

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA**



“IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MP10 EN LA MORBI-MORTALIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA, CARDIOVASCULAR Y ALGUNOS CANCERES EN LA POBLACIÓN DE COYHAIQUE, 2009-2014”.

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER
EN SALUD PÚBLICA**

AUTOR: MARCO ANDRES ACUÑA BRIONES

PROFESOR GUIA DE TESIS: DR. DANTE CACERES LILLO

Santiago, Julio 2014

INDICE

| | | |
|-------|----------------------------|-------------|
| | Glosario de términos | pág 1 |
| I. | Introducción | pág 2 - 5 |
| II. | Marco Teórico | pág 6 – 8 |
| III. | Objetivos | pág 9 |
| IV. | Hipótesis | pág 9 |
| V. | Metodología | pág 10 – 18 |
| VI. | Resultados | pág 19 – 73 |
| VII. | Discusión | pág 74 - 78 |
| VIII. | Referencias Bibliográficas | pág 79 – 80 |
| IX. | Anexos | pág 81 - 96 |

GLOSARIO DE TERMINOS

OMS: Organización Mundial de la Salud.

MP10: material particulado de 10 micrones de diámetro.

MP 2.5: material particulado de 2,5 micrones de diámetro.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

MINSAL: Ministerio de Salud.

VSR: virus sincicial respiratorio.

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar.

Conama: Comisión Nacional de Medio Ambiente.

CO: monóxido de carbono.

COV: compuestos orgánicos volátiles.

HAP: hidrocarburos aromáticos policíclicos.

EMRP: estación de monitoreo con representación poblacional.

PUF: partículas ultrafinas.

Seremi de Salud: Secretaría Regional Ministerial de Salud.

PDA: Plan de Descontaminación Ambiental.

GAM-pdl: Modelos Aditivos Generalizados con función de desfase temporal.

CIE: Código Internacional de Enfermedades.

DEIS: Departamento de Estadísticas e Información en Salud.

CGV: Validación Cruzada Generalizada.

IRA grave: Infección Respiratoria Aguda grave.

ETI: enfermedad tipo influenza.

I. Introducción

La contaminación atmosférica constituye en la actualidad, por sí sola, el riesgo ambiental para la salud humana más importante en el mundo¹. El último informe de la OMS señala que en el año 2012 unos 7 millones de personas murieron como consecuencia de la exposición a la contaminación del aire, y que el mayor conocimiento que se tiene hoy de la relación con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer es gracias a una mejor evaluación de la exposición humana a los contaminantes a través de mediciones, información de mejor calidad y tecnologías más avanzadas¹.

La ciudad de Coyhaique fue fundada el 12 de octubre de 1929 por el Gobierno Provincial, siendo la capital regional más joven en el país. Se encuentra situada en los 45° 34' de latitud sur y 72° 04' de longitud oeste, con una altitud aproximada de 280 m.s.n.m. La ciudad se encuentra emplazada en la zona centro de la cuenca hidrográfica del Río Aysén, en un valle de lomajes suaves situado entre los ríos Simpson y Coyhaique, está protegida por un conjunto montañoso, tanto al norte como al sur. Hacia el lado oeste, se encuentra la Cordillera de los Andes con cotas que superan los 1000 metros, mientras que hacia el este disminuye su altitud. Esta cuenca se caracteriza por sus abundantes precipitaciones y gran disponibilidad de recursos hídricos. El predominio de altas presiones y presencia de inversión térmica en el periodo invernal, dificulta la dispersión vertical de los contaminantes generados por la combustión de leña, incidiendo negativamente en la polución por material particulado³.



Figura N°1. Ubicación geográfica ciudad de Coyhaique.

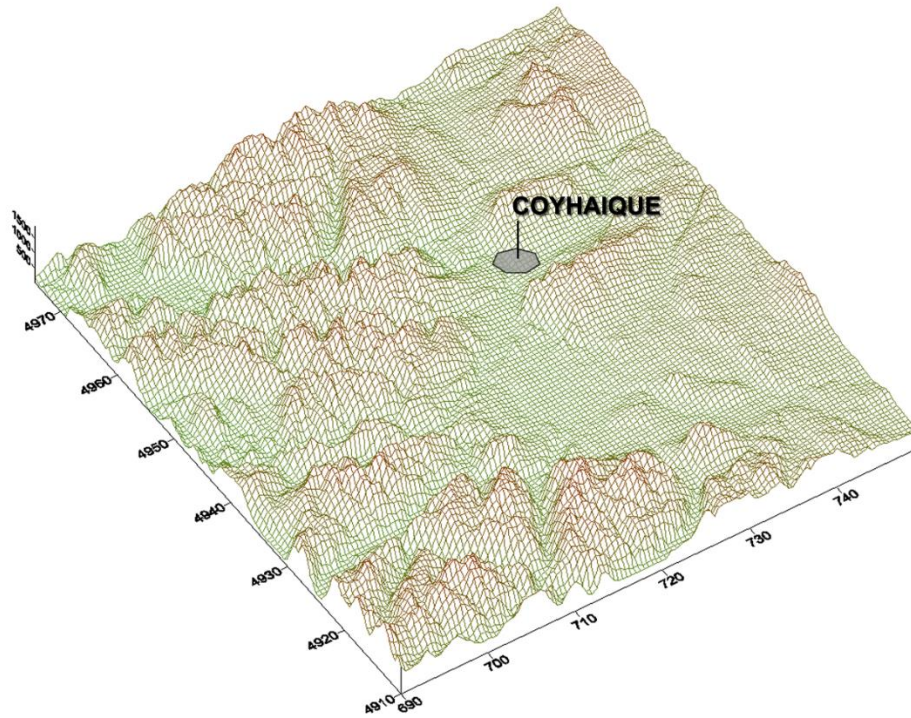


Figura N°2. Representación Tridimensional de la topografía de la ciudad de Coyhaique. Resolución de la topografía: 500 x 500 metros. Coordenadas de Origen UTM-E: 690.000 km, UTM-N: 4910.000 km.

Las principales actividades económicas desarrolladas en la ciudad se relacionan con los rubros agropecuario, silvícola, industrial, turístico y de bienes y servicios. Según proyección del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), para el año 2014 la capital regional cuenta con una población de 57.535 habitantes, siendo un 16,1% niños, un 16,9% adolescentes, un 59,7% adultos y un 7,3% de adultos mayores². En el último quinquenio, el crecimiento de la población para la comuna ha sido de 7,4%, lo que da cuenta de la migración o traslado de la población rural hacia la ciudad en busca de mejores expectativas educacionales, laborales y de calidad de vida². Esta concentración de población en la ciudad ha significado el aumento en la construcción de viviendas, con el consiguiente incremento de fuentes fijas de emisión, ya que el principal combustible usado para la calefacción e incluso cocinar en la cultura regional es la leña⁵.

El inventario de emisiones atmosféricas realizado en el 2008 por una consultora externa para la entonces Conama, concluyó que el 94% de las emisiones de MP10 en la ciudad de Coyhaique corresponden a la calefacción residencial a leña, un 5% a grandes consumidores

de leña, que incluyen el sector comercial, industrial e institucional y el 1% restante, proviene de otras fuentes como vehículos, construcción, quemas agrícolas y forestales⁵. Otro dato relevante del estudio, concluyó que cada año se emiten 7,628 toneladas de MP10 y 7,407 toneladas de MP2,5, siendo complejo determinar las emisiones de CO, óxido nitroso, COV y óxido de azufre producto de la combustión de madera por la composición y humedad, diseño de los equipos de combustión en uso (calefactor o cocina), hábitos y prácticas de operación, como también la mantención de los equipos, entre otros factores³. Por otra parte, se sabe que la combustión de leña genera partículas cuya composición química contiene altos niveles de HAP (hidrocarburos policíclicos aromáticos), compuestos que presentan potencial efecto cancerígeno y tóxico⁴.

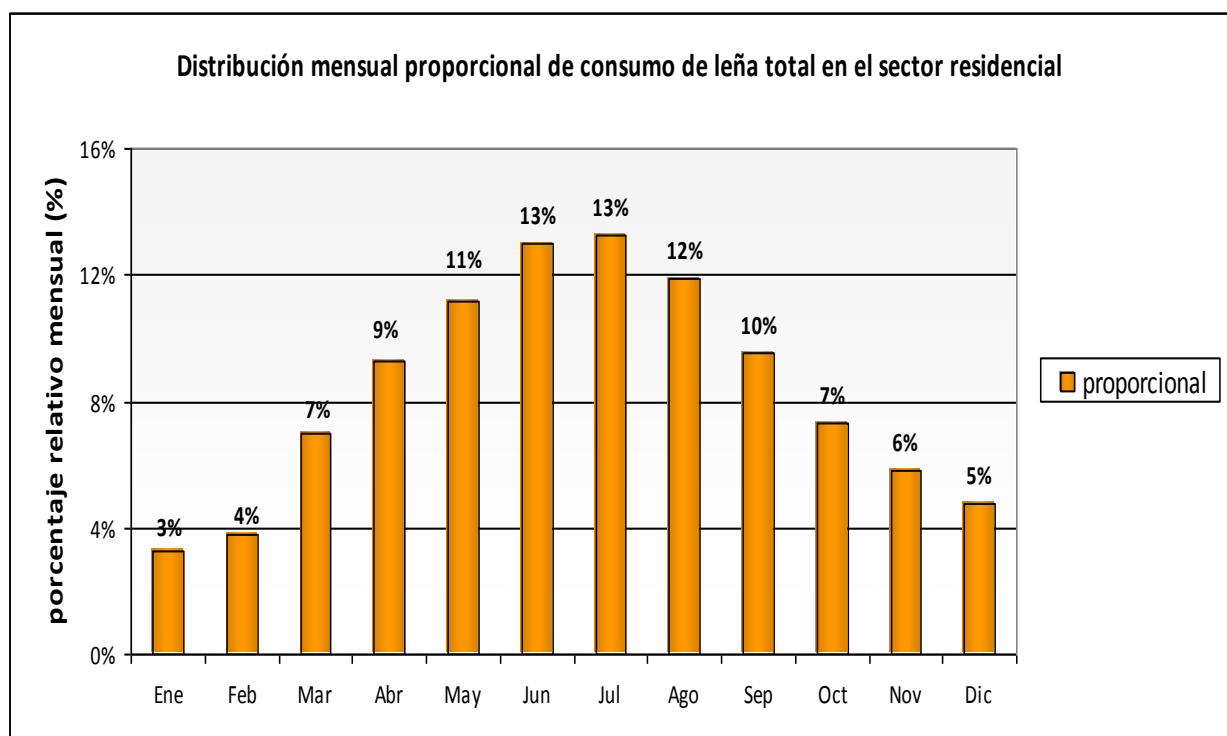


Figura N°3. Distribución mensual proporcional de consumo de leña en el sector residencial. Inventario de Emisiones Atmosféricas. Conama 2009.

Según los datos obtenidos en el inventario de emisiones, existen aproximadamente 22.504 artefactos residenciales de combustión a leña dentro de los límites urbanos de la ciudad, en donde las viviendas que poseen cocinas a leña alcanzan un 34,9%, las que cuentan con equipos a combustión lenta un 24,4% y un 37,6% corresponde a las viviendas que poseen

ambos artefactos³. En un estudio realizado por la Comisión Nacional de Energía en el 2009, se estableció que el mayor consumo de leña a nivel nacional se producía en las poblaciones de las ciudades de Coyhaique y Puerto Aysén.

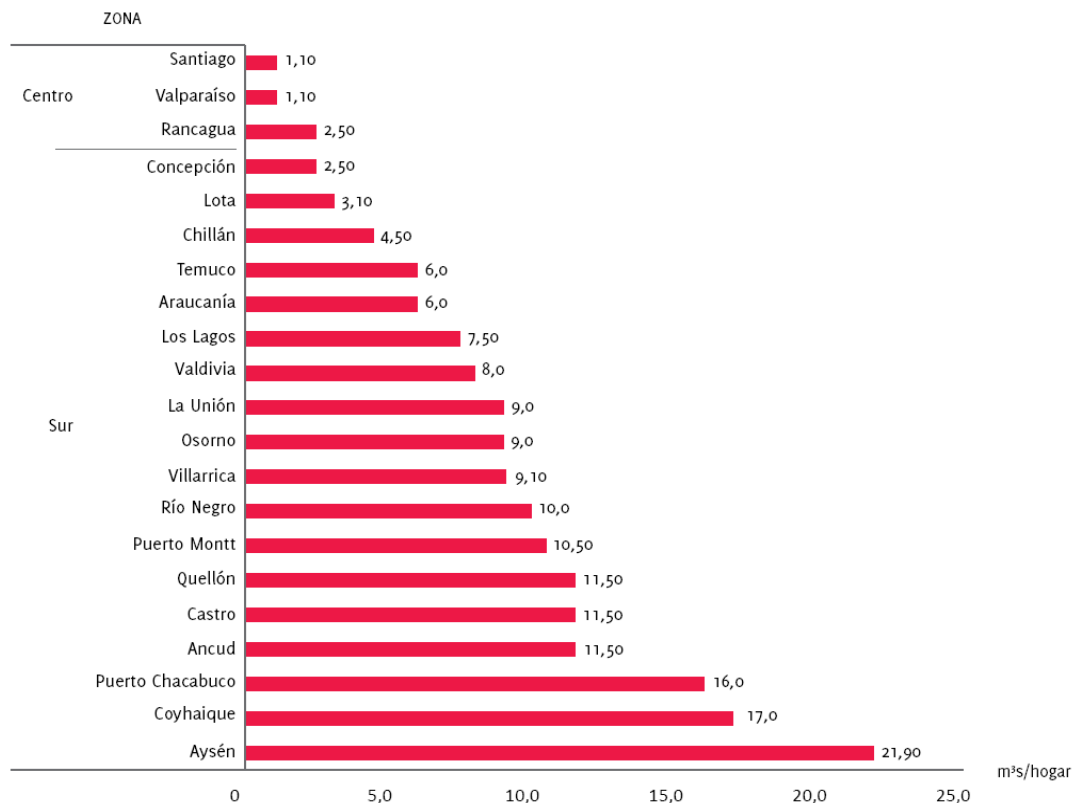


fig. 19 Distribución del consumo de leña en el país
Fuente: CNE (2009).

Figura N°4. Distribución del consumo de leña a nivel nacional.

Finalmente, con la información del monitoreo de MP10 realizado en forma permanente en Coyhaique, desde el 2008 por una estación calificada como EMRP (Estación de Monitoreo con representación poblacional), y dado que se constató la superación de la norma primaria para MP10 tanto en su valor promedio 24 horas como promedio anual en los años 2009, 2010 y 2011, se declaró en noviembre del 2012 a la ciudad de Coyhaique como zona saturada⁵.

II. Marco Teórico

Desde la catástrofe de Londres, en diciembre de 1952, donde después de 4 días de densa niebla se produjo un exceso de muertes del orden de 3.500 a 4.000 casos, no existen dudas del impacto en la salud de las personas por la contaminación atmosférica. En los últimos años se ha desarrollado un número importante de estudios en distintas ciudades del mundo, que han encontrado efectos nocivos sobre la salud de la población, aún bajo los niveles de calidad del aire considerados como “seguros”⁶.

La preocupación por los riesgos al estar expuestos a contaminantes atmosféricos, ya sean éstos líquidos, físicos, químicos, orgánicos o no orgánicos, obliga a responder las demandas de conocimiento de la sociedad y de los responsables de formular políticas de protección. Así, tanto los médicos clínicos que evalúan la salud de los individuos expuestos, los especialistas en toxicología definiendo el daño causado por el contaminante y los epidemiólogos estudiando los efectos en los grupos poblacionales expuestos, están llamados a estudiar y cuantificar el impacto en la salud de los contaminantes inhalados⁷.

Diversos estudios realizados en países desarrollados indican que el humo de leña es la mayor fuente de exposición a MP durante los meses de invierno, proveniente del uso de estufas residenciales⁸. Se sabe que, dependiendo de la calidad de la combustión, el tipo y características de la leña usada se pueden emitir una serie de compuestos en el humo, tales como: metales, gases, hidrocarburos policíclicos aromáticos (carcinogénicos), compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos clorados, radicales libres, material particulado, sulfatos, endotoxinas y constituyentes orgánicos, muchos de los cuales son muy dañinos para la salud⁸.

Por otra parte, el mayor porcentaje de partículas presentes (> 90%) en el humo de leña son inferiores a 2,5 micrones (PM 2.5), consideradas junto con las partículas ultrafinas (PUF) como las más peligrosas, ya que penetran profundamente en el sistema respiratorio, donde pueden permanecer durante meses, causando daños y cambios químicos estructurales, que son particularmente peligrosos, ya que pueden llevar adsorbidos una serie de compuestos altamente tóxicos y carcinogénicos, los que estarían involucrados en el proceso de daño celular y la posterior respuesta inflamatoria a nivel pulmonar y cardiovascular⁹⁻¹⁰.

Estudios epidemiológicos y toxicológicos han demostrado en forma consistente los efectos agudos o crónicos en la salud de las personas expuestas a contaminantes del aire, ya sean provenientes de espacios interiores y/o exteriores, siendo éstos dependientes de las características de la exposición y del tipo de contaminante emitido⁷. En bebés y niños el humo de leña interfiere en el desarrollo normal de los pulmones, aumentando el riesgo a las infecciones de las vías respiratorias inferiores, como bronquitis y neumonía⁸. Por otra parte, la exposición al humo puede deprimir el sistema inmunológico y dañar el tejido epitelial pulmonar responsable de proteger y limpiar las vías aéreas¹¹. Se describe mayor frecuencia de tos, dolores de cabeza, irritación de ojos y garganta en personas sanas expuestas. En poblaciones vulnerables, con asma, enfermedades respiratorias crónicas y aquellos con enfermedad cardiovascular, el humo de la leña es particularmente dañino, incluso en exposiciones cortas¹². Se ha reportado aumento en el riesgo de eventos cardiovasculares, como ataques cardíacos y arritmias. Personas cardiopatas pueden experimentar dolor al pecho, palpitaciones, falta de aliento, fatiga y accidentes cardiovasculares. La exposición a humo de leña exacerba agudamente los síntomas respiratorios de enfermedades crónicas como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y asma bronquial, lo que lleva a un aumento de los ingresos hospitalarios^{13, 14}.

Uno de los diseños epidemiológicos más utilizados en la actualidad para evaluar los efectos de la contaminación atmosférica son los **estudios ecológicos de series temporales**. En ellos se analizan las variaciones en el tiempo de la exposición al contaminante y el indicador de salud estudiado en una población representativa¹⁴. Una de las grandes ventajas de los estudios de series temporales es que al analizar la misma población en diferentes periodos de tiempo (día a día, generalmente), muchas de aquellas variables que pueden actuar como factores de confusión a nivel individual como hábito tabáquico, edad, género, ocupación, etc., no necesitan ser controladas, ya que se mantienen estables en la misma población¹⁵.

El principal sesgo que pueden presentar estos estudios es el conocido como “falacia ecológica”, que corresponde al error cometido al trasladar las estimaciones realizadas del nivel ecológico a un nivel individual¹⁵. Generalmente, la falacia ecológica afecta más a los diseños geográficos o espaciales que a los de series temporales. Por otra parte, y debido a

que siempre se trata de mezclas de contaminantes, existe dificultad en atribuir los efectos sobre la salud a un contaminante concreto⁷.

Hoy el Ministerio de Medio Ambiente se encuentra elaborando con enfoque intersectorial el Plan de Descontaminación Ambiental de la ciudad de Coyhaique (PDA) para mejorar la calidad del aire, sin embargo no ha sido posible estimar el impacto real en la salud de la población por la exposición a los altos niveles de contaminación, expresados en MP10^{3,5}. Este vacío de conocimiento se puede explicar por la ausencia de investigación a nivel regional, así como, los costos, complejidad y experticie que requiere el desarrollo de estos estudios. De esta manera, evaluar científicamente los efectos de la contaminación del aire en la morbilidad (consultas de urgencia), ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y *algunos cánceres* en la población expuesta, permitirá contar con evidencia científica útil como antecedente para implementar las intervenciones propias del PDA de Coyhaique. Además de permitir comparar los resultados obtenidos con los de otras ciudades de Chile, considerando que para Coyhaique el 99% de la contaminación es por el uso exclusivo de leña para calefaccionar o cocinar en los hogares y edificios institucionales.

III. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Evaluar la asociación entre la exposición a corto plazo por material particulado respirable MP10 y la variación en los indicadores de morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y *algunos cánceres* en la población de la ciudad de Coyhaique en el periodo 1°enero de 2009 a 31 diciembre de 2014.

Objetivos Específicos:

1. Describir la variación diaria de la morbilidad (consultas de urgencia), ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y *algunos cánceres* en la población expuesta a MP10 en el periodo de estudio.
2. Describir la distribución y comportamiento de los niveles diarios de concentración de MP10 en el periodo de estudio.
3. Estimar la asociación entre los eventos de morbilidad y mortalidad por causas respiratorias, cardiovasculares y *algunos cánceres*, y la variación de las concentraciones de material particulado respirable MP10 en el periodo de estudio.

IV. Hipótesis: La variación en la incidencia de las consultas de morbilidad, ingresos hospitalarios y muertes por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres en la población de Coyhaique, está asociada a la variación de los niveles de MP10 provenientes de la combustión de leña.

V. Metodología de estudio

1. **Diseño de estudio:** Se realizó un *Estudio Ecológico Lineal de Series Temporales*, para conocer las variaciones en el tiempo de la frecuencia en la morbilidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres, asociada a la exposición de material particulado respirable de MP10. Este enfoque ecológico, responde a la necesidad de establecer el nivel de daño en el grupo poblacional expuesto a la noxa ambiental, en un área geográfica delimitada, para generar políticas de salud pública²². El periodo de estudio se inició el 1° de enero de 2009 y se extendió hasta el 31 de diciembre de 2014.

En una primera etapa se realizó la descripción de las variables en estudio para caracterizar la morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y algunos cánceres en la población expuesta a MP10. Lo mismo para la distribución y comportamiento de los niveles de concentración de MP10 en el periodo de estudio.

Con el fin de modelar la asociación entre las variables en estudio, se utilizó un modelo estadístico lineal de Poisson, donde la variable respuesta, considerada una variable de conteo, tomó sólo valores enteros positivos y pequeños en relación al tamaño de la población en estudio, y a que solamente una proporción de individuos demandó atención de salud en un día determinado. Este modelo supone que el logaritmo del número de consultas está relacionado, de manera lineal, con el conjunto de variables independientes, difiriendo considerablemente de un ajuste por mínimos cuadrados sobre la variable respuesta transformada, debido a que incorpora la heterocedasticidad de las observaciones, ocasionada por el efecto de los predictores y confusores^{24,25}.

Luego para evaluar la asociación entre los eventos de morbilidad y mortalidad por causas respiratorias, cardiovasculares y algunos cánceres, y la variación de las concentraciones de material particulado respirable MP10, se analizó la serie temporal a través de Modelos Aditivos Generalizados con función de desfase temporal, también denominados de GAM-pdl (*General Additive Model with Polynomial Distributed-Lag (GAM-PDL)*)¹⁶. Estos modelos fueron desarrollados por Trevor Hastie (2002)¹⁷ y aplicados en estudios de contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago de Chile por Muñoz e Carvalho (2008)¹⁸. Los GAM-

PDL consiguen capturar de forma robusta el efecto que tiene el incremento de la exposición por partículas en la salud de la población en días sucesivos¹⁹.

