios a contratar y experiencia relevante.

Las subcontrataciones se llevarán a cabo específicamente en el marco del envío de las muestras para lo cual se subcontratará un servicio de transporte de la zona y nacionales. En caso de que las muestras deban ser enviadas al extranjero se procederá al subcontratación de transporte hacia el país donde se realicen los análisis. También la subcontratación se llevará a cabo para el análisis de las muestras. Se adjunta carta de colaboración de la Fundación FioCruz, Brasil. Además algunos de los análisis de metales serán enviados a Chester Lab. de Oregón USA.

3.15 Estrategia de Comunicación, Difusión y/o Transferencia

La estrategia deberá ser desarrollada durante toda la ejecución de la iniciativa y remitirse sólo resultados finales.

Deberá detallar el o los mecanismos, instituciones, organismos empresariales o empresas involucradas y tiempos. Si la iniciativa no contempla transferencia tecnológica como parte de su desarrollo, analizar al menos su proyección para una etapa siguiente.

Si el proyecto es aprobado, contempla la realización de informes preliminares de resultados dirigidos a las autoridades sectoriales y del gobierno regional de acuerdo a lo programado en el punto 3.12. (Carta Gantt). Además, se realizarán al menos un seminario anual, con el fin de

mantener informada a la ciudadanía y autoridades regionales, durante todo el periodo de ejecución, de acuerdo a lo planificado y los resultados obtenidos. Para la entrega oficial de resultados se desarrollará un Seminario a nivel regional con invitación a autoridades, academia y comunidad general.

A la comunidad científica

Publicación de los resultados en revistas especializadas de corriente nacional e internacional
Presentación de resultados Congresos Nacionales y trabajos en colaboración con redes Internacionales a definir.

4. FINANCIAMIENTO

El financiamiento debe incluir todos los gastos en que incurre la iniciativa. (De estimarse necesario se solicitarán cotizaciones y detalles de la valoración de ciertos ítems).

4.1 Presupuesto Total	
Monto total solicitado al FIC	M\$ 200.000
2018	\$ 0
Aporte Propio (1)	M\$ 21.259
Aporte Asociados (1)	M\$ 46.563
COSTO TOTAL INICIATIVA	M\$ 267.822

(1) Los aportes Propio y de Asociados, en conjunto deben ser iguales o superiores al 10% (5% pecuniario) del costo total de la iniciativa y debe estar respaldado por cartas compromiso.

4.2 Presupuesto General Aporte propio y Asociados				
Cuentas (a)	Unidad	Cantidad	Costo Unitario M\$	Costo
	de Medida			Total M\$
Recursos humanos (b)				
Profesional 1 aporte propio (Escuela de Salud Pública, U. de Chile)	Mes	36 meses	293	10.548
1 investigador Institución Asociada (U Aysén).	Mes	432 hrs.	13	5.615
1 funcionario Institución Asociada (Seremi de Salud).	Mes	400 hrs.	10	4.000
1 conductor Institución Asociada (Seremi de Salud).	Mes	300 hrs.	3	900
1 funcionario Institución Asociada (Seremi de Medio Ambiente).	Mes	50 hrs	10	500
Subtotal				21.563
Operación				
Difusión Aporte propio (Escuela de Salud Pública, U de Chile).	Seminarios	2	1.000	2.000
Difusión Institución Asociada (U Aysén)	Seminarios	2	1.000	2.000
Difusión Institución Asociada (Seremi de Salud)	Seminarios	4	200	800
(c) equipamiento				
Subcontrataciones (d)				
Viáticos	Mes			
Otros gastos Aporte Propio (Escuela de Salud Pública, U. de Chile).	Software	30 meses	50	1.500
Otros gastos Institución Asociada (Seremi de Salud).	Combustible	200 kms	1	200
Otros gastos Institución Asociada (Seremi de medio Ambiente).	Combustible	20 kms	1	20
Aporte propio (Escuela de Salud Pública)	Infraestructura	36 meses	200	7.200
Aporte Institución Asociada (U de Aysén)	Infraestructura	36 meses	300	10.800
Aporte Institución Asociada (Seremi de Salud)	Infraestructura	4 meses	120	480
Subtotal				25.000
5. Overhead (máximo 5%)				
SUB-TOTAL M\$	----	----	----	46.563

(a) Ver Bases Concurso FIC 2018 (Punto 12.2 Gastos permitidos)

(b) Detallar recurso humano agrupado por tipo y nivel de remuneraciones, la unidad de medida debe la remuneración mensual.