Para el caso de estudio, se exploró el efecto que tiene la exposición a MP10 y la incidencia de morbilidad (consultas de urgencia), ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres en la población expuesta. Estos modelos son muy útiles para situaciones donde el efecto en la salud es observado con un desfase temporal respecto a los niveles de exposición recurrentes. Las técnicas de series temporales, son usualmente usadas cuando se quiere evaluar la magnitud de asociación entre una causa y un efecto a través del tiempo. Sin embargo, al considerar que las asociaciones entre exposición y efecto en salud no son lineales, introduce una dificultad técnica, ya que no podemos establecer que un incremento lineal de concentración de partículas tendrá un efecto lineal en el estado de la salud de las personas expuestas. En estos casos, el proceso de modelación estadística incluye la definición de las variables y unidades de exposición y respuesta (no lineal) en una matriz, de forma tal, que pequeños efectos en la asociación puedan ser observados o cuantificados a través del tiempo.

2. **Población de estudio:** la unidad de análisis corresponde a la población que habita la ciudad de Coyhaique y su zona circundante, es decir la que vive en el área definida como zona saturada. Según proyección del Instituto Nacional de Estadística (INE), la población residente de la ciudad de Coyhaique alcanza para el año 2014 a 57.535 habitantes.

Tabla N°1. Población de Coyhaique por grupo de edad, proyección INE 2014.

| Grupo de edad | N° | % |
|----------------------|---------------|-------------|
| 0 a 9 años | 9.279 | 16,1 |
| 10 a 19 años | 9.718 | 16,9 |
| 20 a 64 años | 34.362 | 59,7 |
| 65 y más años | 4.176 | 7,3 |
| TOTAL | 57.535 | 100 |

La zona declarada como saturada fue definida mediante un polígono que abarca una superficie total aproximada de 111.57 km². Para la definición del área de saturación, se consideraron los siguientes criterios: procedencia de las masas de aire que ingresan a la ciudad, ubicación de los mayores impactos por MP10, y límites de expansión de la ciudad dados por el Plan Regulador Comunal actual.

De esta manera el polígono queda comprendido entre el Río Simpson por el sur (vértice 1), se extiende hacia el este en cruce a Cerro Castillo (vértice 2), sigue en dirección noreste hasta llegar a la intersección del cruce de la R240/x-589 (vértice 3), continúa hacia el noroeste hasta llegar a Laguna Verde (vértice 4), luego manteniendo la dirección noroeste, llega a la central eólica de Alto Baguales (vértice 5), para terminar hacia el suroeste en el vértice 1 que corresponde al Río Simpson (Figura N°5).

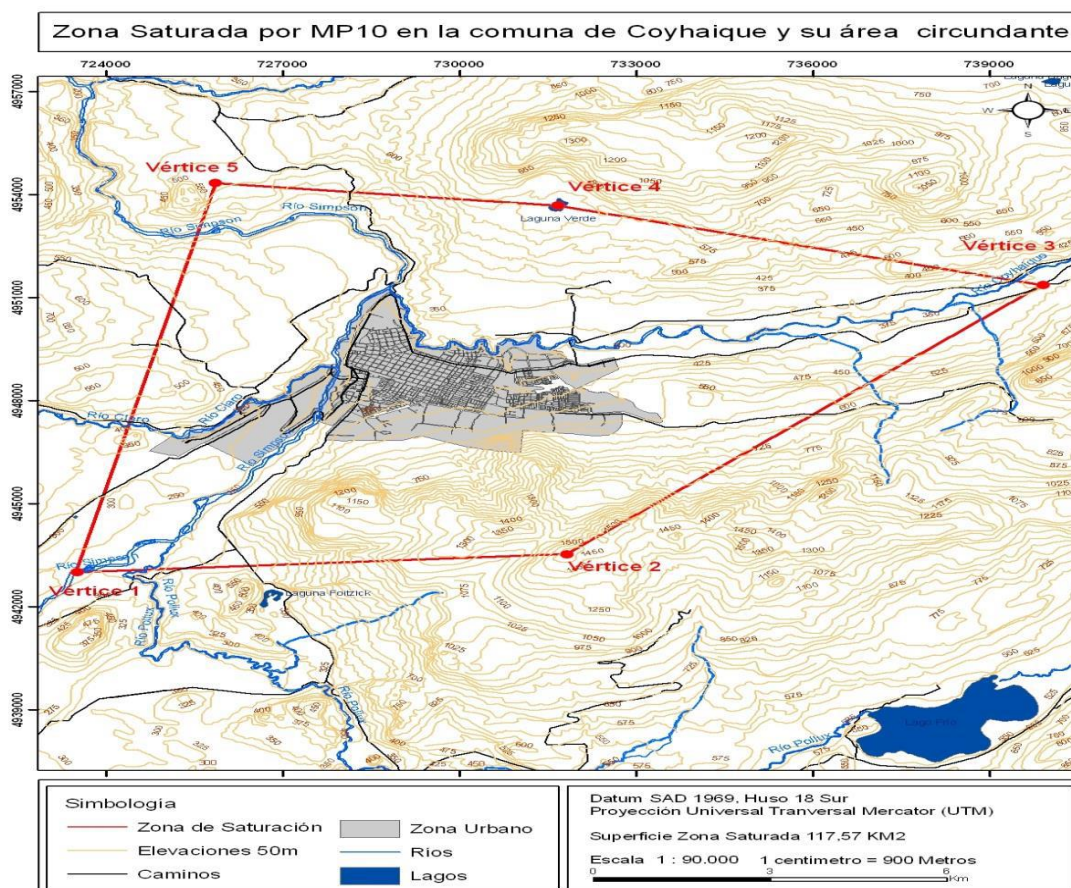


Figura N°5. Polígonos que demarcan la zona saturada en la comuna de Coyhaique, 2012.

3. Variables de estudio y su operacionalización:

El protocolo se inició con la recopilación de información de las variables en estudio para desarrollar el análisis descriptivo y los modelos estadísticos. Se generó una base de datos con la información proveniente de múltiples fuentes de información, de acuerdo a lo siguiente:

3.1 Variables respuesta:

- Consultas de urgencia por enfermedades respiratorias: se consideró el número total de consultas diarias realizadas en el Servicio de Urgencia del Hospital Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 1 año, de 1 a 4 años 11 meses y 29 días, de 5 años a 14 años 11 meses y 29 días, de 15 años a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.
- Consultas de urgencia por enfermedades cardiovasculares: se consideró el número total de consultas diarias realizadas en el Servicio de Urgencia del Hospital Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 1 año, de 1 a 4 años 11 meses y 29 días, de 5 años a 14 años 11 meses y 29 días, de 15 años a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.
- Ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias: se registró el número total de hospitalizaciones en el Hospital de Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 15 años, de 15 a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.
- Ingresos hospitalarios por enfermedades cardiovasculares: se registró el número total de hospitalizaciones en el Hospital de Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 15 años, de 15 a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.
- Mortalidad por enfermedades respiratorias: se consideró el número total de muertes de residentes de la ciudad de Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 15 años, de 15 a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.
- Mortalidad por enfermedades cardiovasculares: se consideró el número total de muertes de residentes de la ciudad de Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 15 años, de 15 a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.

- Mortalidad por cánceres específicos (de pulmón y leucemia): se consideró el número total de muertes de residentes de la ciudad de Coyhaique, desagregando en los siguientes grupos etáreos: menores de 15 años, de 15 a 64 años 11 meses y 29 días y de 65 años y más.

3.2 Los códigos CIE-10 utilizados para las patologías en estudio fueron los siguientes:

Patologías Respiratorias CIE-10

J00 – J06 Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.

J09 – J11 Influenza

J12 – J18 Neumonía.

J20 – J21 Bronquitis / Bronquiolitis aguda.

J40 – J46 Crisis obstructiva bronquial.

J22, J30 – J39, J47, J60 – J84 Otras causas respiratorias.

Patologías Cardiovasculares CIE-10

I10 – I15 Enfermedades hipertensivas.

I20 – I25 Enfermedades isquémicas del corazón.

I26 – I28 Enfermedad cardiopulmonar y enfermedades de la circulación pulmonar.

I60 – I69 Enfermedades cerebrovasculares.

I70 – I79 Enfermedades de las arterias, de las arteriolas y de los vasos capilares.

Cánceres:

C34 Tumor maligno de los bronquios y del pulmón.

C91 – C95 Leucemias.

3.3 Variable de exposición:

3.3.1 Concentración ambiental de material particulado respirable MP10 (ug/m3), promedio 24 horas en la ciudad de Coyhaique.

3.4 Variables independientes o covariables:

3.4.1 Temperatura media, mínima y máxima diaria (°C).

3.4.2 Humedad relativa diaria (%).

3.4.3 Velocidad del viento (nudos).

3.4.4 Precipitaciones diarias (mm).

3.4.5 Vigilancia epidemiológica de agentes etiológicos virales: Influenza y Virus Sincicial Respiratorio (VSR) diaria en Hospital Regional de Coyhaique.

4. Recolección y análisis de la información:

Las bases de datos obtenidas de las fuentes de información se completaron y procesaron (revisión y validación) para identificar datos faltantes y explorar mecanismos de imputación, si corresponde. Luego se elaboraron las métricas de acuerdo a las normas del contaminante en estudio (MP10). El resultado de esta primera etapa fue la elaboración de una base de datos global diaria de todas las variables en estudio por año. Posteriormente se realizó la fase de análisis exploratorio de los datos, generando tablas de frecuencia y gráficos.

4.1 Fuentes de información:

- Los datos de morbilidad diaria (consultas de urgencia) para enfermedad respiratoria y cardiovascular, se tomaron desde el 1° enero del 2009 al 31 de diciembre de 2014. Dado que el único establecimiento de salud que cuenta con registros diarios continuos de lunes a domingo en el periodo de estudio es el Hospital Regional Coyhaique, este fue el centro de salud centinela. Los datos oficiales fueron obtenidos del sitio DEIS-MINSAL.
- Los datos de ingresos hospitalarios diarios por enfermedad respiratoria y cardiovascular, fueron obtenidos desde el 1° de enero del 2009 al 31 de diciembre de 2014 del sitio DEIS-MINSAL. El Hospital Regional Coyhaique es el único centro de salud de atención cerrada en la ciudad de Coyhaique, por lo que fue el centro centinela. Los registros fueron revisados considerando el domicilio del paciente, para excluir todas aquellas hospitalizaciones que correspondían a pacientes que no residen en la ciudad de Coyhaique.

- Los datos de mortalidad diaria por enfermedad respiratoria, cardiovascular y cánceres específicos, se obtuvieron desde el 1° de enero del 2009 al 31 de diciembre de 2014 y fueron extraídos del sitio DEIS-MINSAL o base de datos de certificados de defunción procesados en el Servicio de Salud Aysén. Los certificados fueron revisados según la dirección de residencia, excluyendo todas las defunciones que provenían de otras localidades de la región.
- Los datos de material particulado (MP10), promedio 24 horas, que correspondió a un valor por día, fue solicitado a Seremi de Medio Ambiente con información validada desde enero de 2009 a diciembre de 2014 de la estación Coyhaique 1 que está validada y tiene representación poblacional, es decir cuenta con una resolución sanitaria para su funcionamiento. Para este estudio no fue posible obtener información de material particulado de 2,5 micras, ya que recién en marzo del 2013 se incorporó su monitoreo para la ciudad de Coyhaique.
- Los datos climatológicos diarios: temperatura ambiental (mínima, media y máxima), humedad relativa del aire, velocidad del viento, dirección del viento y precipitaciones, fueron solicitados formalmente a la Dirección Meteorológica de Chile.
- Los datos de vigilancia epidemiológica de consultas de morbilidad diaria por Influenza, se obtuvieron del Servicio de Urgencia del Hospital Regional Coyhaique. Para la información de la circulación de virus sincicial respiratorio (VSR), se consideró la información de los aspirados nasofaríngeos positivos tomados a los pacientes hospitalizados con diagnóstico de neumonía grave, en el periodo de estudio. Dado que los fines de semana no está disponible la técnica de inmunofluorescencia directa en el laboratorio clínico, la información se obtuvo de lunes a viernes.

4.2 Análisis exploratorio de datos: los datos obtenidos de las variables respuesta, de exposición e independientes fueron evaluados para conocer su variación y distribución temporal, además de la presencia de valores extremos y/o anómalos.

Los resultados son presentados en tablas a través de estadísticas descriptivas, sumarias y de tendencia central con el uso de gráficos boxplot y de tendencias temporal (spline).

Ajuste del Modelo Estadístico: Después de elaborar y verificar la matriz de datos, el programa y consola R de computación científica fue utilizado en conjunto con la librería *mgcv* (Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation), incluyendo los script correspondientes para el análisis de los efectos y de ajuste del modelo con desfase temporal. Estos script denominados de *pdl* (Polynomial Distributed-Lag) entraron como función de enlace de las variables independientes para conseguir evaluar los efectos de la contaminación por partículas a través del tiempo. Análisis de residuos y de significancia estadística fueron estudiados, entre otros, a los parámetros lineales y no-lineales de salida del modelo. Los criterios de información de AKAIKE (AIC) y CGV (Generalized Cross Validation) fueron utilizados para escoger el modelo que mejor ajusta a los datos. Después de ajustado el modelo, se evaluó la magnitud de asociación estadística entre los niveles de exposición a partículas y los efectos en la morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedad respiratoria y cardiovascular. Los cánceres seleccionados no ingresaron al modelo por las limitaciones de su número anual. Finalmente se reportan los modelos estadísticos probados y ajustados.

5. Limitaciones del estudio:

Dado que las variables de estudio fueron obtenidas de diversas instituciones, a saber: Seremi de Medio Ambiente, Dirección Meteorológica de Chile, Departamento de Estadística e Información en Salud y Unidad de Epidemiología de la Seremi de Salud, en registros de frecuencia diaria y validados, existen datos no disponibles en algunos periodos por falla en equipo de monitoreo para material particulado (MP10) y la inexistencia de registros de consultas de morbilidad diaria en sitio oficial del DEIS. Esta información no fue posible recuperarla.

Otra de las limitaciones propias de los estudios ecológicos es la evaluación de la relación exposición - daño a nivel individual, lo que obedece al hecho que se trabaja con información agregada, no individual.

6. Aspectos éticos:

En este estudio, se aplicaron los llamados principios éticos adicionales o macroéticos propuestos por Gostin (1991) para la investigación epidemiológica: “con el objetivo de proteger la salud de las comunidades con características comunes y evitar que sean objeto de discriminación, que son: protección de la salud y el bienestar de las poblaciones; respeto a las poblaciones y su derecho a la autodeterminación; **protección de las poblaciones vulnerables** y necesidad de una justificación para investigar en ellas; protección de la privacidad, integridad y autoestima de las poblaciones; distribución equitativa de los beneficios para las poblaciones, e importancia de construir infraestructuras sanitarias”²⁰.

Desde el punto de vista del protocolo epidemiológico, esta investigación fue diseñada procurando contener todos los elementos esenciales de un proyecto de investigación epidemiológica, como son el propósito del estudio, diseño, población a estudiar, descripción y análisis cuidadoso de la información. Este estudio ecológico no utilizará datos sensibles de las personas, razón por la cual, el principio de autonomía y confidencialidad de datos personales no es vulnerado.

Este proyecto de tesis, una vez aprobado por los revisores de la Escuela de Salud Pública, fue presentado al Comité Etico-Científico del Servicio de Salud Aysén para su revisión, siendo aprobado sin observaciones (Anexo N°1).

VI. Resultados

De las series temporales estudiadas se presenta el análisis de información por año calendario de las variables respuesta con el objeto de caracterizar la morbilidad (consultas de urgencia) seriamente el cambio de la matriz energética para evitar la contaminación del aire por la combustión de la leña en el mediano y largo plazo.

encia), ingresos hospitalarios y mortalidad para el grupo de enfermedades seleccionadas.

1. Exploración de las gráficas de Series de Tiempo de variables respuesta

En el gráfico N°1, se muestra la serie de tiempo de las consultas de urgencia diaria por morbilidad respiratoria y cardiovascular. Para el año 2009 la información de registros diarios de atención se formalizó a partir del 1° de julio, por lo que no se dispone de información del primer semestre de este año. Se observa que la magnitud de la patología respiratoria es muy superior a la de causa cardiovascular en todos los meses de cada año y con peaks estacionales. En la serie de tiempo estudiada, el año 2010 fue epidémico para la enfermedad respiratoria, probablemente debido a la circulación de la cepa pandémica de Influenza H1N1. Debido a que el registro diario de consultas de urgencia se implementó en el segundo semestre del año anterior, en plena alerta sanitaria por la pandemia de Influenza, no es posible determinar el comportamiento en este periodo.

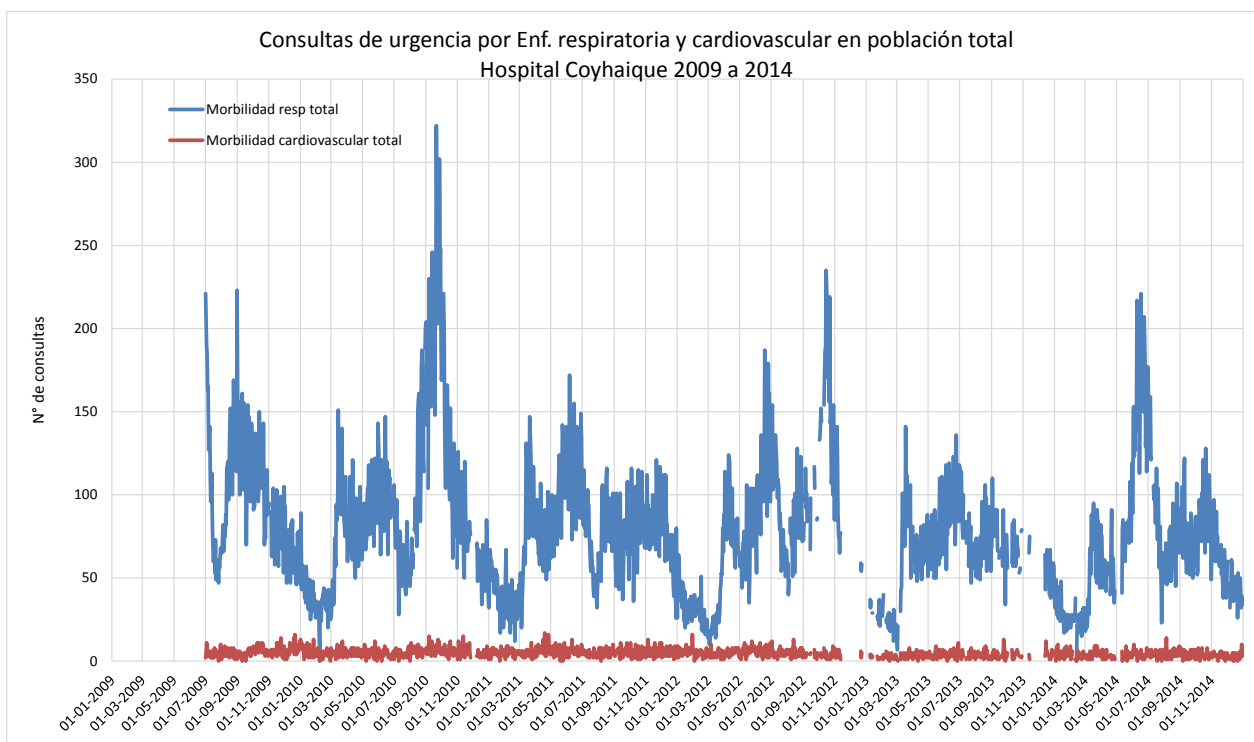


Gráfico N°1. Serie de tiempo de consultas de urgencia diaria por morbilidad respiratoria y cardiovascular en población total. Hospital Coyhaique 2009 - 2014.

Visualmente se aprecia que la causa respiratoria tiene una tendencia estacional en los meses fríos y que presenta peaks en cada año con cierta variabilidad temporal (Figura N°6). Llama la atención los peaks de enfermedad respiratoria ocurridos en octubre y noviembre de los años 2010 y 2012, respectivamente, periodo en el cual los niveles de MP10 no superan la norma primaria, según el monitoreo en la serie estudiada.

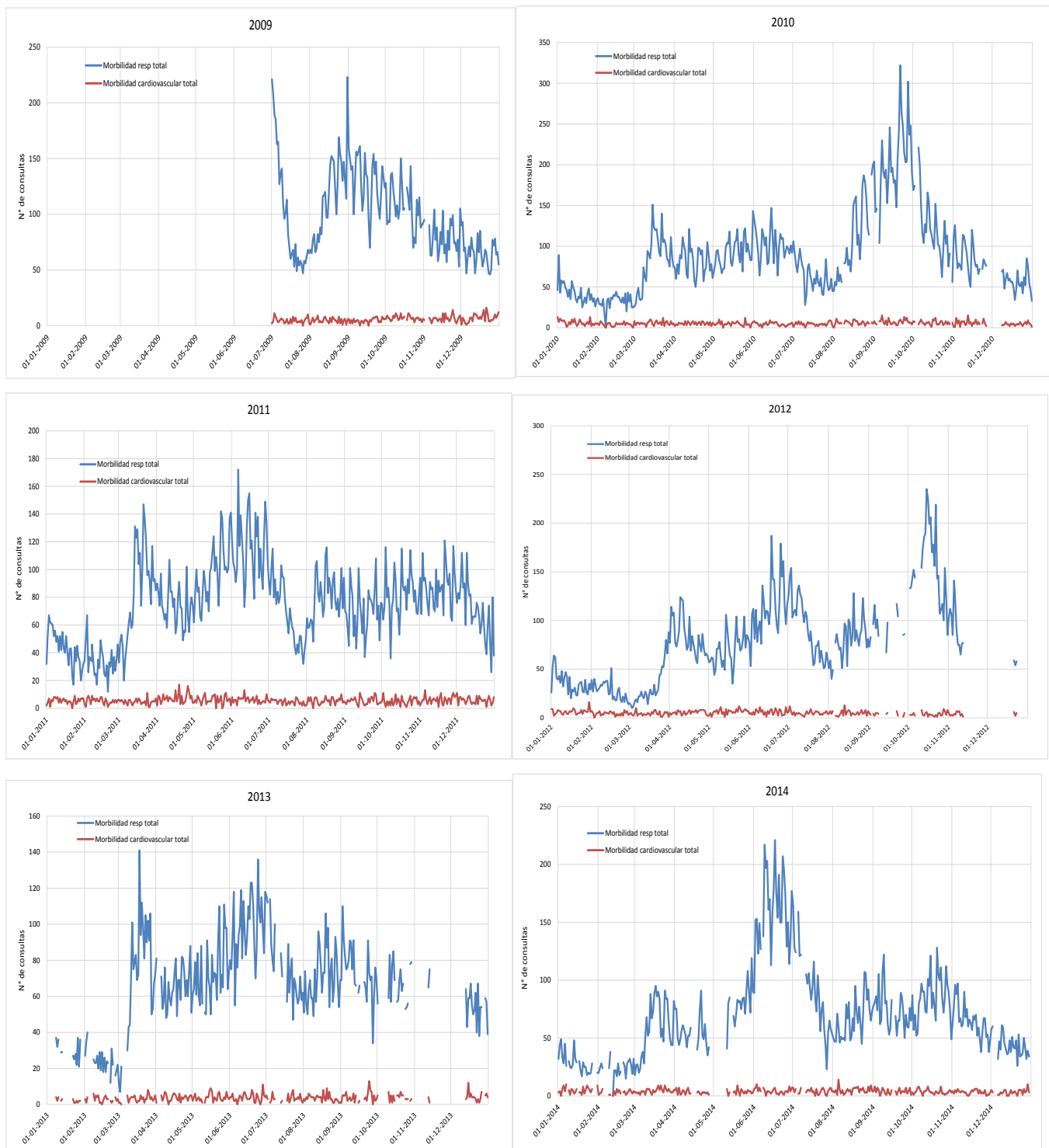


Figura N°6. Serie de tiempo de consultas de urgencia diaria por morbilidad respiratoria y cardiovascular en población total. Hospital Coyhaique 2009 - 2014.

Al revisar la serie de tiempo de consultas de urgencia por morbilidad respiratoria, según grupo etéreo, se aprecia que el grupo de 15 a 64 años tiene la mayor importancia relativa con un 38%, seguida del grupo de 1 a 4 años con un 25% (Figura N°7) .

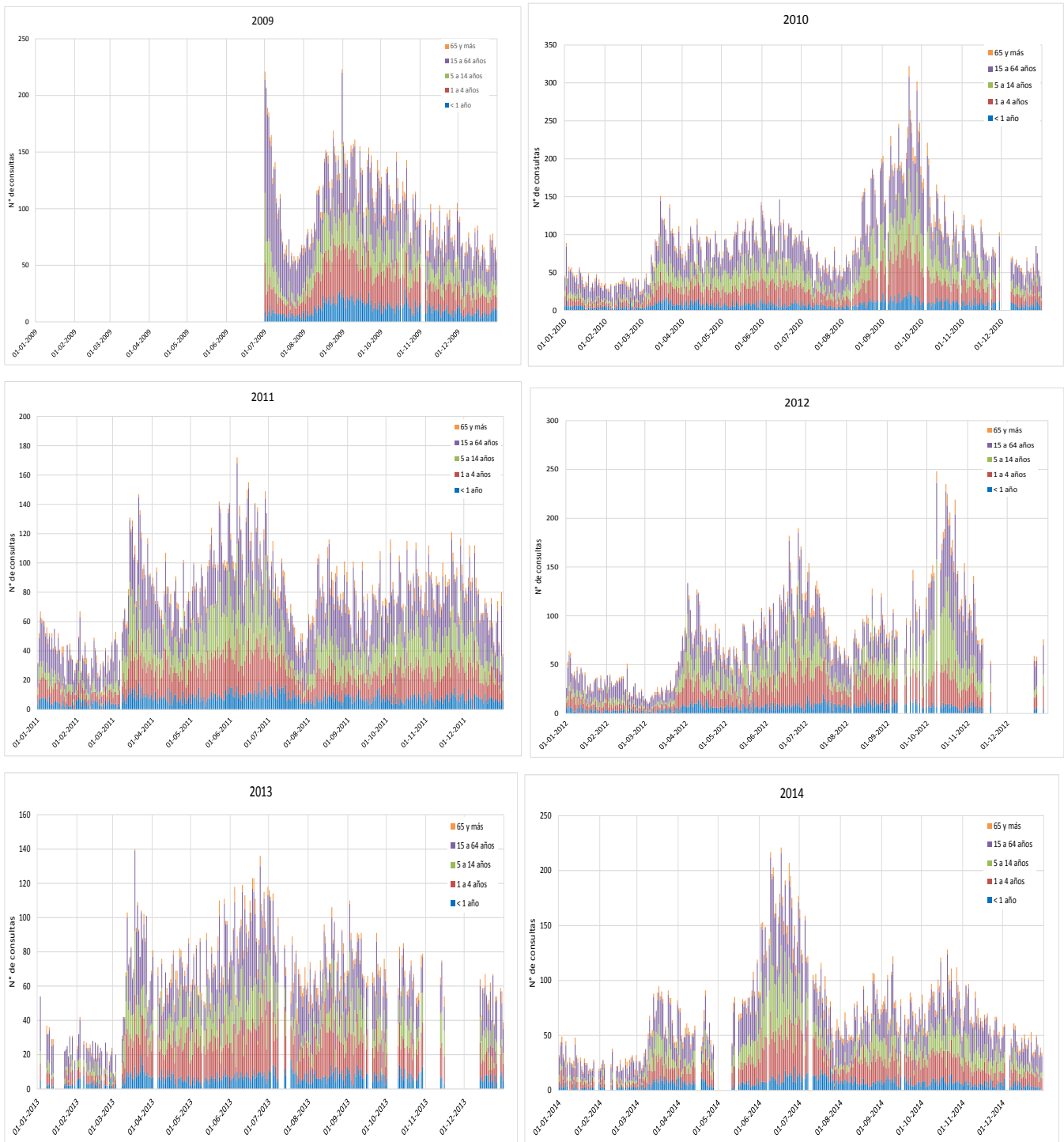


Figura N°7. Serie de tiempo de consultas de urgencia diaria por morbilidad respiratoria, según grupo de edad. Hospital Coyhaique 2009 - 2014.

En la figura N°8, al revisar la serie de tiempo de consultas de urgencia diaria por morbilidad cardiovascular, según grupo etéreo, se aprecia que el grupo de 15 a 64 años tiene la mayor importancia relativa con un 58,1%, seguida del grupo de 65 y más años con un 39,7%. Estas proporciones se mantienen estables durante el año y la distribución de la demanda anual es homogénea.



Figura N°8. Serie de tiempo de consultas de urgencia diaria por morbilidad cardiovascular, según grupo de edad. Hospital Coyhaique 2009 – 2014.

En la figura N°9, se observa que los ingresos hospitalarios por morbilidad respiratoria presentan peaks cíclicos en los meses fríos y en primavera para los años 2009, 2010 y 2011. Para el caso de los ingresos hospitalarios por morbilidad cardiovascular, el comportamiento es homogéneo durante todo el año en la serie de tiempo estudiada.



Figura N°9. Serie de tiempo de ingresos hospitalarios por morbilidad respiratoria y cardiovascular. Hospital Coyhaique 2009 - 2014.

En la figura N°10, al revisar la serie de tiempo de ingresos hospitalarios por morbilidad respiratoria según grupo etáreo, se aprecia que el grupo menor de 15 años tiene la mayor importancia relativa con un 61%, seguida del grupo de 65 y más años con un 23,5%. A su vez se observa una tendencia estacional, en los meses fríos en las hospitalizaciones.

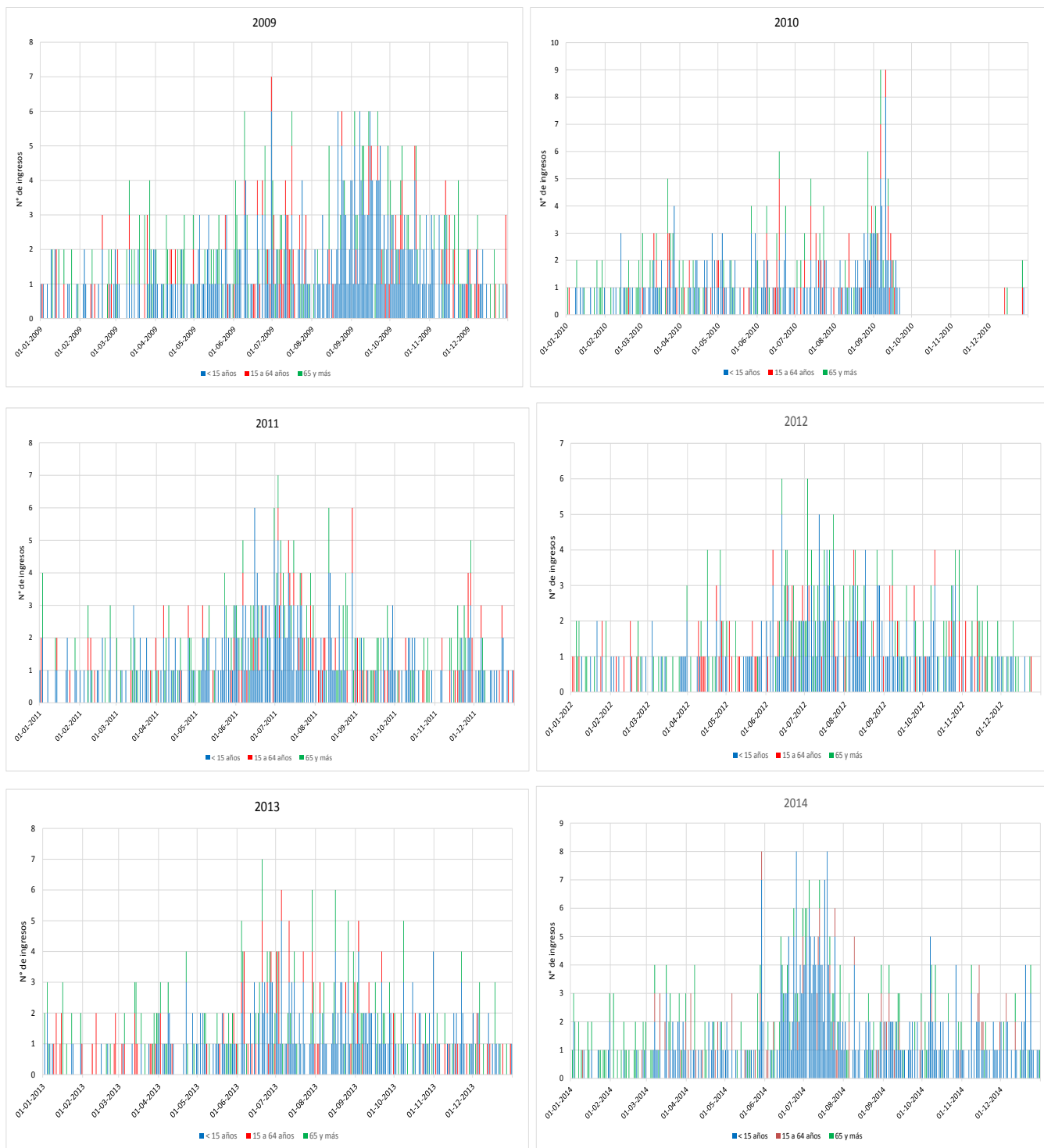


Figura N°10. Serie de tiempo ingresos hospitalarios por morbilidad respiratoria. Hosp. Coyhaique 2009 – 2014.

Al revisar la serie de tiempo de ingresos hospitalarios por morbilidad cardiovascular según grupo etáreo, se aprecia que el grupo de 65 años y más tiene la mayor importancia relativa con un 52,9%, seguida del grupo de 15 a 64 años con un 46%. Se observa que la distribución temporal de las hospitalizaciones es homogénea (Figura N°11).

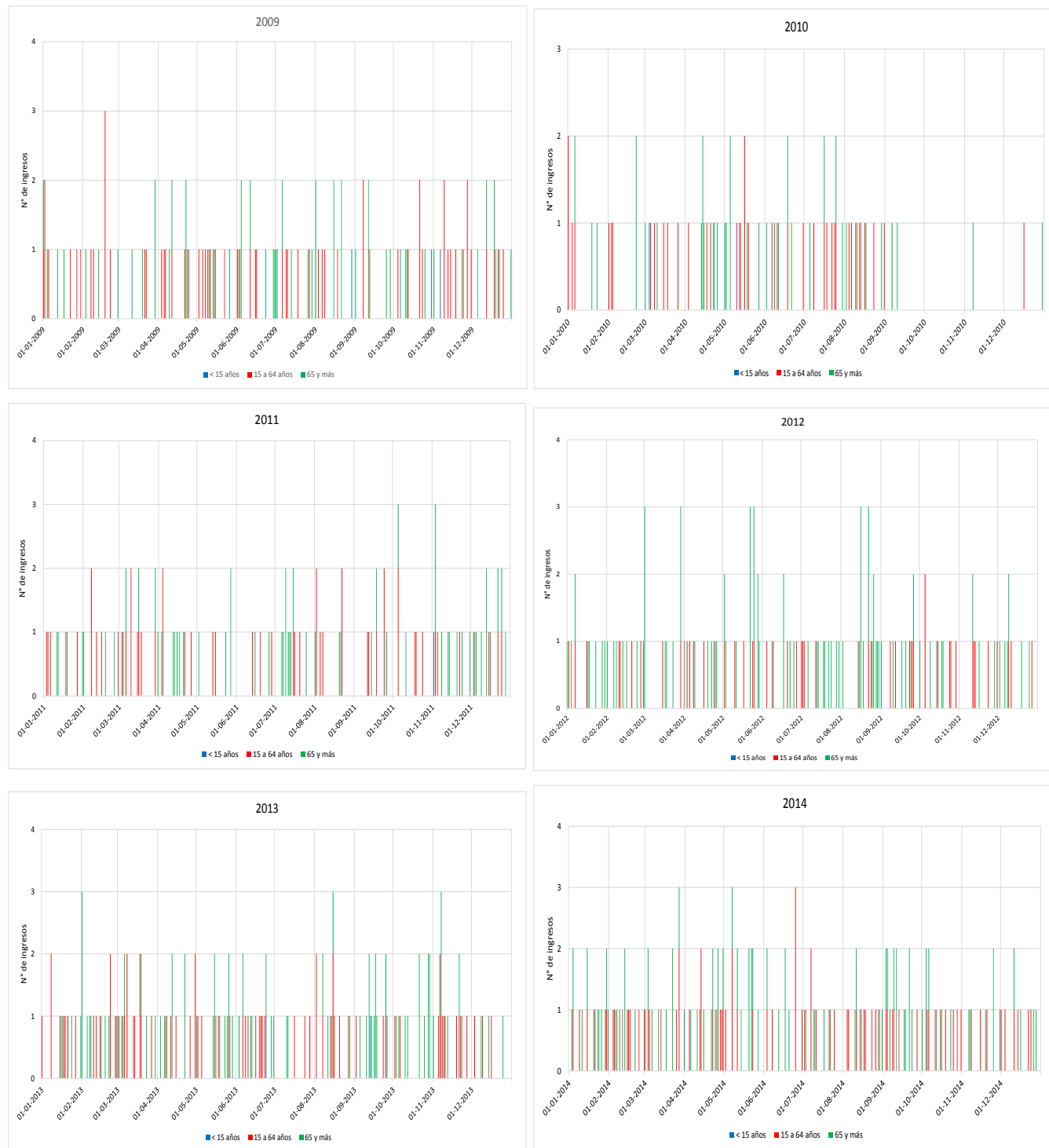


Figura N°11. Serie de tiempo de ingresos hospitalarios por morbilidad cardiovascular, según grupo de edad. Hospital Coyhaique 2009 – 2014.

En el gráfico N°2, al revisar la serie de tiempo de mortalidad por enfermedad respiratoria según grupo etáreo y mes del año, se observa un comportamiento estacional, con un mayor número de muertes en los meses fríos, siendo el grupo de 65 años y más el que tiene la mayor importancia relativa en el periodo estudiado con un 88,8%. Se tuvo que agrupar las muertes por mes, debido al escaso número de muertes anuales.

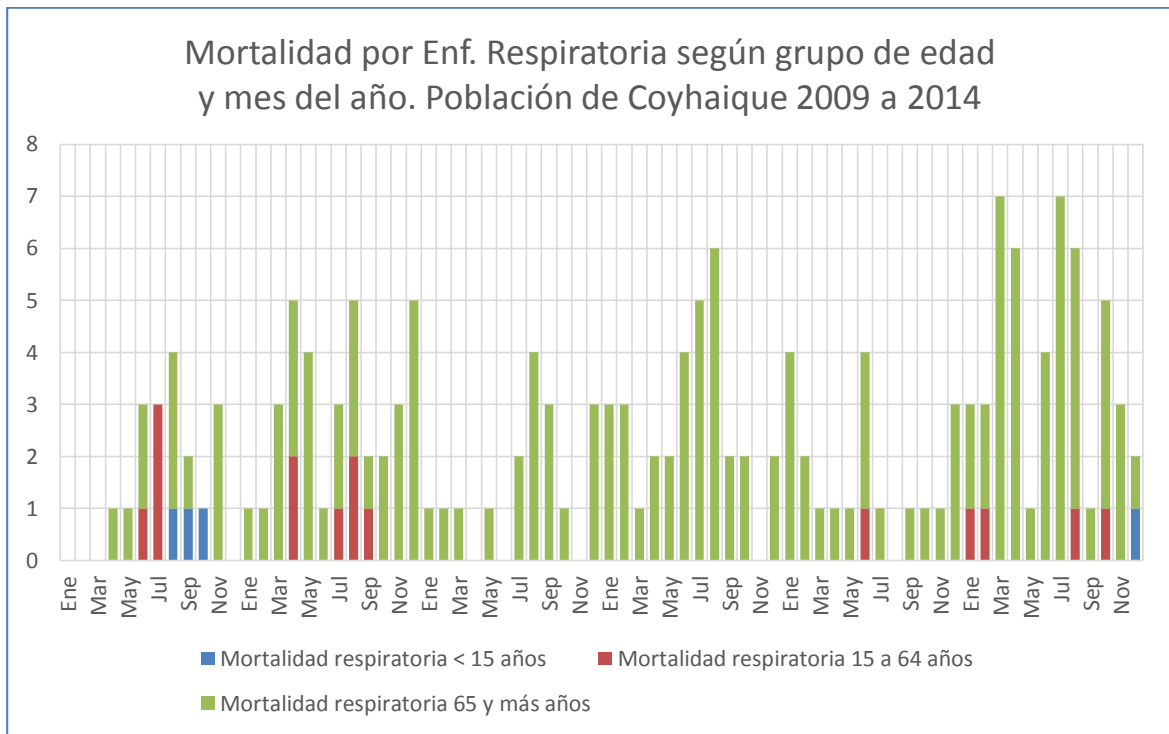


Gráfico N°2. Serie de tiempo de mortalidad por enfermedad respiratoria mensual según grupo de edad. Población de Coyhaique 2009 – 2014.

En el gráfico N°3, al revisar la serie de tiempo de mortalidad por enfermedad cardiovascular según grupo etáreo y mes del año, no se observa estacionalidad, la excepción corresponde a lo ocurrido el año 2011. El grupo de 65 años y más es el que tiene la mayor importancia relativa en el periodo estudiado con un 74% de los fallecimientos.

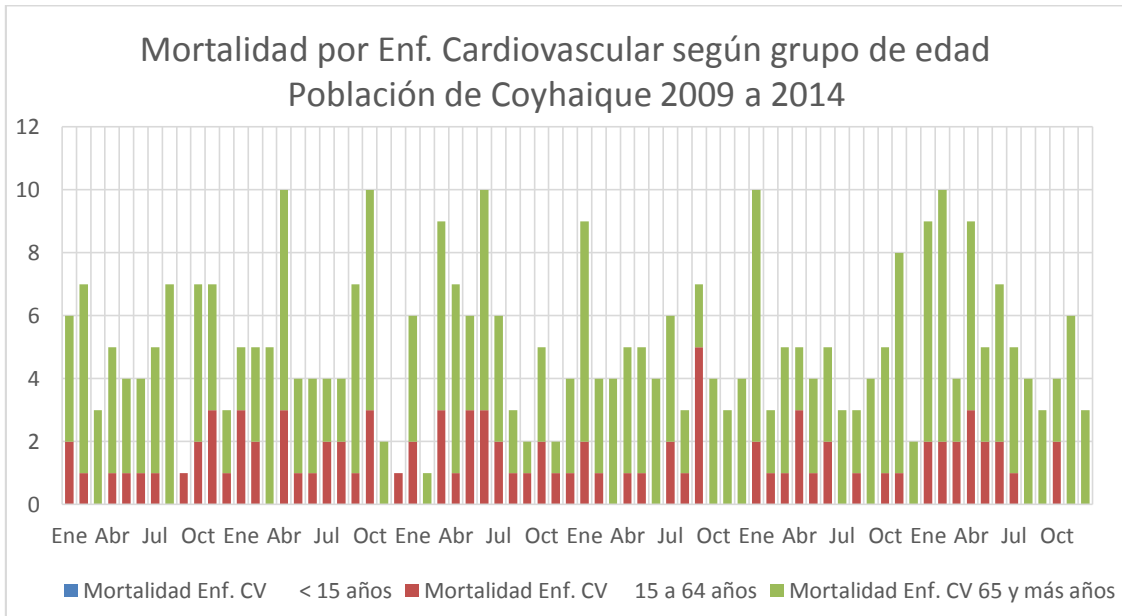


Gráfico N°3. Serie de tiempo de mortalidad por enfermedad cardiovascular mensual según grupo de edad. Población de Coyhaique 2009 – 2014.

2. Análisis descriptivo de variable de exposición a MP10 ug/m3

En el gráfico N°4, se observa el comportamiento estacional de niveles sobre la norma para material particulado de 10 micras, especialmente en los meses fríos de abril a septiembre de cada año, presentándose sistemáticamente los meses de junio, julio y agosto los niveles más altos en el MP10 promedio 24 horas.

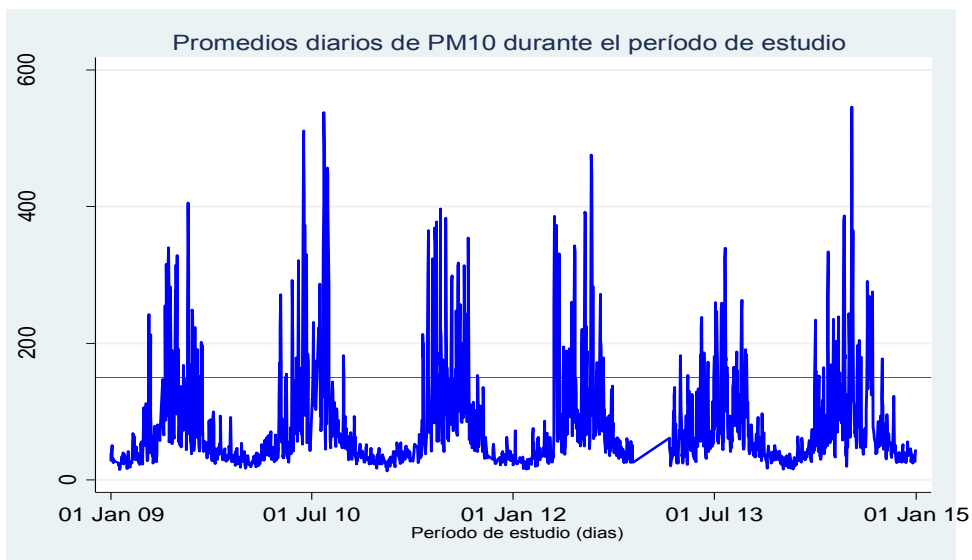


Gráfico N°4, Promedio 24 hrs de MP10 ug/m3. Coyhaique 2009 - 2014.

En la figura N°12, al desagregar la variable MP10 por año, se aprecia que los niveles máximos de superación de la norma se han presentado en los años 2010, 2012 y 2014, con niveles de MP10 de 538 ug/m³, 475,4 ug/m³ y 545,9 ug/m³, respectivamente, para el promedio 24 hrs.