Coordinadores de proyecto cargados a la provisión FIC, deberán cumplir funciones Técnicas dentro de la iniciativa y demostrar su experiencia técnica y aporte a la iniciativa.

(c) Detallar por tipo de equipamiento considerado.

(d) Detallar a nivel de contrato.

(e) otros cargos a operación deberán ser detallados conformes a por partidas principales, cálculo de estimación y cotizaciones correspondientes.

4.4 Presupuesto Total Detallado

Para cada año calendario de ejecución de la iniciativa llenar el siguiente cuadro:

Presupuesto Solicitado FIC (2019)					
Cuentas (a)	Actividad Asociada	Unidad	Cantidad	Costo Unitario M\$	Costo
		de Medida			Total M\$
Recursos humanos (b)					
Profesional de Ciencias de la Tierra, geólogo especialista (PhD) en Medio Ambiente		Mes	12	1.800	21600
Geógrafo		Mes	6	800	4800
Profesional 3		Mes	0	2.500	0
Enfermera		Mes	2	600	1200
Administrativo U de Chile		Mes	6	550	3300
Técnico 3 (Ayudante de terreno, instalación de softwares, procesamiento datos, etc.)		Mes	12	900	10800
Técnico 4 (memorista 1)		Mes	12	200	2400
Técnico 6 (memorista 2)		Mes	12	200	2400
	Subtotal				46500
Operación					
Difusión	Escritura de publicaciones de carácter científico y público. Presentación de antecedentes ante comunidad en general (autoridades, científicas, público en general).	Asistencia a Congreso, seminarios y/o taller de trabajo. 1 persona.	0	2.400	0
(c) equipamiento (monitores continuos de tiempo real TSI®, DustTrak para MP10/2.5).		1 equipo	3	12.690	38070
PC, Licencias de Software ArcGIS y materiales para terreno (palas, bolsas plásticas, sacos, GPS, etc.) (Escuela de Salud Pública)		Mes	1	4.530	4530
Subcontrataciones (análisis)		Mes	75	50	3750
Subcontratación (envío muestras)			4	250	1000
Viáticos		Mes	60	60	3600
Otros gastos (e)					
	costos de traslado a la región	1 pasaje de avión Terreno	6	200	1200
	Subtotal				52150
5. Overhead (máximo 5%)					
					4000
	SUB-TOTAL M\$	----	----	----	102650

Presupuesto Solicitado FIC (2020)

Cuentas (a)	Actividad Asociada	Unidad	Cantidad	Costo Unitario M\$	Costo
		de Medida			Total M\$
Recursos humanos (b)					
Profesional de Ciencias de la Tierra, geólogo especialista (PhD) en Medio Ambiente		Mes	12	1.800	21600
Geógrafo		Mes	6	800	4800
Profesional 3		Mes	1	2.500	2500
Enfermera		Mes	2	600	1200
Administrativo U de Chile		Mes	6	550	3300
Técnico 3 (Ayudante de terreno, instalación de softwares, procesamiento datos, etc.)		Mes	11	900	9900
Técnico 4 (memorista 1)		Mes	0	200	0
Técnico 6 (memorista 2)		Mes	0	200	0
Subtotal					43300
Operación					
Difusión	Escritura de publicaciones de carácter científico y público. Presentación de antecedentes ante comunidad en general (autoridades, científicas, público en general).	Asistencia a Congreso, seminarios y/o taller de trabajo. 1 persona.	1	2.400	2400
(c) equipamiento (monitores continuos de tiempo real TSI®, DustTrak para MP10/2.5).		1 equipo	0	12.690	0
PC, Licencias de Software ArcGIS y materiales para terreno (palas, bolsas plásticas, sacos, GPS, etc.) (Escuela de Salud Pública)		Mes	1	2.000	2000
Subcontrataciones (análisis)		Mes	75	50	3750
Subcontratación (envío muestras)			4	250	1000
Viáticos		Mes	60	60	3600
Otros gastos (e)					
	costos de traslado a la región	1 pasaje de avión a Terreno	6	200	1200
Subtotal					13950
5. Overhead (máximo 5%)					4000
SUB-TOTAL M\$		----	----	----	61250