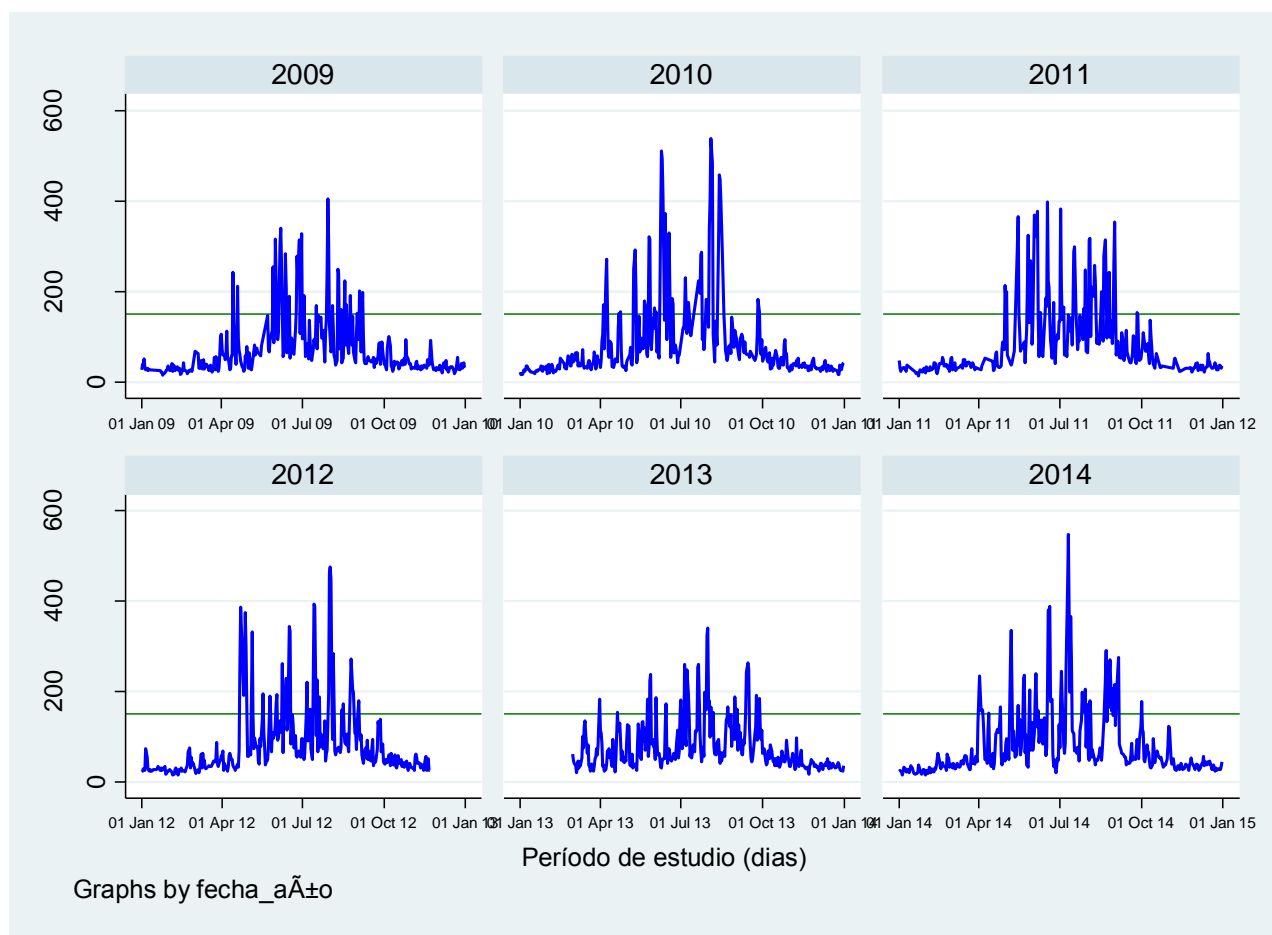


Figura N°12. Serie de tiempo de MP10 promedio 24 hrs. Coyhaique 2009 - 2014.

Al acumular la información de material particulado de 10 micras por mes del año, queda en evidencia que los meses de junio, julio y agosto presentan los niveles más altos de MP10 en los años estudiados (Gráfico N°5). Del mismo modo, los niveles se superan sistemáticamente entre los meses de abril a septiembre.

Al revisar los días de superación de la norma primaria, se aprecia que los años 2010, 2011 y 2014 se han presentado los niveles más altos, siendo el 2014 el que ha presentado la mayor superación con 55 días, registrando 545,9 ug/m³ el día 11 de julio de 2014 (Gráfico N°6).

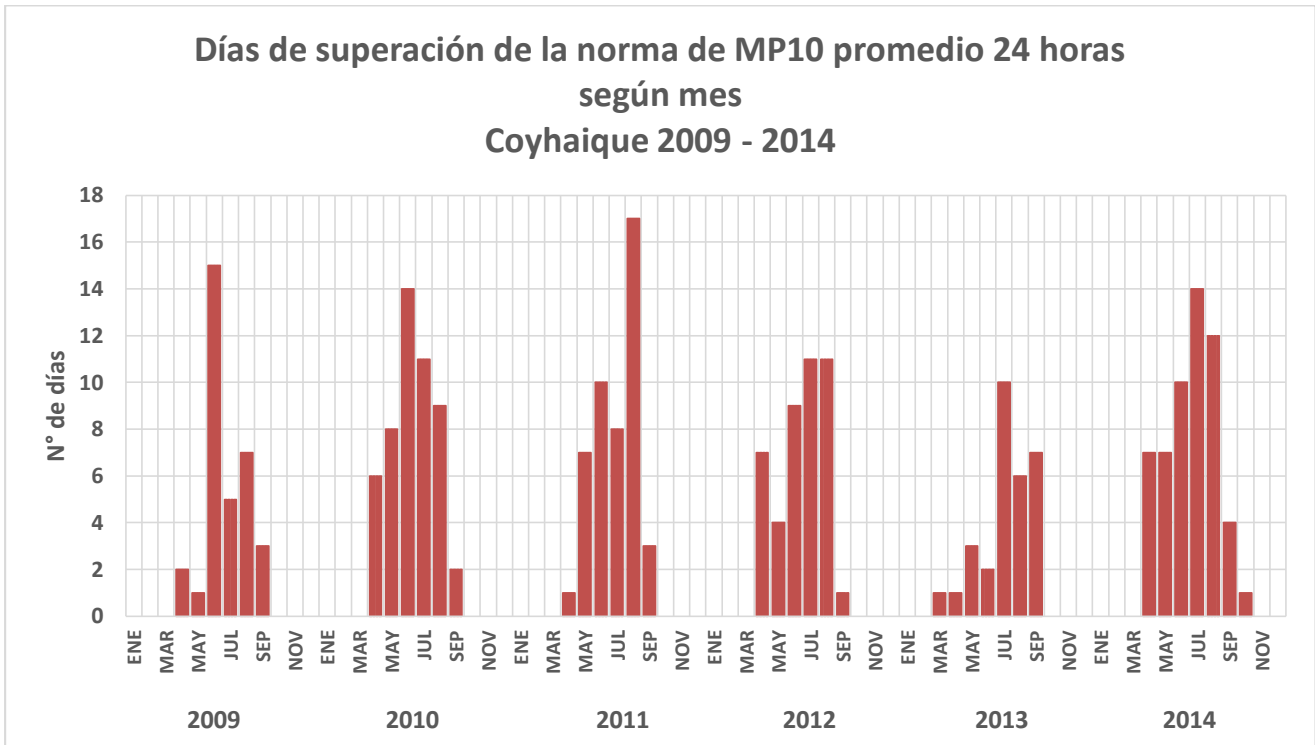


Gráfico N°5. Días de superación de la norma de MP10 promedio 24 hrs., según mes del año. Coyhaique 2009 – 2014.

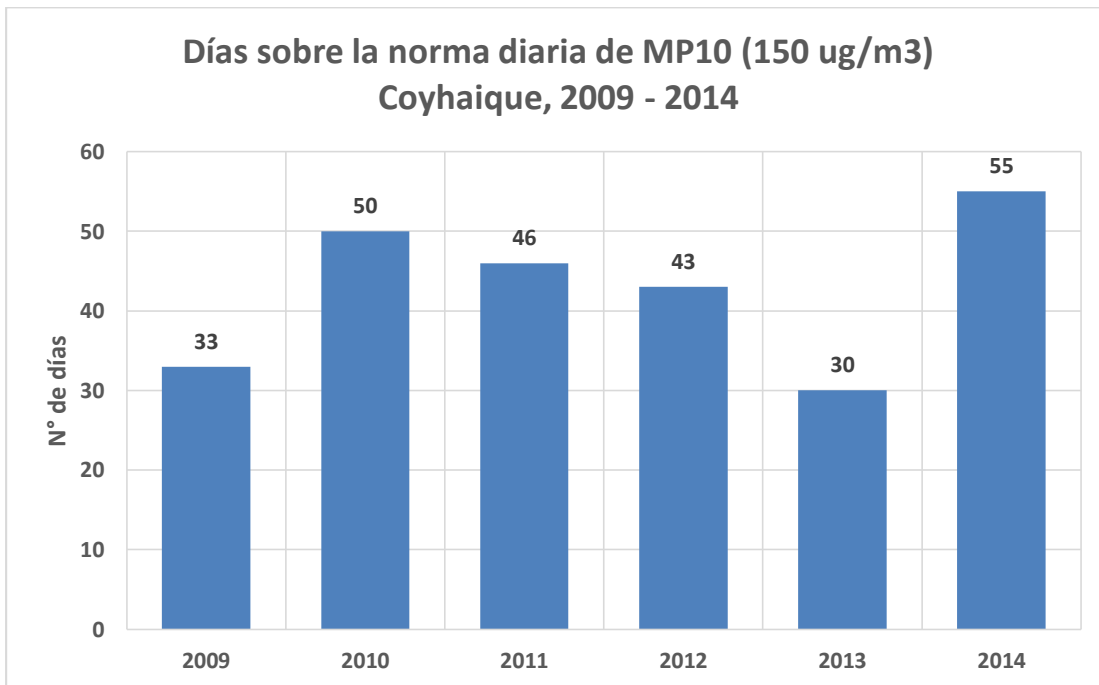


Gráfico N°6. Días de superación de la norma de MP10 promedio 24 hrs., por año en estudio.

3. Análisis descriptivo de variables independientes o covariables

3.1 Variables climatológicas

Al analizar la temperatura media de Coyhaique, se aprecia que los meses más fríos corresponden a junio, julio y agosto de cada año, periodo en el que se presenta simultáneamente los niveles más altos de MP10, razón por la cual es fundamental estudiar su asociación (Gráfico N°7 y Figura N°13).

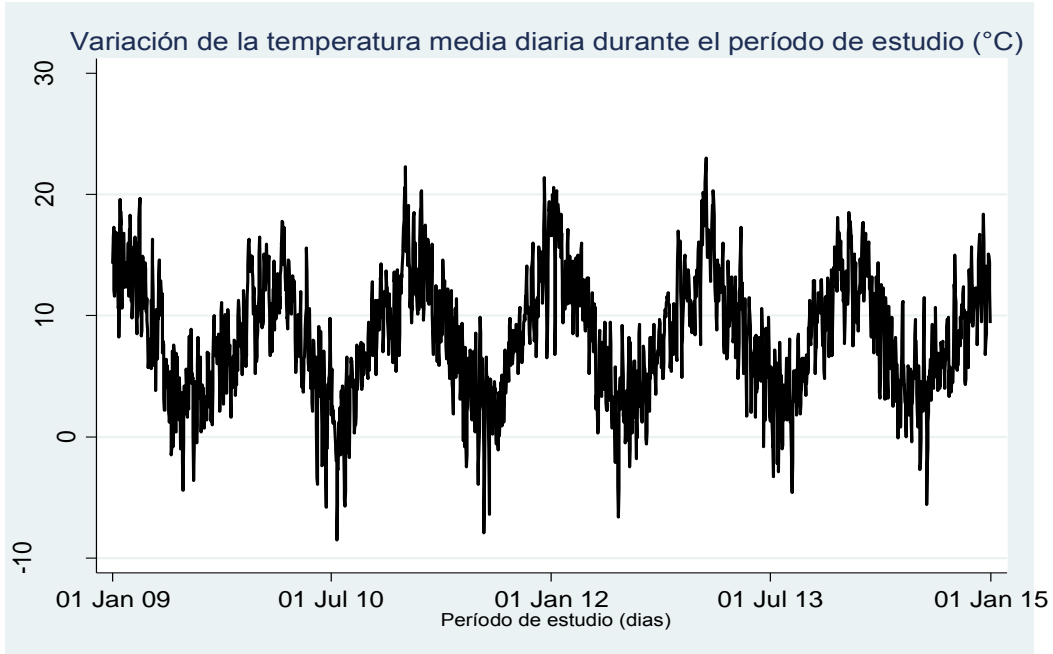


Gráfico N°7. Serie de tiempo de temperatura media en 24 hrs. Coyhaique 2009 - 2014.

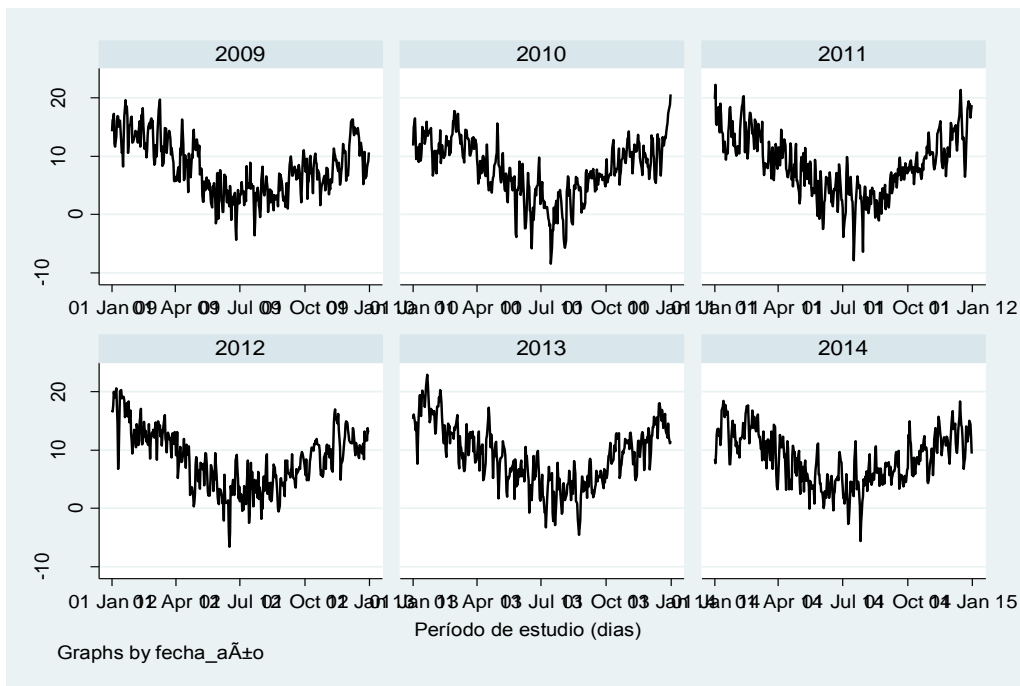


Figura N°13. Serie de tiempo de temperatura media en 24 hrs. Coyhaique 2009 - 2014.

Al analizar la variación de temperatura máxima y mínima de Coyhaique, en los meses más fríos las diferencias son en promedio de 6°C y en verano de 16°C (Gráfico N°8 y Figura N°14).

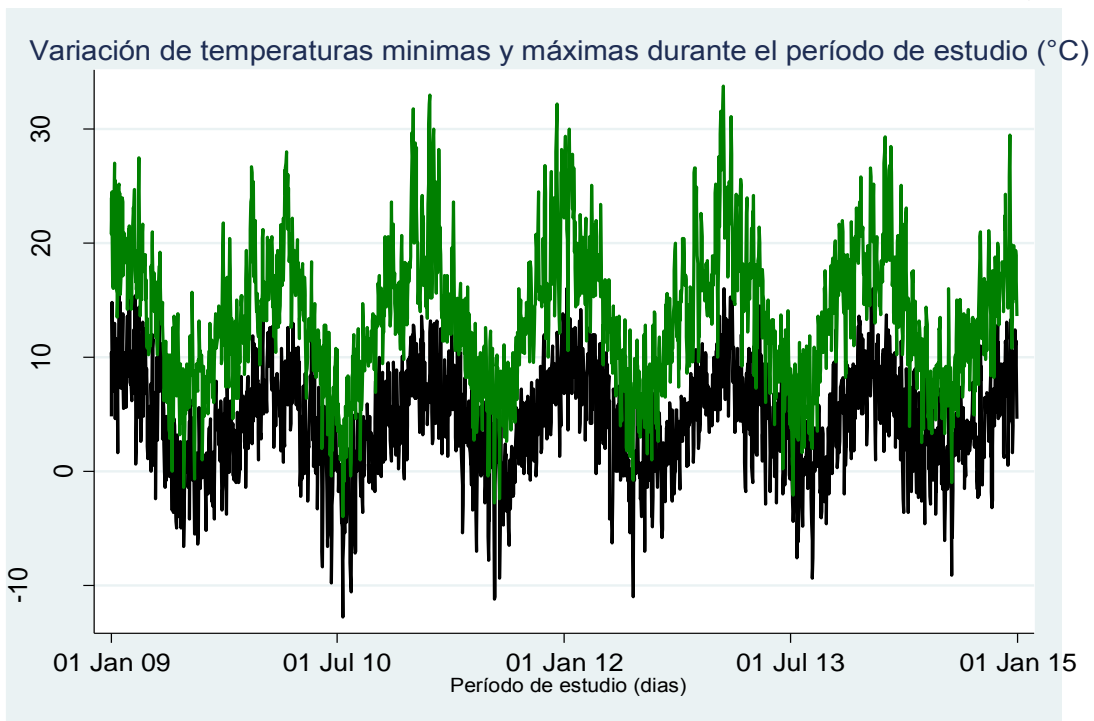


Gráfico N°8. Serie de tiempo de temperaturas máxima y mínima en 24 hrs. en Coyhaique.

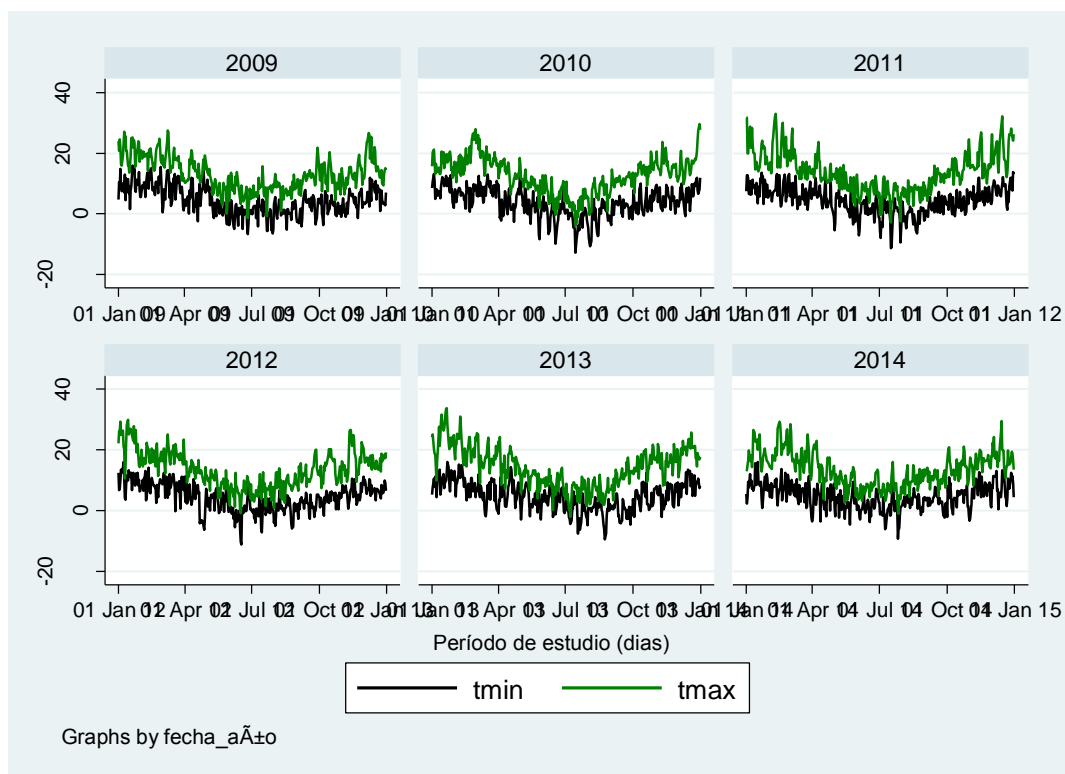


Figura N°14. Serie de tiempo temperatura máxima y mínima en 24 hrs., por año. Coyhaique 2009 -2014.

La Humedad relativa del aire presenta variaciones estacionales con aumento en los meses fríos de abril a septiembre de cada año, periodo que coincide con el incremento de PM10 (Gráfico N°9 y Figura N°15).

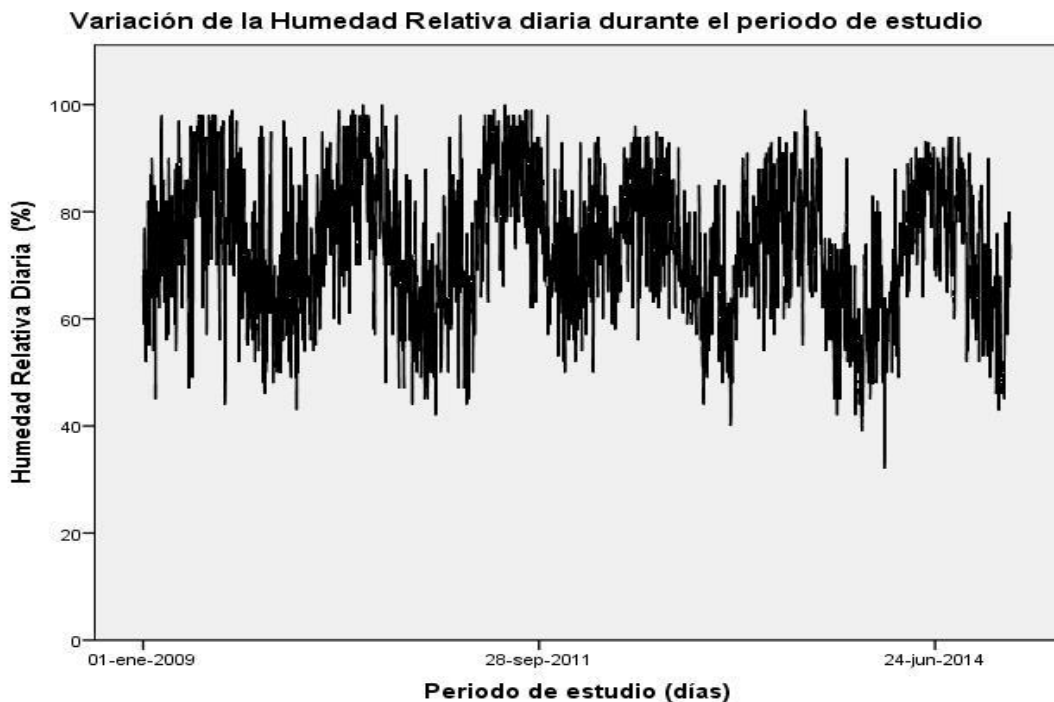


Gráfico N°9. Serie de tiempo de humedad relativa del aire en 24 hrs. Coyhaique 2009 - 2014.

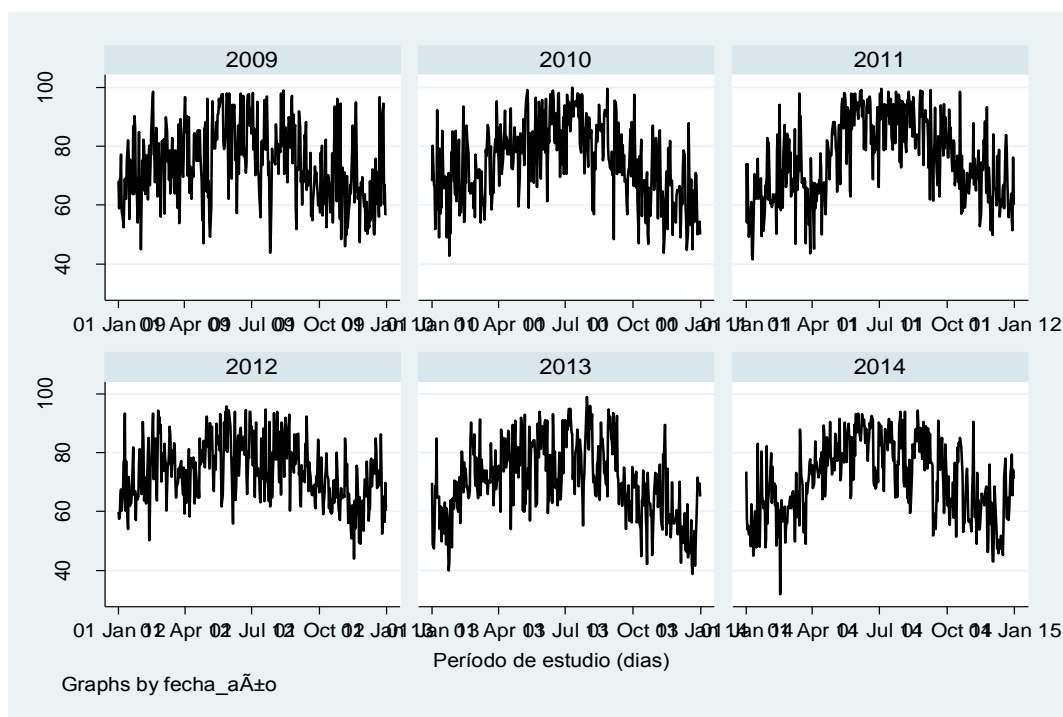


Figura N°15. Serie de tiempo de humedad relativa del aire en 24 hrs. por año. Coyhaique 2009 – 2014.

Al revisar las precipitaciones diarias en la serie de tiempo, se observa cierta tendencia a lluvias en los meses fríos de cada año (Gráfico N°10). En los años 2013 y 2014 se observa la concentración de precipitaciones en invierno.

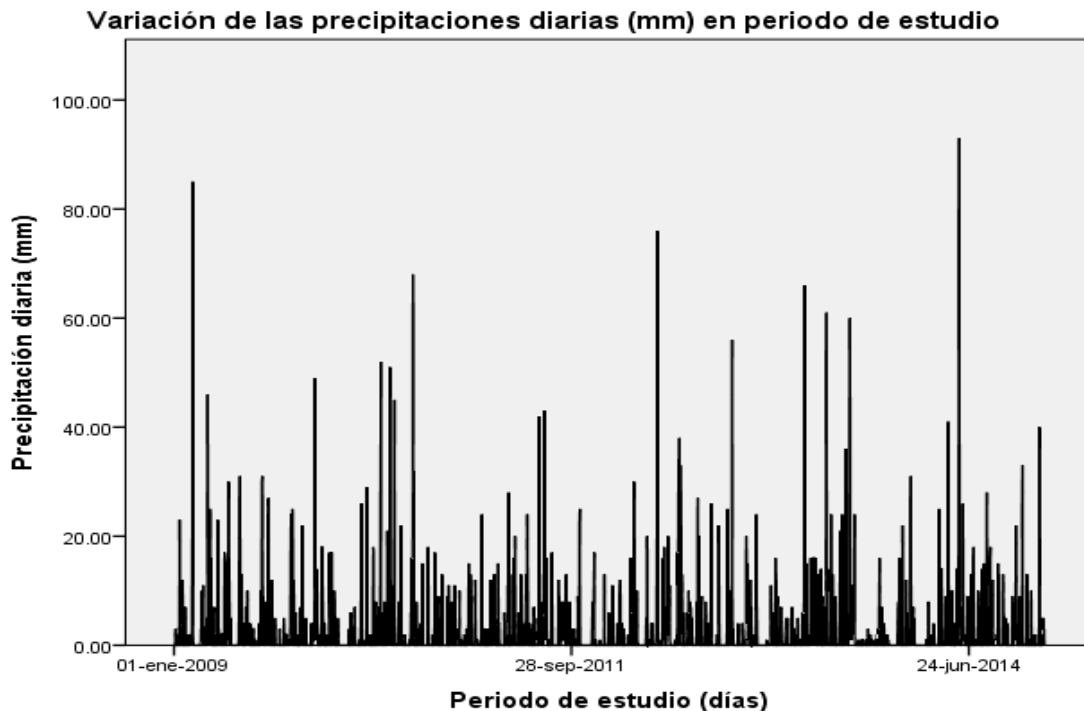


Gráfico N°10. Serie de tiempo de precipitaciones diarias. Coyhaique 2009 - 2014.

Al explorar las precipitaciones por año, se observan años en donde no hay una tendencia estacional de la lluvia en los meses fríos, como los años 2009 y 2011. A diferencia de los otros años en donde se aprecia una concentración de las precipitaciones en los meses fríos de abril a septiembre (Figura N°16).

Esto se explica por el régimen pluviométrico reducido propio de Coyhaique, ya que las mayores precipitaciones de los sistemas frontales, se presentan en la ladera occidental y zonas altas de la cordillera patagónica. El periodo más lluvioso se presenta entre mayo y agosto, donde llueve cerca del 50% del total anual. Por las bajas temperaturas invernales, estas precipitaciones presentan características nivosas en los meses más fríos.

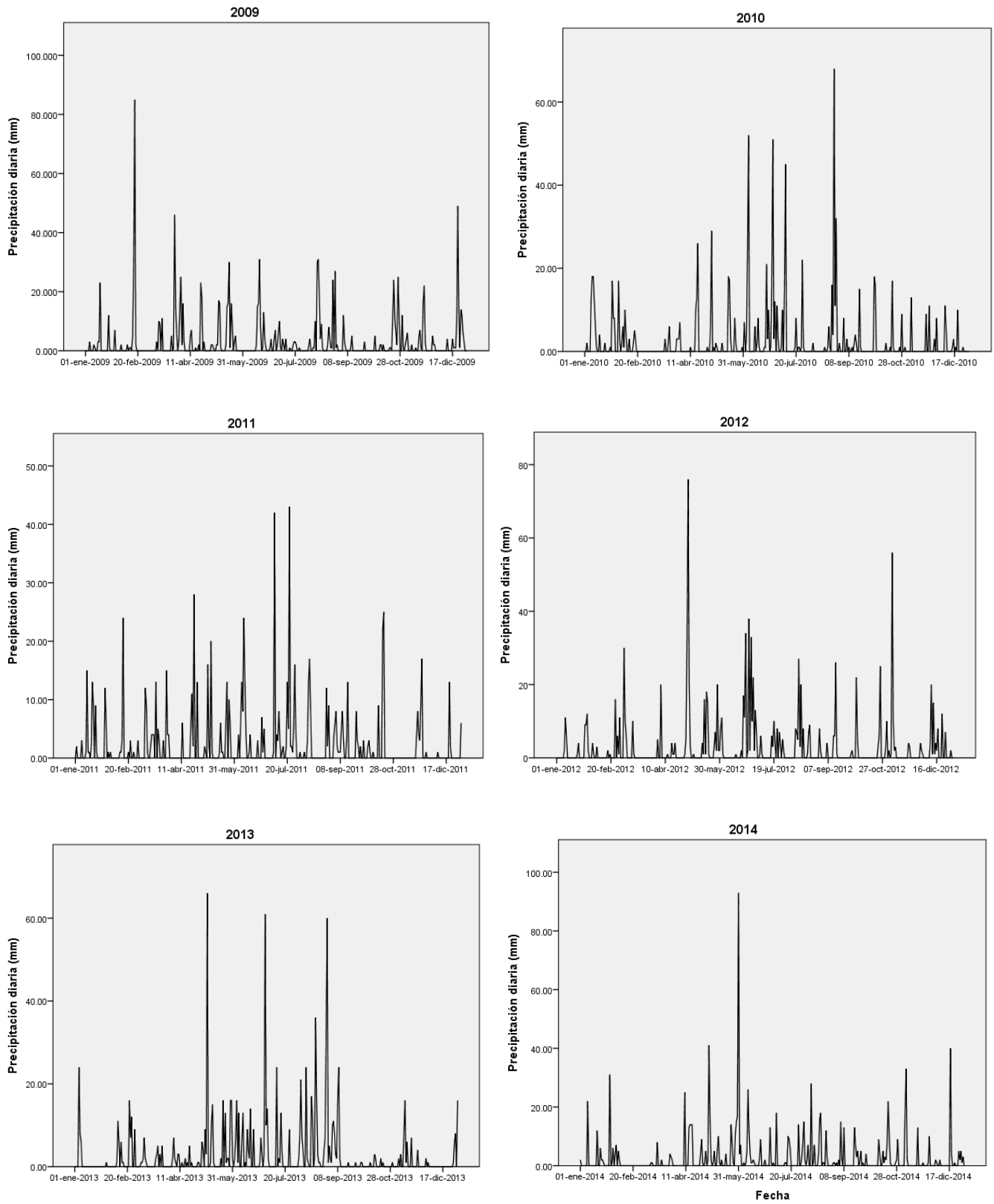


Figura N°16. Precipitaciones diarias por año en estudio. Coyhaique 2009 – 2014.

Al explorar la velocidad del viento en la serie de tiempo, se observa una tendencia al aumento en los meses de primavera y verano, época del año en donde los niveles de MP10 disminuyen naturalmente por el menor uso de la leña para calefaccionarse por la población (Gráfico N°11).

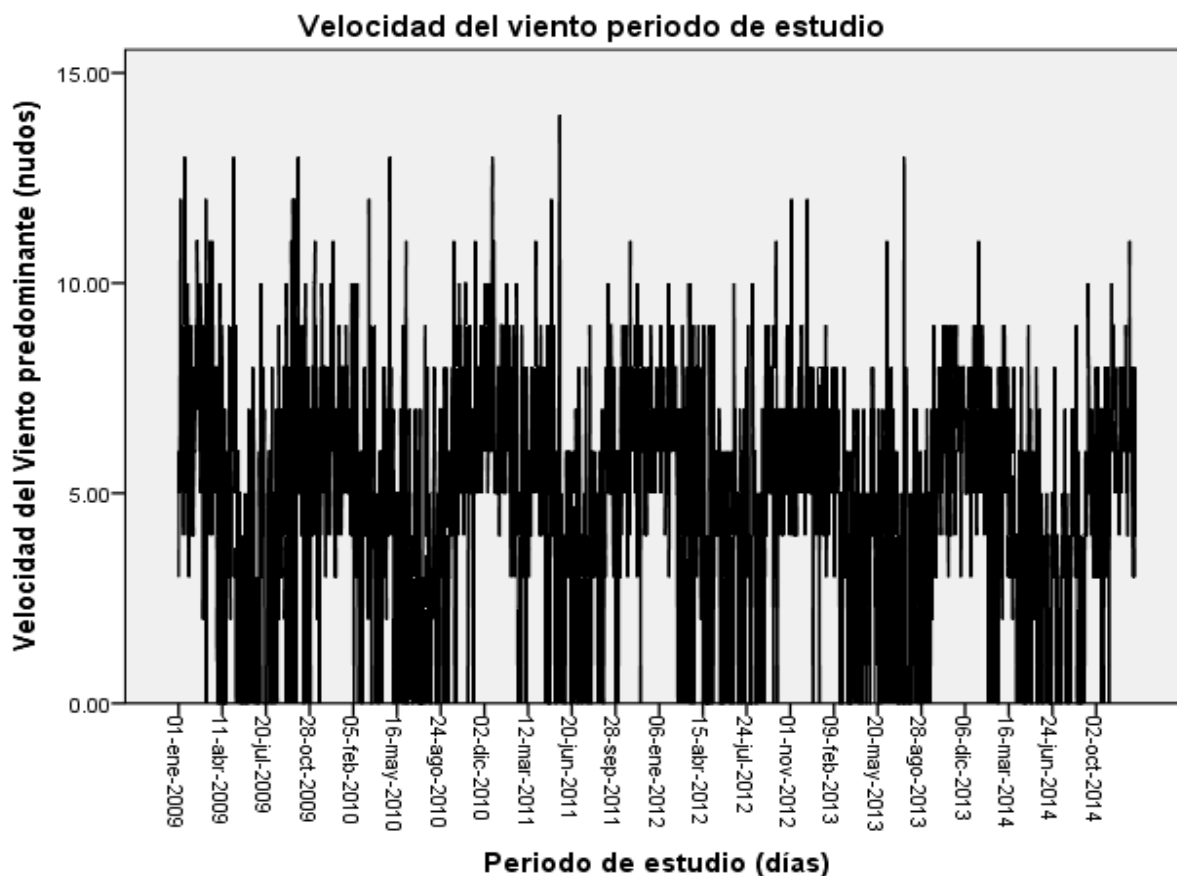


Gráfico N°11. Serie de tiempo de velocidad del viento predominante diario, Coyhaique 2009 - 2014.

Al examinar esta variable climatológica en detalle y convirtiéndola de nudos a kilómetros por hora para mayor comprensión, se observa que en los meses de invierno la velocidad del viento es menor, fluctuando entre 3,7 a 14,8 km/hr, mientras que en los meses de primavera y principio de verano es entre 18,5 a 25,9 km/hr, época donde los niveles de MP10 se encuentran bajo la norma primaria (Figura N°17).

Por otra parte, al revisar la dirección del viento predominante, la que tiene la mayor importancia relativa es la suroeste con un 31% de los registros diarios (2.190), seguida de la oeste con un 17%, ésta última, la más favorable para ventilar la ciudad (Gráfico N°12).

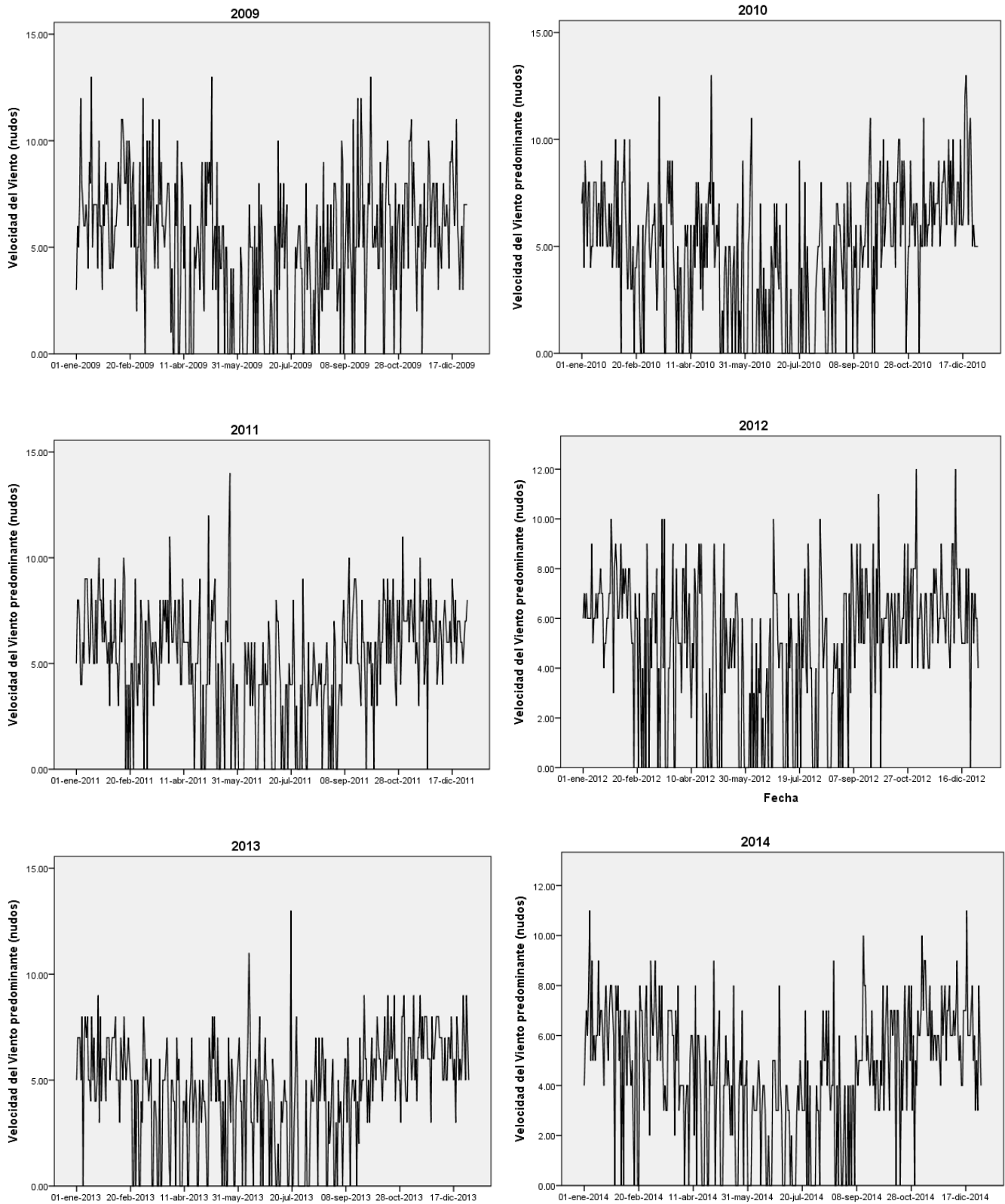


Figura N°17. Velocidad del viento diaria por año de estudio. Coyhaique 2009 – 2014.

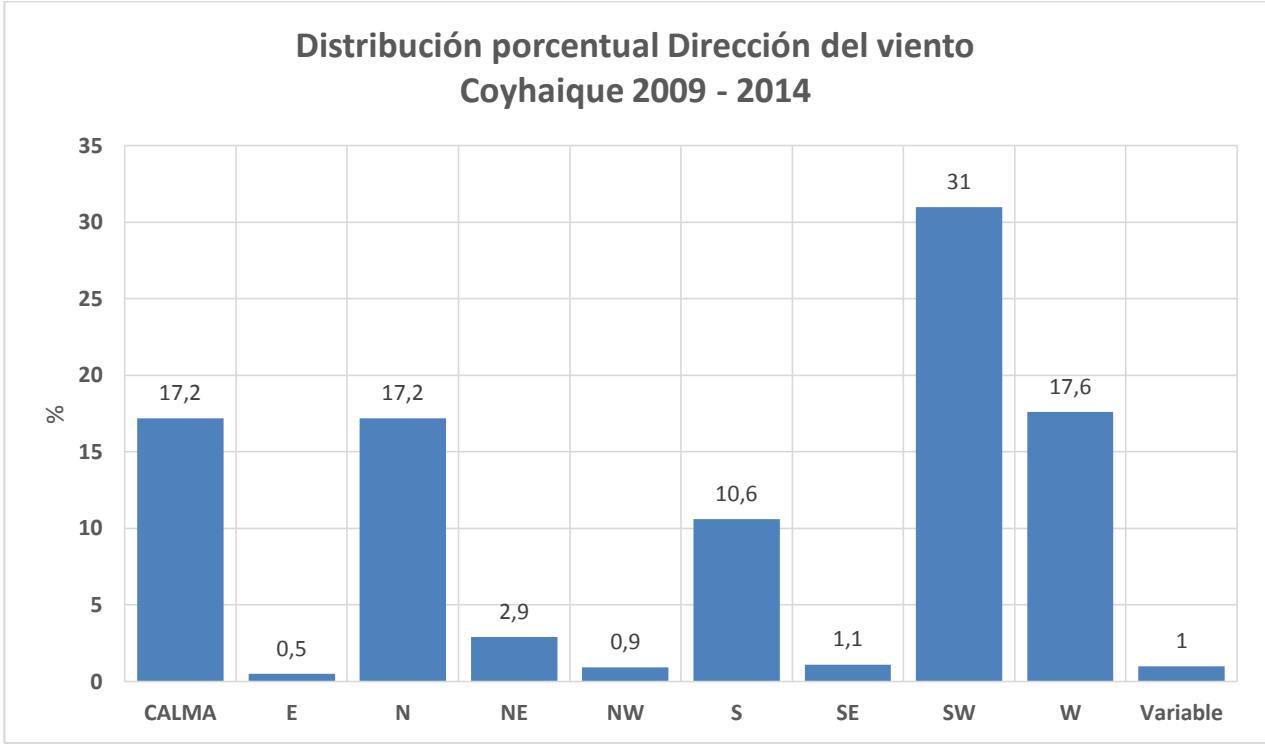


Gráfico N°12. Dirección predominante del viento. Coyhaique 2009 – 2014.

Es necesario comentar que de acuerdo a informes del Servicio de Meteorología de Chile, la velocidad del viento en la ciudad de Coyhaique es mayor en primavera, verano y entrada de otoño, atribuible a la mayor incursión de sistemas frontales en el periodo invernal.

3.2 Análisis descriptivo de variables independientes: Vigilancia Epidemiológica de Influenza e IRA grave por Virus Sincicial Respiratorio (VSR).

Al analizar la información de vigilancia epidemiológica de enfermedad tipo Influenza (ETI) en el Servicio de Urgencia del Hospital Regional Coyhaique, se observan ciclos variables con peaks en pleno invierno para los años 2009, 2013 y 2014, siendo para los últimos dos años de baja intensidad. Destaca la mayor notificación de casos en la primavera de los años 2010 y 2012, produciéndose la notificación cercana a los 100 casos diarios en los meses de octubre y noviembre, respectivamente. Durante el 2011 se observa la notificación de baja intensidad, pero más homogénea entre los meses de abril a noviembre (Gráfico N°13 y Figura N°18). Es necesario señalar que aunque en el año 2009 no se cuenta con los registros diarios de atención del primer semestre, debido a que el registro se implementó como consecuencia de la pandemia de Influenza H1N1, se puede inferir un nivel de demanda muy superior por la epidemia que se produjo al circular esta nueva cepa de virus Influenza.