Presupuesto Solicitado FIC (2021)					
Cuentas (a)	Actividad Asociada	Unidad	Cantidad	Costo Unitario M\$	Costo
		de Medida			Total M\$
Recursos humanos (b)					
Profesional de Ciencias de la Tierra, geólogo especialista (PhD) en Medio Ambiente		Mes	12	1.800	21600
Geógrafo		Mes	6	800	4800
Profesional 3		Mes	0	2.500	0
Enfermera		Mes	0	600	0
Administrativo U de Chile		Mes	6	550	3300
Técnico 3 (Ayudante de terreno, instalación de softwares, procesamiento datos, etc.)		Mes	0	900	0
Técnico 4 (memorista 1)		Mes	0	200	0
Técnico 6 (memorista 2)		Mes	0	200	0
	Subtotal				29700
Operación					
Difusión	Escritura de publicaciones de carácter científico y público. Presentación de antecedentes ante comunidad en general (autoridades, científicas, público en general).	Asistencia a Congreso, seminarios y/o taller de trabajo. 1 persona.	1	2.400	2400
(c) equipamiento (monitores continuos de tiempo real TSI®, DustTrak para MP10/2.5).		1 equipo	0	12.690	0
PC, Licencias de Software ArcGIS y materiales para terreno (palas, bolsas plásticas, sacos, GPS, etc.) (Escuela de Salud Pública)		Mes	0	1.000	0
Subcontrataciones (análisis)		Mes	0	50	0
Subcontratación (envío muestras)			0	250	0
Viáticos		Mes	20	60	1200
Otros gastos (e)					
	costos de traslado a la región	1 pasaje de avión Terreno	4	200	800
	Subtotal				4400
5. Overhead (máximo 5%)					
					2000
	SUB-TOTAL M\$	----	----	----	36100

(a) Ver Bases Concurso FIC 2018 (Punto 12.2 Gastos permitidos)

(b) Detallar recurso humano agrupado por tipo y nivel de remuneraciones, la unidad de medida debe la remuneración mensual.

Coordinadores de proyecto cargados a la provisión FIC, deberán cumplir funciones Técnicas dentro de la iniciativa y demostrar su experiencia técnica y aporte a la iniciativa.

(c) Detallar por tipo de equipamiento considerado.

(d) Detallar a nivel de contrato.

(e) otros cargos a operación deberán ser detallados por partidas principales, cálculo de estimación y cotizaciones correspondientes.

Referencias bibliográficas

1. MMA: **Plan de descontaminación atmosférica por PM10 para Coyhaique y su zona circundante**. In. Edited by Ambiente MDM. 28 de octubre 2015; 2015.
2. Caceres D, Muñoz F, Acuña M, Torres R, Fuentes M, Carrasco I, Alcaíno K: **Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: un estudio de series temporales**. In. Ciudad de Coyhaique: Fondo Nacional de Investigación en Salud- Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología; 2018: 53.
3. Morgenstern H: **Ecologic Studies in Epidemiology: Concepts, Principles and Methods**. . *Annu Rev Public Health* 1995(16):61-81.

4. Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, Li N, Mason S, Nel A, Oullette J *et al*: **The health effects of non-industrial indoor air pollution**. *J Allergy Clin Immunol* 2008, **121**(3):585-591.
5. Cao Z, Yu G, Wang B, Huang J, Deng S: **Human exposure assessment of indoor dust: importance of particle size and spatial position**. *Environ Health Perspect* 2013, **121**(4):a110.
6. Brown KW, Sarnat JA, Koutrakis P: **Concentrations of PM(2.5) mass and components in residential and non-residential indoor microenvironments: the Sources and Composition of Particulate Exposures study**. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2012, **22**(2):161-172.
7. Cartieaux E, Rzepka MA, Cuny D: **[Indoor air quality in schools]**. *Arch Pediatr* 2011, **18**(7):789-796.
8. Samet JM, Marbury MC, Spengler JD: **Health effects and sources of indoor air pollution. Part I**. *Am Rev Respir Dis* 1987, **136**(6):1486-1508.
9. Samet JM, Marbury MC, Spengler JD: **Health effects and sources of indoor air pollution. Part II**. *Am Rev Respir Dis* 1988, **137**(1):221-242.
10. Chen LC, Lippmann M: **Effects of metals within ambient air particulate matter (PM) on human health**. *Inhal Toxicol* 2009, **21**(1):1-31.
11. Gray DL, Wallace LA, Brinkman MC, Buehler SS, La Londe C: **Respiratory and cardiovascular effects of metals in ambient particulate matter: a critical review**. *Rev Environ Contam Toxicol* 2015, **234**:135-203.
12. Morais S, Costa FGe, Pereira MdL: **Heavy Metals and Human Health**. In: *Environmental Health - Emerging Issues and Practice*,. Edited by Oosthuizen. PJ, InTech edn; 2012.
13. Bolling AK, Pagels J, Yttri KE, Barregard L, Sallsten G, Schwarze PE, Boman C: **Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties**. *Particle and Fibre Toxicology* 2009, **6**.
14. Seltnerich N: **Between Extremes: Health Effects of Heat and Cold**. *Environ Health Perspect* 2015, **123**(11):A275-280.
15. De Sario M, Katsouyanni K, Michelozzi P: **Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe**. *Eur Respir J* 2013, **42**(3):826-843.
16. Li Z, Commodore A, Hartinger S, Lewin M, Sjodin A, Pittman E, Trinidad D, Hubbard K, Lanata CF, Gil AI *et al*: **Biomonitoring Human Exposure to Household Air Pollution and Association with Self-reported Health Symptoms - A Stove Intervention Study in Peru**. *Environment International* 2016, **97**:195-203.
17. Forouzanfar MH, Alexander L, Anderson HR, Bachman VF, Biryukov S, Brauer M, Burnett R, Casey D, Coates MM, Cohen A *et al*: **Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013**. *Lancet* 2015, **386**(10010):2287-2323.
18. Costa DL: **Issues that must be addressed for risk assessment of mixed exposures: the U.S. EPA experience with air quality**. *J Toxicol Environ Health A* 2004, **67**(3):195-207.
19. Azócar García G, Aguayo Arias M, Henríquez Ruiz C, Vega Montero C, Sanhueza Contreras R: **Patrones de crecimiento urbano en la Patagonia chilena: el caso de la ciudad de Coyhaique**. *Revista de geografía Norte Grande* 2010, **46**:85-104.
20. WHO: **Ambient Air Pollution Database**. In.: World Health Organization; 2016.
21. Acuña M: **Impacto de la contaminación del aire por MP10 en la morbimortalidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres en la población de Coyhaique, 2009-2014**. Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina: Universidad de Chile; 2014.
22. Seinfeld JH, Pandis SN: **Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change**.; 1998.
23. Bernard SM, Samet JM, Grambsch A, Ebi KL, Romieu I: **The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States**. *Environ Health Perspect* 2001, **109 Suppl 2**:199-209.
24. Freitas MC, Pacheco AMG, Verburg TG, Wolterbeek HT: **Effect of particulate matter, atmospheric gases, temperature, and humidity on respiratory and circulatory**