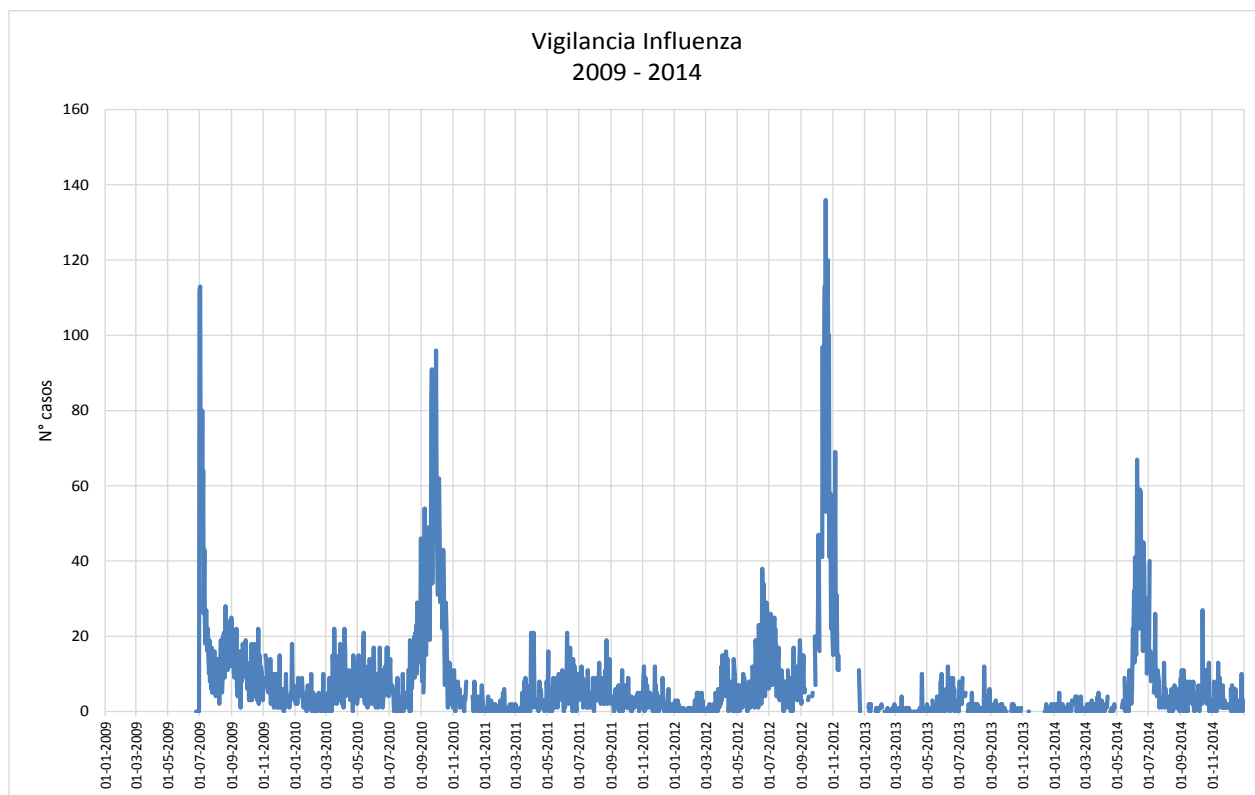


Gráfico N°13. Serie de tiempo de casos de Influenza. Servicio de Urgencia, Hospital Regional Coyhaique, 2009 - 2014

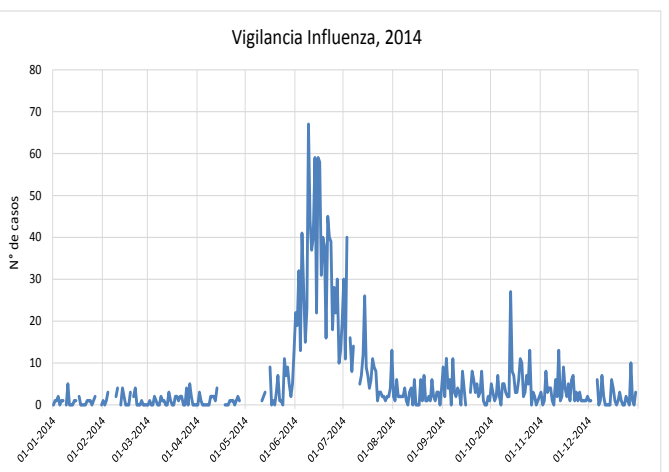
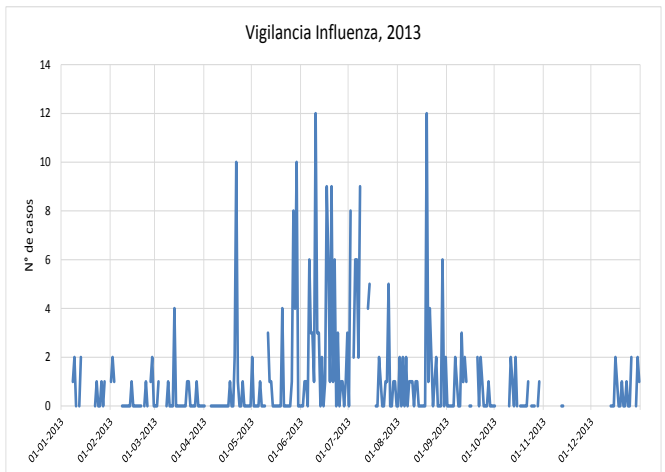
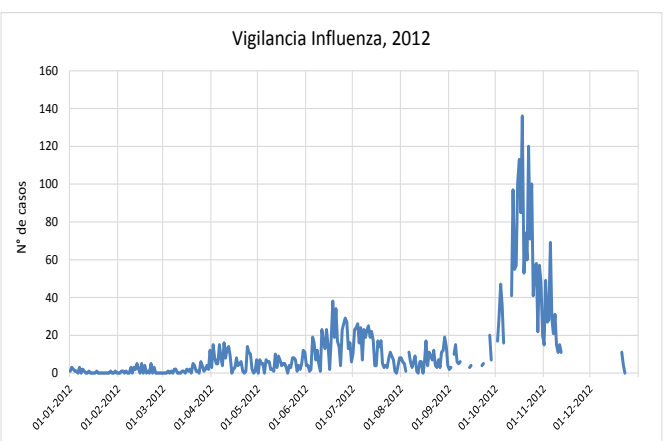
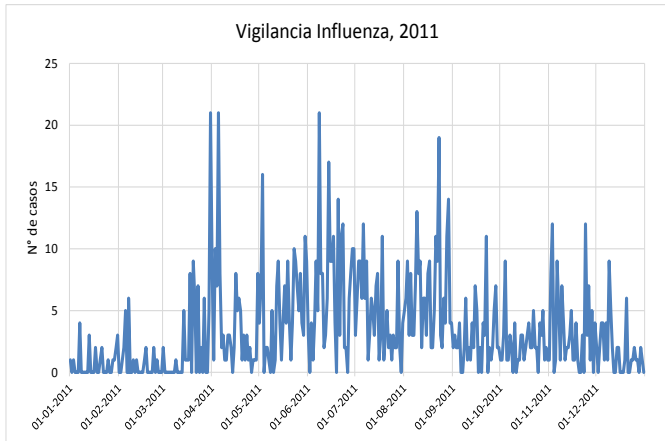
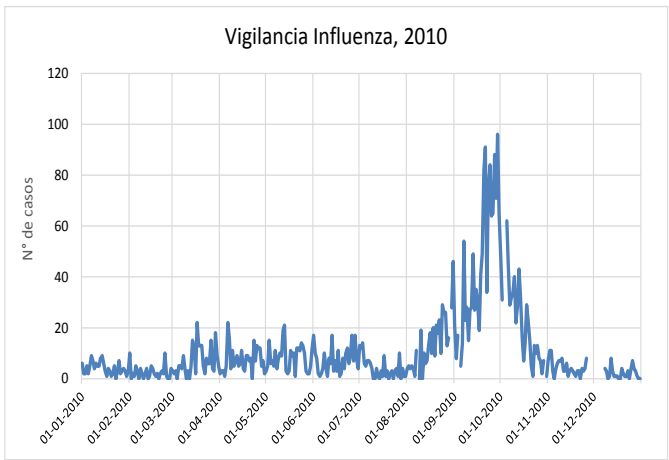
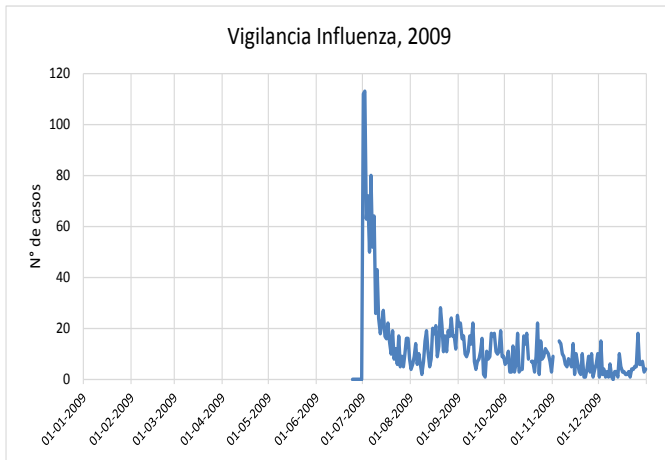


Figura N°18. Serie de tiempo de casos de Influenza por año. Servicio de Urgencia, Hospital Regional Coyhaique.

En la revisión de notificación de casos de infección respiratoria grave por VSR a nivel intrahospitalario, se observa que los casos reportados se presentan preferentemente durante el 2° semestre en los años estudiados (Gráfico N°14).

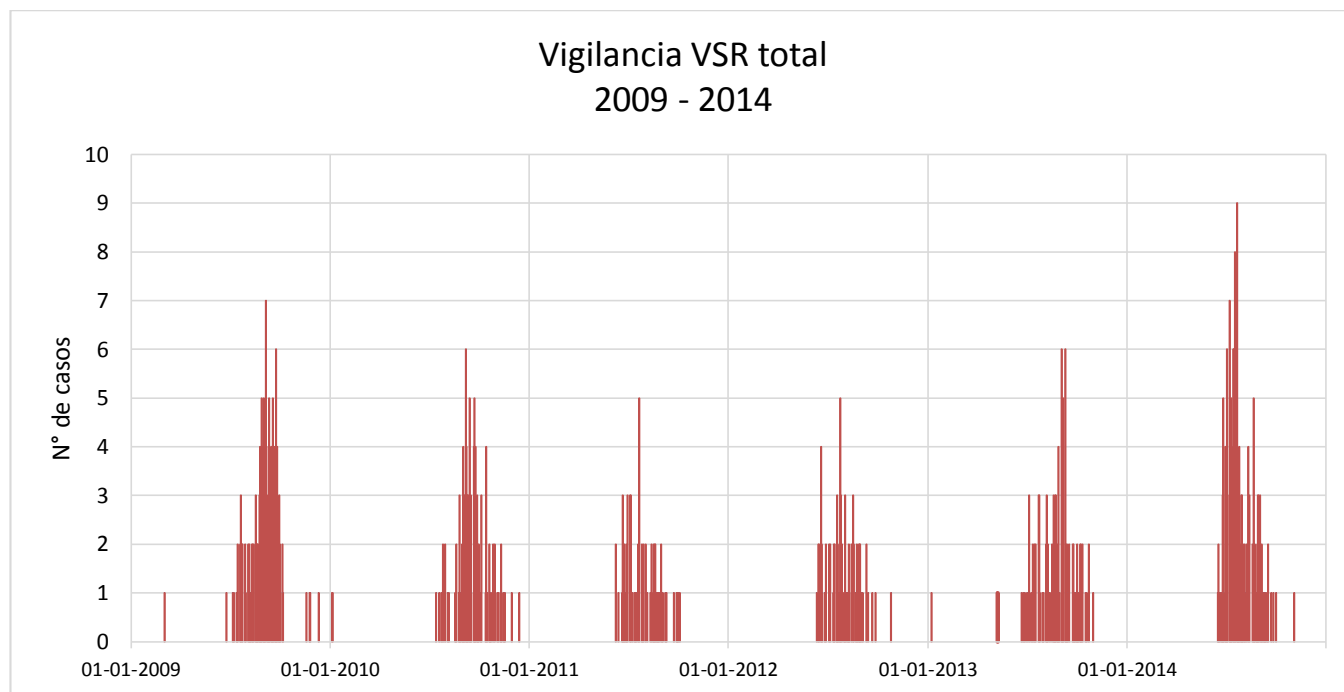


Gráfico N°14. Serie de tiempo de casos de IRA grave por VSR. Hospital Regional Coyhaique, 2009 - 2014.

Los casos reportados de neumonía por VSR en pacientes intrahospitalarios, afecta principalmente a lactantes menores de 1 año en un 68,3% de los casos, seguido de un 29,2% de niños de 1 a 5 años (Tabla N°2).

Tabla N°2. Distribución por grupo de edad de casos de VSR, Coyhaique 2009 - 2014

| Grupo de edad | N° | % |
|---------------|------------|-------------|
| < 1 año | 438 | 68,3 |
| 1 a 5 años | 187 | 29,2 |
| 6 a 14 años | 7 | 1,1 |
| 15 a 64 años | 4 | 0,6 |
| 65 y más años | 5 | 0,8 |
| TOTAL | 641 | 100 |

De acuerdo a la información de vigilancia epidemiológica de la serie estudiada, destaca la circulación tardía del VSR en los años 2009, 2010 y 2013 con incremento de casos en los meses de septiembre y octubre (Figura N°19).

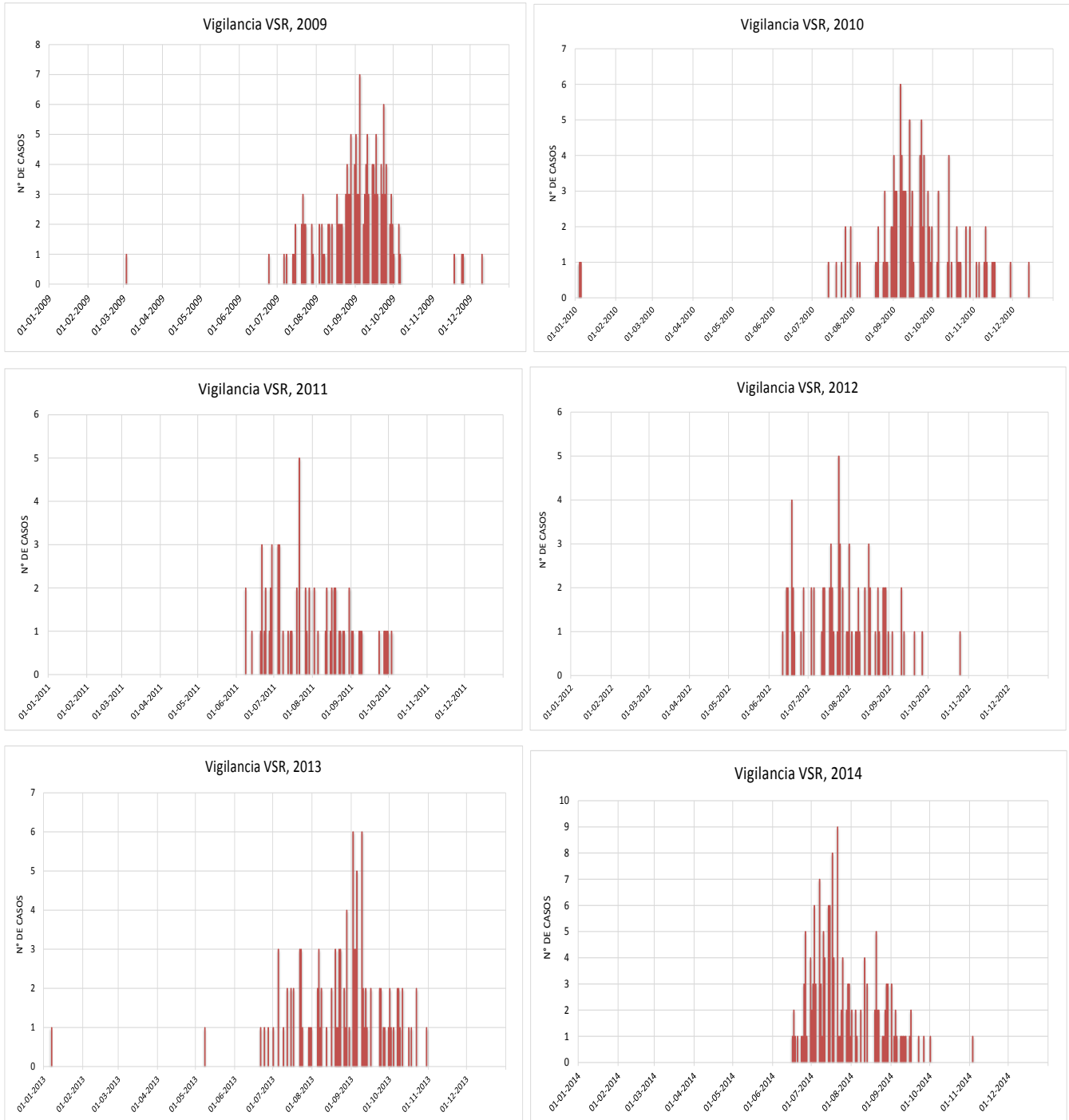


Figura N°19. Serie de tiempo de casos de IRA grave por VSR, por año. Hospital Regional Coyhaique, 2009 - 2014.

4. Medidas de tendencia central de las variables en estudio

4.1 Variables respuesta

Al explorar las consultas de urgencia en la serie en estudio, se observa que la principal causa de consulta es la enfermedad respiratoria con un tercio de las atenciones, llegando en los meses fríos (junio, julio o agosto) a superar el 60% del total de atenciones. Por su parte, las consultas por enfermedad cardiovascular alcanzan al 1,9%, sin variaciones estacionales (Tabla N°3).

Tabla N°3. Distribución porcentual de consultas de urgencia por enfermedad respiratoria y cardiovascular, Hospital Regional de Coyhaique 2009 – 2014.

| Consultas de urgencia | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Total |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Consultas totales | 50.285 | 92.852 | 97.869 | 76.464 | 62.103 | 76.563 | 456.136 |
| Consultas Enf. Respiratoria | 17.917 | 31.288 | 27.693 | 23.547 | 17.961 | 22.843 | 141.249 |
| % | 35,6 | 33,7 | 28,3 | 30,8 | 28,9 | 29,8 | 31 |
| Consultas Enf. Cardiovascular | 1.012 | 1.873 | 2.034 | 1.517 | 962 | 1.255 | 8.653 |
| % | 1,7 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,5 | 1,6 | 1,9 |

Al examinar la incidencia de la enfermedad respiratoria en la población en la serie en estudio, destaca la mayor incidencia de este grupo de patologías los años 2010, 2011 y 2012, que tuvieron características epidémicas por la circulación de virus Influenza H1N1 (nueva cepa pandémica) y la circulación estacional de VSR. Del mismo modo, la incidencia más alta para consultas de urgencia por enfermedad cardiovascular se presentó en los mismos años (Tabla N°4).

**Tabla N°4. Tasa de Incidencia de enfermedad respiratoria y cardiovascular.
Hospital Regional Coyhaique 2009 – 2014.**

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Total |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Población total | 54.703 | 55.472 | 55.969 | 56.675 | 57.000 | 57.535 | 337.354 |
| Consultas de urgencia Enf. Resp | 17.917 | 31.288 | 27.693 | 23.547 | 17.961 | 22.843 | 141.249 |
| Tasa de consulta | 3,05 | 1,8 | 2,0 | 2,4 | 3,2 | 2,5 | 2,4 |
| Tasa de Incidencia x 100.000 hb | 32,7 | 56,4 | 49,5 | 41,5 | 31,5 | 39,7 | |
| Consultas de urgencia Enf. Cardiovascular | 1.012 | 1.873 | 2.034 | 1.517 | 962 | 1.255 | |
| Tasa de Incidencia x 100.000 hb | 1,84 | 3,4 | 3,6 | 2,7 | 1,7 | 2,2 | |

Al desagregar las consultas de urgencia por enfermedad respiratoria, según grupo de edad, el grupo de adultos de 15 a 64 tiene la mayor importancia relativa, seguido de los niños de 1 a 4 años (Tabla N°5).

Es necesario señalar que en el año 2009 no se obtuvo el registro de consultas diarias en el primer semestre, ya que la medida se implementó a partir del 1° de julio de ese año frente a la pandemia de Influenza H1N1.

**Tabla N°5. Consultas de Urgencia por Enfermedad Respiratoria por grupo de edad.
Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014**

| Consultas de urgencia Enf. Respiratoria | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--|----------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| < de 1 año | | | | | | |
| N° total | 2.102 | 2.852 | 2.748 | 1.969 | 1.748 | 2.165 |
| % | 11,73 | 9,12 | 9,92 | 8,36 | 9,73 | 9,48 |
| Mínimo-máximo/día | 1 – 29 | 0 – 25 | 0 – 19 | 0 – 20 | 0 – 20 | 0 – 22 |
| 1 a 4 años | | | | | | |
| N° total | 4.506 | 7.753 | 6.535 | 5.771 | 5.180 | 5.788 |
| % | 25,15 | 24,78 | 23,60 | 24,51 | 24,84 | 25,34 |
| Mínimo-máximo/día | 7 – 86 | 0 – 89 | 1 – 44 | 1 – 63 | 1 – 54 | 0 – 63 |
| 5 a 14 años | | | | | | |
| N° total | 3.552 | 7.167 | 6.540 | 5.582 | 3.693 | 4.798 |
| % | 19,82 | 22,91 | 23,62 | 23,71 | 20,56 | 21,0 |
| Mínimo-máximo/día | 1 - 62 | 1 – 82 | 1 – 58 | 0 - 104 | 0 – 37 | 0 – 72 |
| 15 a 64 años | | | | | | |
| N° total | 6.951 | 12.094 | 10.654 | 8.986 | 6.438 | 8.614 |
| % | 38,8 | 38,65 | 38,47 | 38,16 | 35,84 | 37,71 |
| Mínimo-máximo/día | 12 – 135 | 0 – 121 | 5 – 65 | 4 – 95 | 1 – 60 | 0 – 111 |
| 65 y más años | | | | | | |
| N° total | 806 | 1.422 | 1.216 | 1.239 | 902 | 1.478 |
| % | 4,5 | 4,54 | 4,39 | 5,26 | 5,02 | 6,47 |
| Mínimo-máximo/día | 0 - 13 | 0 – 18 | 0 - 11 | 0 - 15 | 0 - 11 | 0 – 17 |
| N° total / año | 17.917 | 31.288 | 27.693 | 23.547 | 17.961 | 22.843 |
| Mínimo-máximo/día | 46 - 223 | 0 - 322 | 12 - 172 | 10 - 248 | 7 - 141 | 0 – 221 |
| N° de días sin registro de atención | 185 50,7% | 17 4,7% | 0 0 | 52 14,2% | 95 26% | 39 10,7% |

En cuanto a la demanda por enfermedad cardiovascular en la serie estudiada, según grupo de edad, el grupo de 15 a 64 años tiene la mayor proporción de atenciones 58,1%, seguido de los adultos mayores con un 39,7% (Tabla N°6).

**Tabla N°6. Consultas de Urgencia por Enfermedad Cardiovascular por grupo de edad.
Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014**

| Consultas de urgencia Enf. Cardiovascular | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| < de 1 año | | | | | | |
| N° total | 8 | 11 | 6 | 4 | 1 | 4 |
| % | 0,79 | 0,59 | 0,29 | 0,26 | 0,10 | 0,32 |
| Mínimo-máximo / día | 0 – 5 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 |
| 1 a 4 años | | | | | | |
| N° total | 4 | 19 | 14 | 7 | 1 | 4 |
| % | 0,40 | 1,01 | 0,69 | 0,46 | 0,10 | 0,32 |
| Mínimo-máximo / día | 0 – 1 | 0 – 2 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 |
| 5 a 14 años | | | | | | |
| N° total | 7 | 29 | 22 | 10 | 13 | 21 |
| % | 0,69 | 1,55 | 1,08 | 0,66 | 1,35 | 1,67 |
| Mínimo-máximo / día | 0 – 3 | 0 – 3 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 |
| 15 a 64 años | | | | | | |
| N° total | 586 | 1.099 | 1.201 | 889 | 539 | 715 |
| % | 57,91 | 58,68 | 59,05 | 58,6 | 56,03 | 56,97 |
| Mínimo-máximo / día | 0 – 11 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 – 11 | 0 – 8 | 0 – 8 |
| 65 y más años | | | | | | |
| N° total | 407 | 714 | 791 | 607 | 408 | 510 |
| % | 40,22 | 38,12 | 38,89 | 40,01 | 42,41 | 40,64 |
| Mínimo-máximo / día | 0 – 7 | 0 – 9 | 0 – 8 | 0 – 6 | 0 – 8 | 0 – 7 |
| N° total / año | 1.012 | 1.873 | 2.034 | 1.517 | 962 | 1.255 |
| Mínimo-máximo / día | 0 - 16 | 0 - 15 | 0 - 17 | 0 - 16 | 0 - 13 | 0 – 14 |
| N° de días sin registro de atención | 185 | 17 | 0 | 52 | 95 | 39 |
| | 50,7% | 4,7% | 0 | 14,2% | 26% | 10,7% |

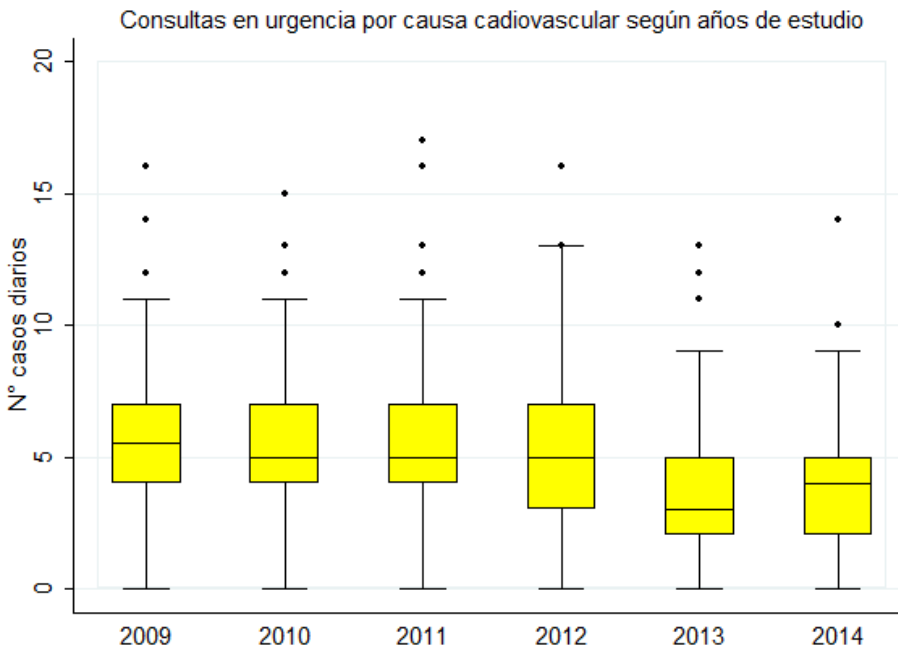
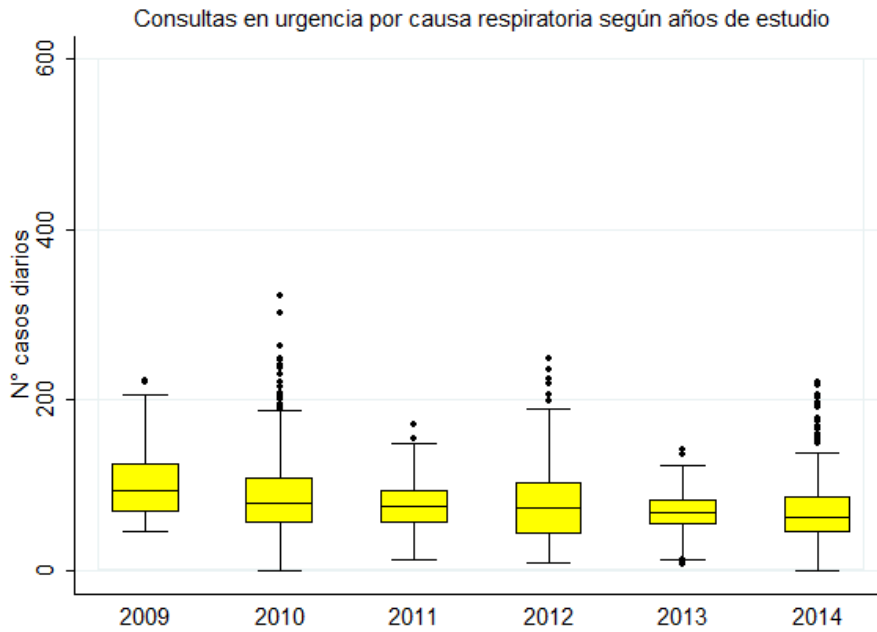


Figura N°20. Medidas de tendencia central consultas de urgencia. 2009 - 2014

En cuanto a los ingresos hospitalarios por enfermedad respiratoria, corresponde a la 3ª causa de hospitalización con un porcentaje de 6,7% para la serie en estudio. Para el caso de los ingresos por enfermedad cardiovascular este es de 1,8% de las hospitalizaciones totales (Tabla N°7).

**Tabla N°7. Ingresos Hospitalarios por Enfermedad Respiratoria y Cardiovascular.
Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014**

| Ingresos hospitalarios | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Total |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ingresos hosp totales | 6.793 | 6.432 | 6.973 | 7.101 | 7.285 | 7.483 | 42.067 |
| Ingresos Enf. Respiratoria | 594 | 333 | 477 | 407 | 442 | 554 | 2.807 |
| Mín-máx/día | 0 - 7 | 0 - 9 | 0 - 7 | 0 - 6 | 0 - 7 | 0 - 8 | - |
| % | 8,7 | 5,2 | 6,8 | 5,7 | 6,1 | 7,4 | 6,7 |
| Ingresos Enf. Cardiovascular | 122 | 77 | 112 | 136 | 159 | 164 | 770 |
| Mín-máx/día | 0 - 3 | 0 - 2 | 0 - 3 | 0 - 3 | 0 - 3 | 0 - 3 | - |
| % | 1,8 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 1,8 |

Respecto a la importancia relativa de los grupos de edad para las hospitalizaciones, en el caso de las enfermedades respiratorias, los niños menores de 15 años son los más relevantes con un 61% de los ingresos en la serie estudiada, seguido de los adultos mayores con un 23,5% (Tabla N°8).

**Tabla N°8. Ingresos Hospitalarios por Enfermedad Respiratoria por grupo de edad.
Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014**

| Ingresos hosp. por Enf. Respiratoria | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Total |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| < de 15 años N° | 383 | 196 | 287 | 227 | 247 | 372 | 1.712 |
| % | 64,48 | 58,86 | 60,17 | 55,77 | 55,88 | 67,15 | 61 |
| Mínimo-máximo/día | 0 – 6 | 0 – 8 | 0 – 6 | 0 – 5 | 0 – 5 | 0 – 8 | 0 - 8 |
| 15 a 64 años N° | 89 | 61 | 75 | 65 | 84 | 60 | 434 |
| % | 14,98 | 18,32 | 15,72 | 15,97 | 19,0 | 10,83 | 15,5 |
| Mínimo-máximo/día | 0 – 3 | 0 – 3 | 0 – 2 | 0 – 2 | 0 – 3 | 0 – 2 | 0 – 3 |
| 65 y más años N° | 122 | 76 | 115 | 115 | 111 | 122 | 661 |
| % | 20,54 | 22,82 | 24,11 | 28,26 | 25,11 | 22,02 | 23,5 |
| N°Total | 594 | 333 | 477 | 407 | 442 | 554 | 2.807 |
| N° de días sin registro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

En cuanto a las hospitalizaciones por enfermedad cardiovascular, la mayor proporción de ingresos corresponde a los adultos mayores con un 52,9%, seguidos de los adultos con un 46% (Tabla N°9).

**Tabla N°9. Ingresos Hospitalarios por Enfermedad Cardiovascular por grupo de edad.
Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014**

| Ingresos hospitalarios por Enf. Cardiovascular | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Total |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| < de 15 años N° | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 8 |
| % | 2,46 | 2,56 | 0,89 | | 1,26 | | 1,03 |
| Mínimo-máximo/día | 0 – 1 | 0 – 1 | 0 – 1 | | 0 – 1 | | 0 – 1 |
| 15 a 64 años N° | 63 | 38 | 53 | 49 | 74 | 78 | 355 |
| % | 51,64 | 48,72 | 47,32 | 36,03 | 46,54 | 47,56 | 46,04 |
| Mínimo-máximo/día | 0 – 3 | 0 – 2 | 0 – 2 | 0 – 2 | 0 – 2 | 0 – 3 | 0 – 3 |
| 65 y más años N° | 56 | 38 | 58 | 87 | 83 | 86 | 408 |
| % | 45,9 | 48,72 | 51,79 | 63,97 | 52,2 | 52,44 | 52,91 |
| Mínimo-máximo/día | 0 – 2 | 0 - 2 | 0 - 2 | 0 – 3 | 0 – 3 | 0 – 2 | 0 – 3 |
| N° Total ° | 122 | 78 | 112 | 136 | 159 | 164 | 771 |
| N° de días sin registro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Al analizar la mortalidad por causa respiratoria en la serie de tiempo estudiada, se observa una mayor proporción de muertes en adultos mayores (88%). Para el caso de las muertes por enfermedad cardiovascular, igualmente el grupo con la mayor importancia relativa (73,9%) corresponde a los adultos mayores. Respecto de las muertes por cáncer, el escaso número de casos por año, en promedio 9 muertes anuales, se concentra preferentemente en adultos mayores (Tablas N°10, 11 y 12).

Tabla N°10. Mortalidad por Enfermedad Respiratoria por grupo de edad.

Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014

| Muertes por Enf. Respiratoria | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----------------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| < de 15 años | N° | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | % | 16,67 | | | | | 2,08 |
| 15 a 64 años | N° | 4 | 6 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| | % | 22,22 | 16,67 | | | 5,0 | 8,33 |
| 65 y más años | N° | 11 | 30 | 17 | 32 | 19 | 43 |
| | % | 61,11 | 83,33 | 100,0 | 100,0 | 95,0 | 89,58 |
| N° Total | | 18 | 36 | 17 | 32 | 20 | 48 |

Tabla N°11. Mortalidad por Enfermedad Cardiovascular por grupo de edad.

Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014

| Muertes por Enf. Cardiovascular | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------------------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| < de 15 años | N° | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | % | | | | | | |
| 15 a 64 años | N° | 14 | 18 | 20 | 13 | 13 | 16 |
| | % | 23,73 | 32,14 | 32,79 | 22,41 | 22,81 | 23,19 |
| 65 y más años | N° | 45 | 38 | 41 | 45 | 44 | 53 |
| | % | 76,27 | 67,86 | 67,21 | 77,59 | 77,19 | 76,81 |
| N° Total | | 59 | 56 | 61 | 58 | 57 | 69 |

Tabla N°12. Mortalidad por cáncer pulmonar y leucemia por grupo de edad.

Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014

| Muertes por cánceres seleccionados | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---------------------------------------|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| < de 15 años | N° | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | % | | | | | | |
| 15 a 64 años | N° | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| | % | 10,0 | 28,57 | 30,77 | 42,86 | 44,44 | 28,57 |
| 65 y más años | N° | 9 | 5 | 9 | 4 | 5 | 5 |
| | % | 90,0 | 71,43 | 69,23 | 57,14 | 55,56 | 71,43 |
| N° Total | | 10 | 7 | 13 | 7 | 9 | 7 |

4.2 Variable de exposición: MP10

El MP10 monitoreado en la estación Coyhaique, sobrepasa la norma primaria de calidad del aire para concentración anual superior a 50 ug/m³ en toda la serie en estudio. Para el caso de MP10 en promedio 24 hrs, los niveles máximos alcanzados superan lo establecido en la norma (>150 ug/m³), llegando a 538 ug/m³ en el año 2010 y a 545,9 ug/m³ en el 2014 (Tabla N°13).

Tabla N°13. Medidas de tendencia central MP10 ug/m³

| Variable ambientales | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| MP 10 ug/m³ | | | | | | |
| Media | 72,5 | 83,4 | 85,8 | 82,9 | 77,7 | 80,6 |
| Mediana | 51,48 | 49,0 | 51,0 | 56,17 | 35,58 | 51,48 |
| p25-p75 | 35,03 - 103,7 | 33,48 - 92,44 | 34,0 - 105,0 | 33,82 - 96,42 | 35,21 - 40,46 | 35,03 - 103,7 |
| Mínimo-máximo | 15,33 - 405,3 | 17 - 538 | 13 - 397 | 15,82 - 475,4 | 17,36 - 339,1 | 15,88 - 545,9 |

Los niveles de MP10 que superan la norma primaria sistemáticamente en la ciudad de Coyhaique, se extienden desde el mes de abril a septiembre de cada año, periodo en donde simultáneamente se produce la mayor demanda de enfermedad respiratoria, razón por la cual es necesario utilizar estudios más acabados para establecer su asociación.

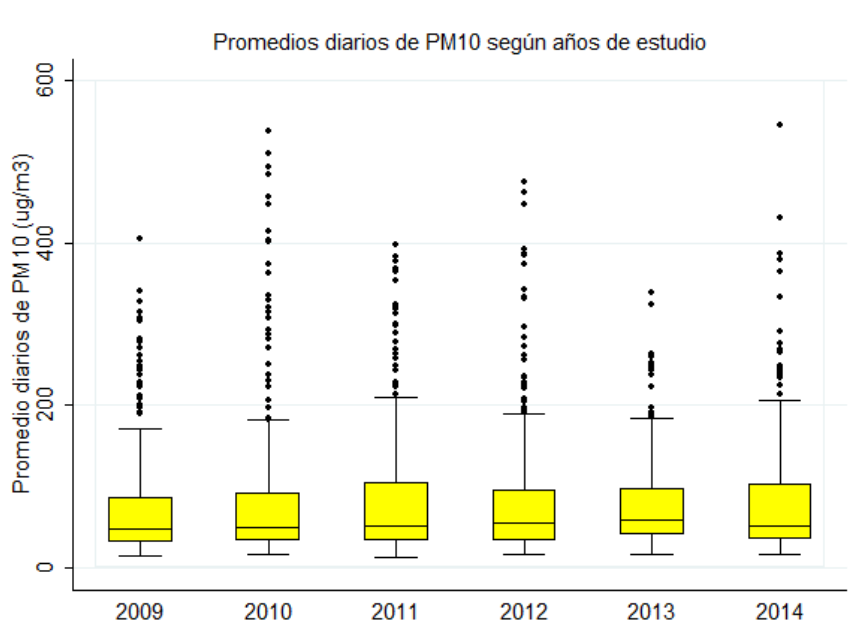


Figura N°21. Medidas de dispersión MP10. Coyhaique 2009 – 2014.

4.3 Variables independientes: agentes infecciosos virales.

En cuanto a la información de vigilancia epidemiológica de Influenza, destaca el número importante de casos notificados durante el año 2009, donde se produjo la pandemia de H1N1. Los años 2010 y 2012, corresponde a ciclos epidémicos. A diferencia del 2013 que presentó una baja circulación de este agente patógeno a nivel regional (Tabla N°14).

Para el caso de VSR, se produjo una circulación de alta intensidad en los años 2009, 2010 y 2014. Destaca la circulación tardía en los meses de septiembre, octubre y noviembre en el 2010 y 2012, que determinó la alta demanda de enfermedad respiratoria en ese periodo, especialmente en los grupos extremos (< de 1 año y adultos mayores).

Tabla N°14. Variables independientes: Vigilancia epidemiológica casos Influenza en Servicio de Urgencia e IRA grave por VSR. Hospital Regional Coyhaique 2009 a 2014

| N° de casos notificados | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------------|----------------|---------------|--------|----------------|--------|------------|
| Influenza | | | | | | |
| N° de casos | 2.343 | 3.741 | 1.259 | 3.674 | 284 | 1.885 |
| Media | 12,53 | 10,69 | 3,45 | 12,09 | 1,06 | 5,8 |
| Mínimo-máximo | 0 – 113 | 0 – 96 | 0 – 21 | 0 – 136 | 0 – 12 | 0 – 67 |
| IRA grave por VSR | | | | | | |
| N° de casos | 154 | 118 | 68 | 79 | 110 | 158 |
| Media | 0,59 | 0,45 | 0,26 | 0,3 | 0,42 | 0,61 |
| Mínimo-máximo | 0 – 7 | 0 - 6 | 0 – 5 | 0 - 5 | 0 6 | 0 - 9 |

4.4 Variables independientes: climatológicas

La temperatura mínima es una variable que se observa asociada a altos niveles de MP10 en la ciudad de Coyhaique, presentando valores bajo cero en los meses de junio, julio y agosto de cada año. En la serie en estudio, el año 2010 fue el más frío, con una temperatura mínima promedio anual de 3,7°C y la mínima de -12,8°C (registrada el 15 de julio), siendo la más baja del periodo (Tabla N°16).

Del mismo modo, la humedad relativa del aire presenta niveles mayores en los meses fríos del año, y preferentemente los meses en que se presentan precipitaciones, condición que presenta cierta estacionalidad para los años 2010, 2012 y 2013.

Por otra parte, por la topografía de Coyhaique, la regular ventilación que se produce en los meses fríos con velocidades del viento menores a primavera y verano, junto al fenómeno de inversión térmica que se produce, hacen que las condiciones ambientales sean favorables para evitar la dispersión del material particulado y se produzcan niveles altos de contaminación en el aire.

El régimen de precipitaciones en Coyhaique es del orden de 1.200 mm al año, siendo para la serie de estudio el año 2009 el más lluvioso con 1.227,24 mm al año y el más seco el 2011 con 873,28 mm (Tabla N°15).

**Tabla N°15. Variables climatológicas: Precipitaciones anuales, según mes.
Coyhaique 2009 a 2014.**

| Mes | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Promedio (mm) |
|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|--------------------------|
| Enero | 55,02 | 111,13 | 74,11 | 57,31 | 39,51 | 78,94 | 69,3 |
| Febrero | 124,91 | 55,82 | 37,4 | 46,65 | 70,01 | 24,83 | 59,9 |
| Marzo | 109,71 | 20,91 | 86,21 | 58,62 | 32,11 | 22,42 | 55,0 |
| Abril | 119,72 | 66,47 | 66,27 | 74,1 | 30,92 | 100,12 | 76,3 |
| Mayo | 141,43 | 83,94 | 87,5 | 202,51 | 189,6 | 248,21 | 158,9 |
| Junio | 99,41 | 223,91 | 92,61 | 185,22 | 111,32 | 92,52 | 134,2 |
| Julio | 50 | 123,41 | 156,81 | 80,02 | 140,93 | 72,5 | 103,9 |
| Agosto | 182,6 | 146,22 | 68,21 | 106,31 | 264,32 | 120,72 | 148,1 |
| Septiembre | 25,91 | 37,52 | 69,61 | 46,33 | 80,4 | 72,73 | 55,4 |
| Octubre | 121,41 | 67,32 | 63,91 | 65,12 | 11,05 | 77,7 | 67,8 |
| Noviembre | 79,1 | 46,34 | 48,93 | 80,4 | 48,61 | 79,71 | 63,8 |
| Diciembre | 118,02 | 35,28 | 21,71 | 85,42 | 33,91 | 66,8 | 60,2 |
| Total | 1227,24 | 1018,27 | 873,28 | 1088,01 | 1052,69 | 1057,2 | |

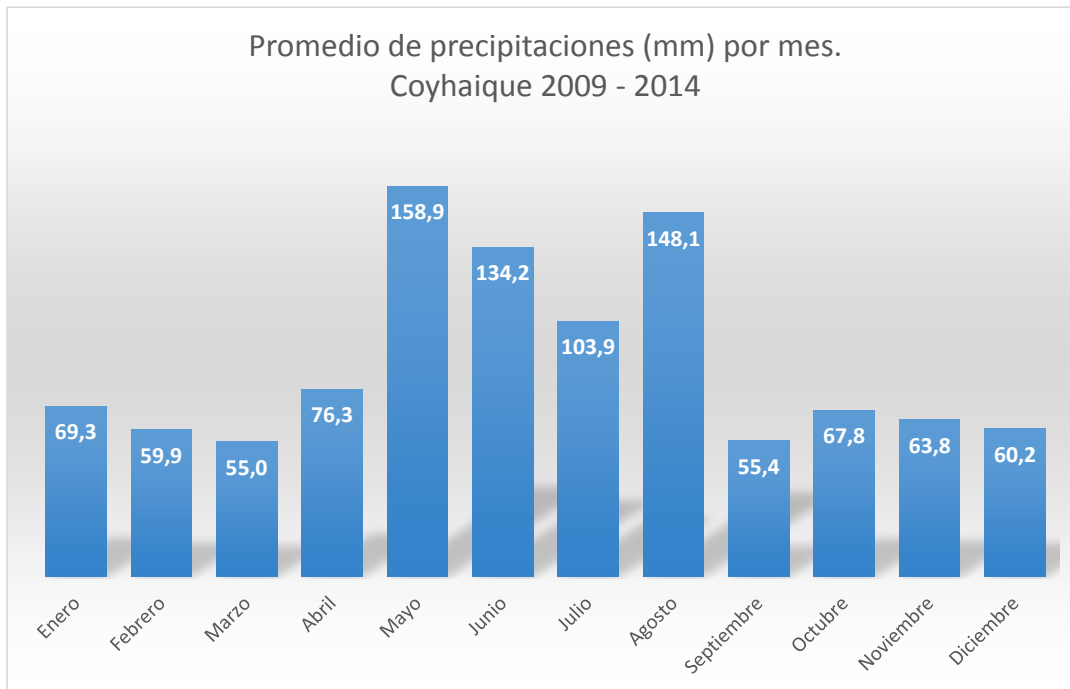


Gráfico N°15. Régimen de precipitaciones promedio mensual. Coyhaique, 2009 - 2014.

Por su parte el viento, presenta velocidades anuales que en promedio alcanzan a los 9 kms/hra, siendo los meses de octubre, noviembre y diciembre los más ventosos con velocidades que flutúan entre 20,3 a 25,9 kms/hra (Tabla N°16).