- diseases' trends in Lisbon, Portugal. *Environmental Monitoring and Assessment* 2010, **162**(1-4):113-121.
25. Gao J, Sun Y, Lu Y, Li L: **Impact of ambient humidity on child health: a systematic review.** *PLoS One* 2014, **9**(12):e112508.
 26. Valavanidis A, Fiotakis K, Vlachogianni T: **Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms.** *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev* 2008, **26**(4):339-362.
 27. Zelikoff JT, Chen LC, Cohen MD, Schlesinger RB: **The toxicology of inhaled woodsmoke.** *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2002, **5**(3):269-282.
 28. Masse R, Boudene C: **[The health impact of woodsmoke].** *Bull Acad Natl Med* 2013, **197**(1):187-190.
 29. Naeher LP, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff JT, Simpson CD, Koenig JQ, Smith KR: **Woodsmoke health effects: a review.** *Inhal Toxicol* 2007, **19**(1):67-106.
 30. Ruiz PA, Toro C, Cáceres J, Lopez G, Oyola P, Koutrakis P: **Effect of gas and kerosene space heaters on indoor air quality: a study in homes of Santiago, Chile.** *J Air Waste Manag Assoc* 2010, **60**(1):98-108.
 31. Cáceres D, Adonis M, Retamal C, Ancic P, Valencia M, Ramos X, Olivares N, Gil L: **[Indoor air pollution in a zone of extreme poverty of La Pintana, Santiago-Chile].** *Rev Med Chil* 2001, **129**(1):33-42.
 32. Gil L, Adonis M, Cáceres D, Moreno G: **[Impact of outdoor pollution on indoor air quality. The case of downtown Santiago (Chile)].** *Rev Med Chil* 1995, **123**(4):411-425.
 33. GIL L, Cáceres D, Quiñones L, Adonis M: **Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco.** *Ambiente y Desarrollo* 1997, **XIII**:70-78.
 34. Barraza F, Jorquera H, Valdivia G, Montoya L: **Indoor PM2.5 in Santiago, Chile, spring 2012: Source apportionment and outdoor contributions.** *Atmospheric Environment* 2014, **94** (692-700).
 35. Pino P, Oyarzun M, Walter T, von Baer D, Romieu I: **[Indoor air pollution in southeast Santiago, Chile].** *Rev Med Chil* 1998, **126**(4):367-374.
 36. Rivas E, Barrios C S, Dorner P A, Osorio S X: **Association between indoor contamination and respiratory diseases in children living in Temuco and Padre Las Casas, Chile.** *Rev Méd Chile* 2008, (136):767-774.
 37. Cortés A , Ridley I: **Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire Intradomiliario de la ciudad de temuco como caso de estudio.** *INVI* 2013, **28**:257-271.
 38. Migliaccio CT, Bergauff MA, Palmer CP, Jessop F, Noonan CW, Ward TJ: **Urinary levoglucosan as a biomarker of wood smoke exposure: observations in a mouse model and in children.** *Environ Health Perspect* 2009, **117**(1):74-79.
 39. Bergauff MA, Ward TJ, Noonan CW, Migliaccio CT, Simpson CD, Evanoski AR, Palmer CP: **Urinary levoglucosan as a biomarker of wood smoke: results of human exposure studies.** *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2010, **20**(4):385-392.
 40. USEPA: **Risk assessment guidance for Superfund. Human health evaluation manual, (part A) [R].** In. Edited by [EPA/540/1-89/002]. vol. 1. Washington, DC: Office of emergency and remedial response; 1989.
 41. USEPA: **Superfund Public Health Evaluation Manual.** In. Edited by Agency USEP, vol. 540. Washington, DC; 1986: 1'86.
 42. USEPA: **Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final Report) 2009.[Online]** In. Edited by Agency. USEP; 2010.
 43. USEPA: **Risk assessment Guidance for Superfund Volule I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidande for Inhalation Risk Assessment. Final EPA 540-R-070-002 OSWE 9285.7-82. .** In: *Office of Superfund Remediation and Technology Innovation.* Edited by Agency EP. Washington, D.C.; 2009.
 44. Asante-Duah K: **Public Health Risk Assessment Exposure to Chemicals** vol. 27: Springer; 2017.
 45. Wu S, Peng SQ, Zhang XX, Wu DL, Luo W, Zhang TB, Zhou SG, Yang GY, Wan HF, Wu LQ: **Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China.** *J Geochem Explor* 2015, **148**:71-78.

CARTA COMPROMISO APOORTE FINANCIERO

En Santiago a 14 de agosto, Flavio Salazar Onfray, cédula de identidad [REDACTED] actuando en representación de la Universidad de Chile, RUT 60.910.000-1, declara conocer el contenido de la iniciativa de nombre "Riesgo en Salud por contaminantes extra e intramuros, Coyhaique" a presentar por el Instituto de Salud Poblacional (Escuela de Salud Pública) de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, RUT 60.910000-1, al Fondo de Innovación de la Competitividad (FIC) 2018 de la Región de Aysén y compromete, en caso de acceder a los recursos de este fondo y en forma oportuna, los siguientes aportes:

a) Aportes pecuniarios

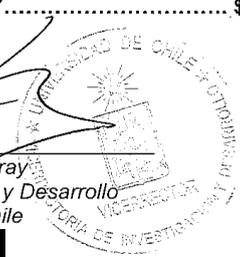
Descripción del aporte	Valor unitario (\$)	Cantidad	Valor total (\$)
Sub-total Aportes pecuniarios (A)			\$

b) Aportes no pecuniarios

Descripción del aporte	Valor unitario (\$)	Cantidad	Valor total (\$)
Personal (hh)	\$293321,6	36	\$10.559.577
infraestructura	\$200.000	36	\$7.200.000
Seminario/Publicación/Difusión	\$1.000.000	2	\$2.000.000
Software	\$ 50.000	30	\$1.500.000
Sub-total Aportes no pecuniarios (B).....			\$
			\$21.259.577

TOTAL APOORTE (A + B)\$21.259.577..... \$

Flavio Salazar Onfray
 Vicerrector de Investigación y Desarrollo
 Universidad de Chile



3)

CARTA DECLARACIÓN

En Santiago a 14 de agosto, Flavio Salazar Onfray, cédula de identidad [REDACTED], actuando en representación de la Universidad de Chile, RUT 60.910000-1, declara conocer las Bases de Concurso Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) Aysén 2018 Entidades Receptoras y aceptar la totalidad de su contenido.


Flavio Salazar Onfray
Vicerrector de Investigación y Desarrollo
Universidad de Chile
[REDACTED]