Tabla N°16. Medidas de tendencia central variables climatológicas.

| Variables climatológicas | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--------------------------------------|-------------|---------------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------------|
| T° mínima (°C) | | | | | | |
| Media | 4,3 | 3,7 | 4,3 | 4,4 | 4,7 | 4,6 |
| Mediana | 4,4 | 4,0 | 4,6 | 4,5 | 4,8 | 4,4 |
| p25-p75 | 1,0-7,6 | 0,8-7,4 | 1,5-7,0 | 1,0-7,5 | 1,4-8,3 | 1,8-7,4 |
| Mínimo-máximo | -6,6 – 16,0 | -12,8 – 13,2 | -11,2 – 13,8 | -11,0 – 16,0 | -9,4 – 16,0 | -9,1 – 16,0 |
| T° media (°C) | | | | | | |
| Media | 8,1 | 7,7 | 8,6 | 8,4 | 9,0 | 8,5 |
| Mediana | 8,3 | 7,9 | 8,4 | 8,6 | 8,8 | 8,3 |
| p25-p75 | 4,3-11,7 | 4,8-11,3 | 4,6-12,1 | 4,8-11,9 | 5,2-12,7 | 5,0-11,8 |
| Mínimo-máximo | -4,4 – 19,7 | -8,5 – 20,6 | -7,9 – 22,3 | -6,6 – 20,6 | -4,6 – 23,0 | -5,6 – 18,5 |
| T° máxima (°C) | | | | | | |
| Media | 13,1 | 12,7 | 13,9 | 13,6 | 14,5 | 13,7 |
| Mediana | 13,5 | 13,0 | 13,4 | 13,5 | 14,1 | 13,5 |
| p25-p75 | 9,0-16,8 | 9,3-16,7 | 9,3-17,4 | 9,3-17,4 | 9,7-18,8 | 9,6-17,2 |
| Mínimo-máximo | -1,4 – 27,5 | -4,0 – 29,7 | -2,8 – 33,0 | -0,8 – 30,0 | -2,1 – 33,8 | -1,0 – 29,5 |
| Humedad relativa (%) | | | | | | |
| Media | 74,0 | 74,4 | 75,8 | 73,8 | 70,6 | 70,9 |
| Mediana | 74,0 | 74,8 | 76,2 | 73,8 | 70,2 | 72,0 |
| p25-p75 | 64,0-83,8 | 65,5-85,0 | 65,5-87,2 | 65,5-80,8 | 62,0-80,2 | 61,2-81,5 |
| Mínimo-máximo | 43,9 – 99,0 | 42,8 - 100 | 41,5 – 99,5 | 44,0 – 95,8 | 38,8 - 99,0 | 32,0 – 94,2 |
| Precipitaciones (mm) | | | | | | |
| Media | 3,3 | 2,73 | 2,38 | 2,95 | 2,9 | 2,9 |
| Mediana | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,1 |
| p25-p75 | 0,0-2,1 | 0,0-1,3 | 0,0-1,9 | 0,0-2,1 | 0,0-2,1 | 0,0-2,1 |
| Mínimo-máximo | 0,0 – 85,3 | 0,0 – 67,9 | 0,0 – 42,9 | 0,0 – 75,8 | 0,0 – 66,5 | 0,0 – 93,1 |
| Velocidad del viento (Km/hra) | | | | | | |
| Media | 9,6 | 9,0 | 9,0 | 9,2 | 8,4 | 8,4 |
| Mediana | 9,26 | 9,26 | 9,26 | 9,26 | 9,26 | 9,26 |
| p25-p75 | 5,56-12,96 | 5,56-12,96 | 7,41-12,96 | 7,41-12,96 | 5,56-11,11 | 5,56-12,96 |
| Mínimo-máximo | 0,0 – 24,08 | 0,0 – 24,08 | 0,0 – 25,93 | 0,0 – 22,22 | 0,0 – 24,08 | 0,0 – 20,37 |

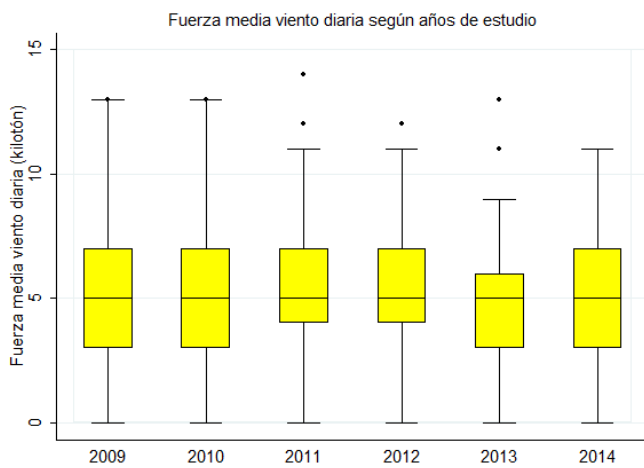
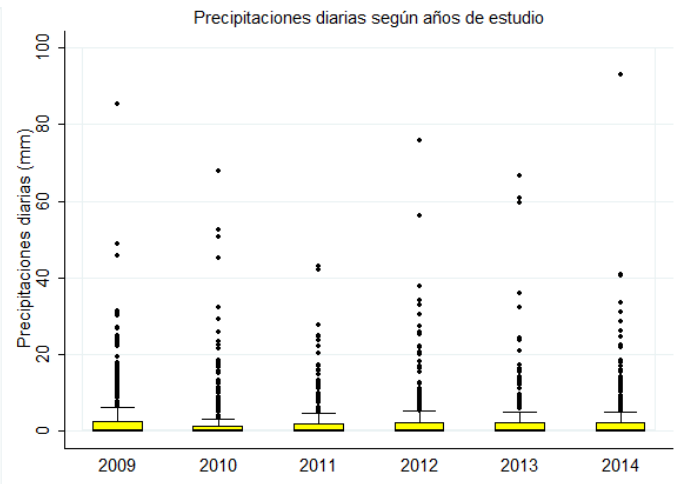
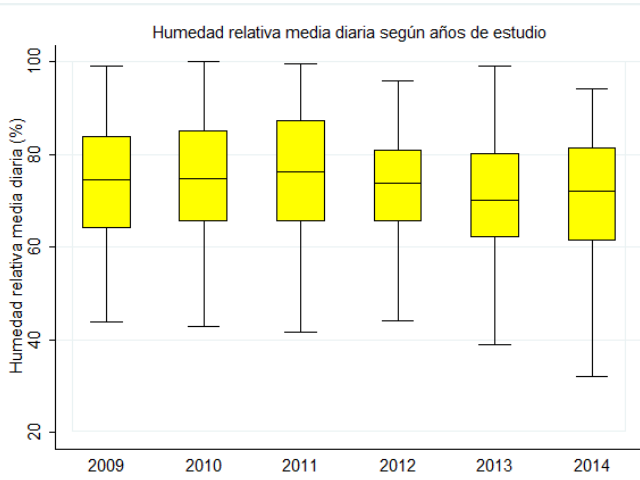
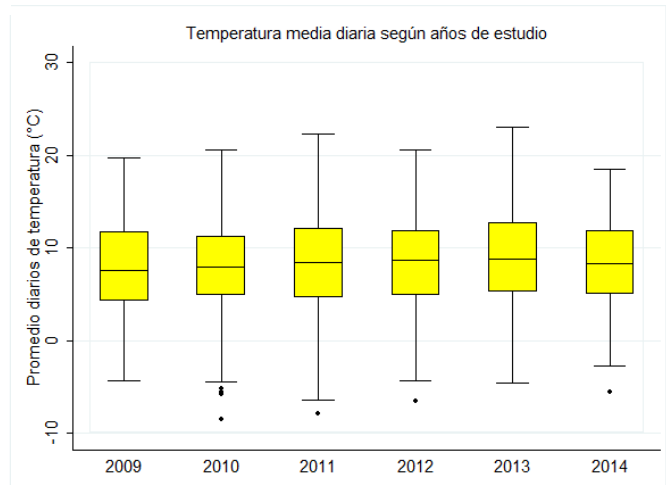
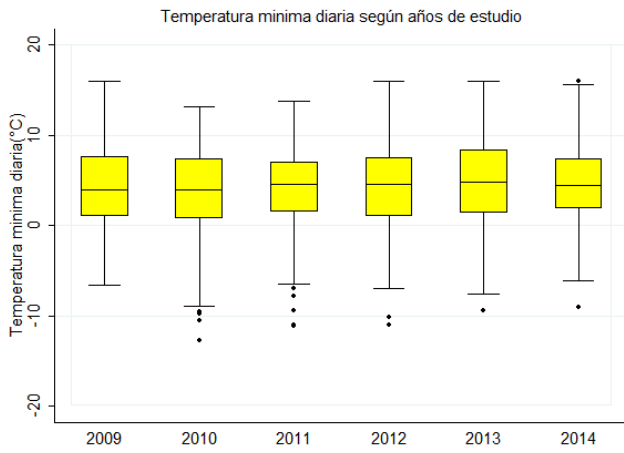


Figura N°22. Medidas de dispersión de variables climatológicas. Coyhaique 2009 - 2014

5. Asociación de MP10 y variables respuesta

Al relacionar en forma descriptiva MP10 y consultas de urgencia por enfermedad respiratoria, se observa cierta tendencia estacional en ambas variables en la serie en estudio, la que es más notoria en los años 2013 y 2014 (Gráfico N°17).

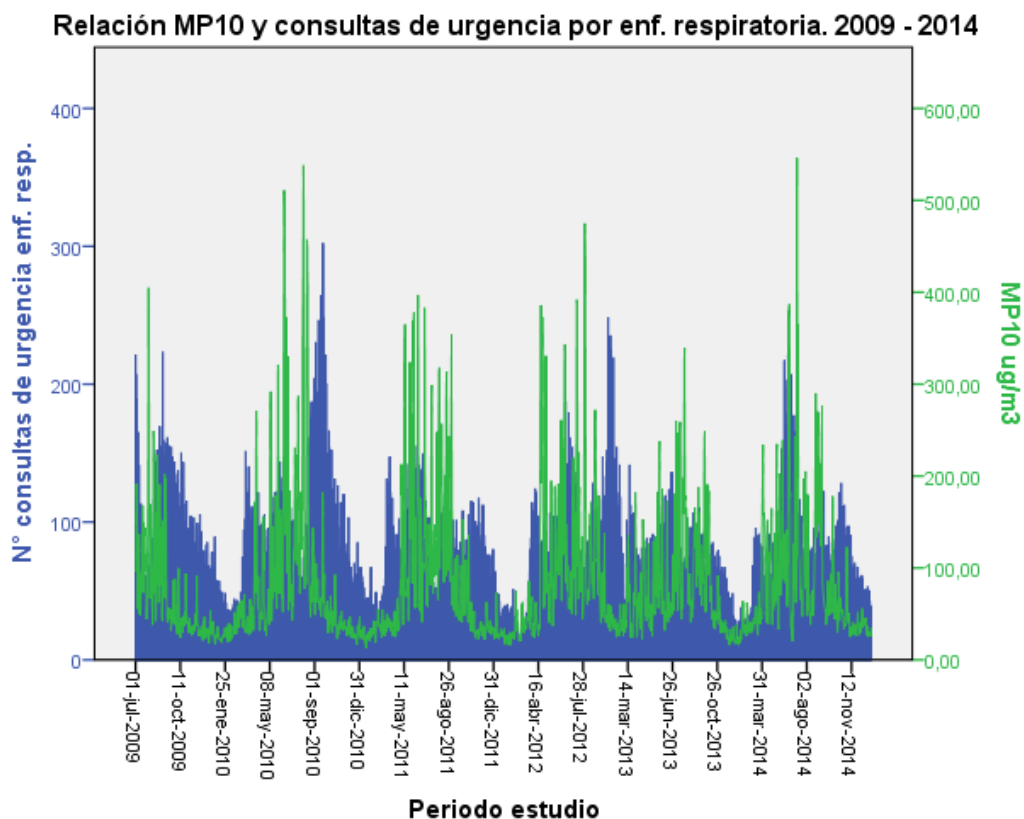


Gráfico N°17. MP10 y consultas de urgencia por enf. Resp. Coyhaique 2009 – 2014.

Para el caso de las consultas de urgencia por enfermedad cardiovascular, no se observa relación estacional entre las variables (Gráfico N°18). Lo mismo ocurre para las hospitalizaciones y muerte por esta causa, lo que se puede explicar por el número limitado de casos diarios.

En cuanto a los ingresos hospitalarios por enfermedad respiratoria, igualmente se aprecia una tendencia estacional en los meses fríos para ambas variables (gráfico N°19).

Relación MP10 y consultas de urgencia por enf. cardiovascular. 2009 - 2014

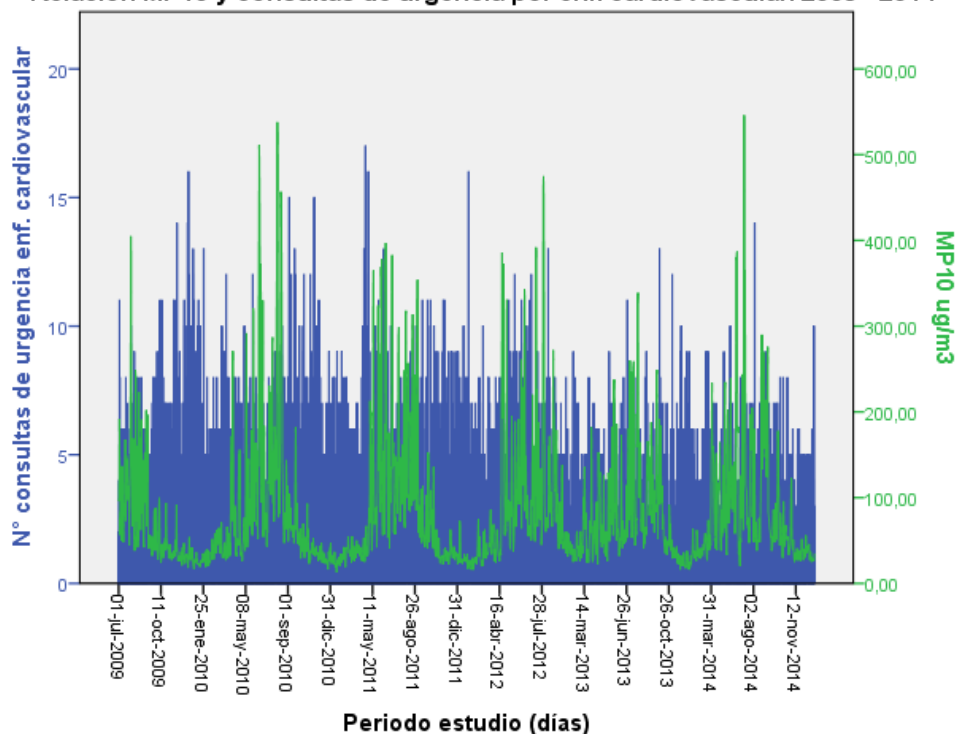


Gráfico N°18. MP10 y consultas de urgencia por enf. cardiovascular. Coyhaique 2009 – 2014.

Relación MP10 e ingresos hospitalarios por enfermedad respiratoria. 2009 - 2014

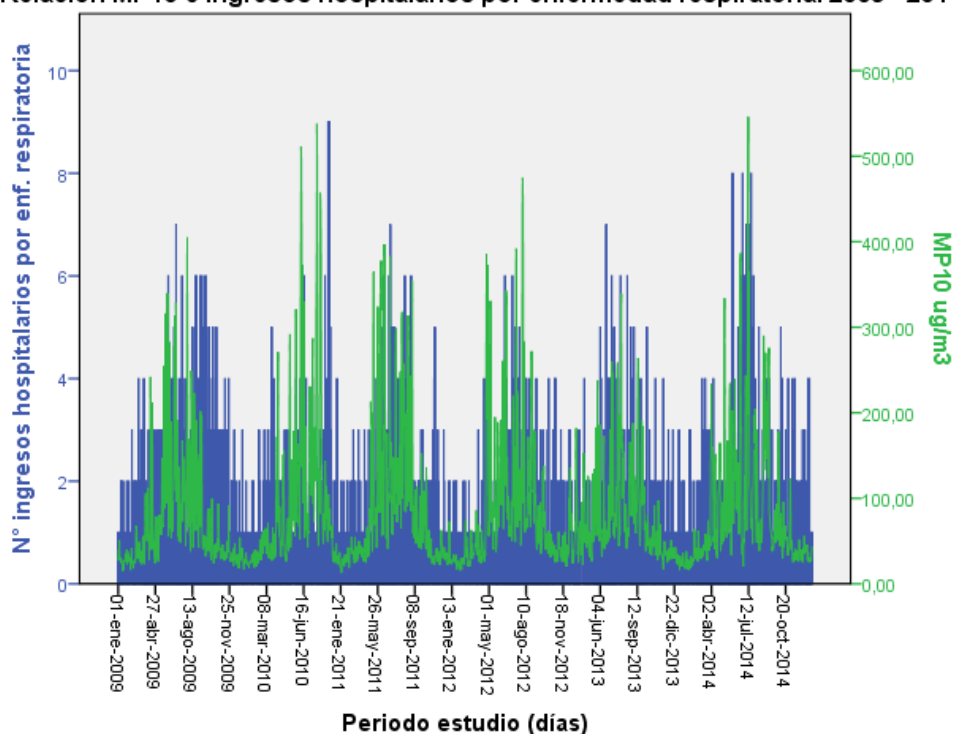


Gráfico N°19. MP10 e ingresos hospitalarios por enf. Resp. Coyhaique 2009 – 2014.

6. Asociación de MP10 y variables climatológicas

Al relacionar en forma descriptiva el MP10 y variables climatológicas, se observa la asociación de bajas temperaturas, escasez de viento y mayor humedad en los meses con los mayores niveles de contaminación en la ciudad de Coyhaique (Figura N°23 y 24).

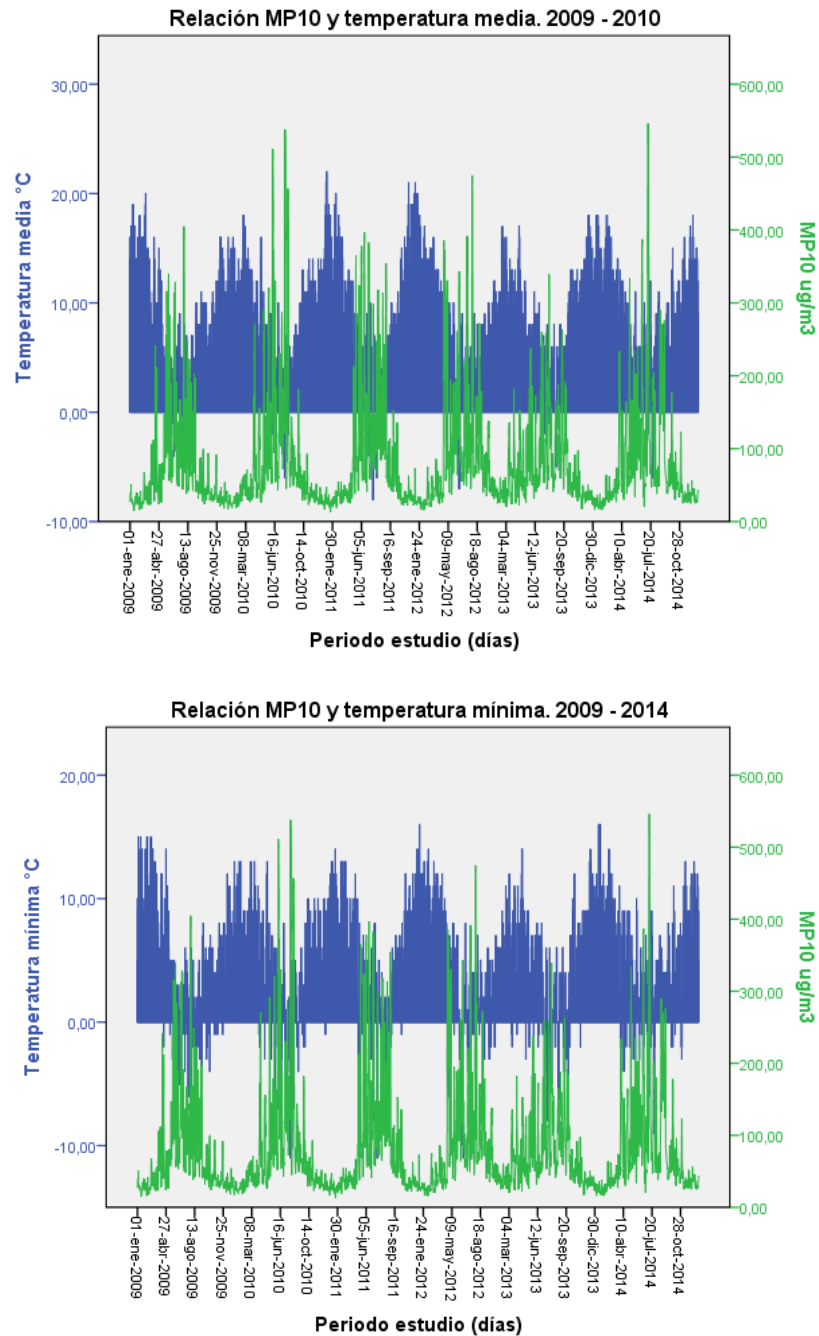


Figura N°23. Temperatura media y mínima serie en estudio. Coyhaique 2009 - 2014

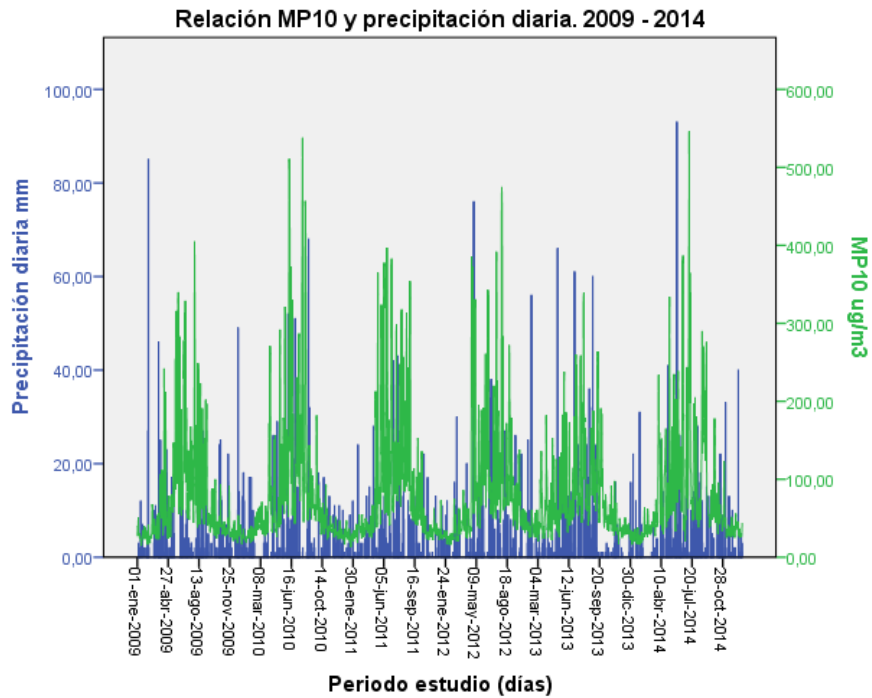
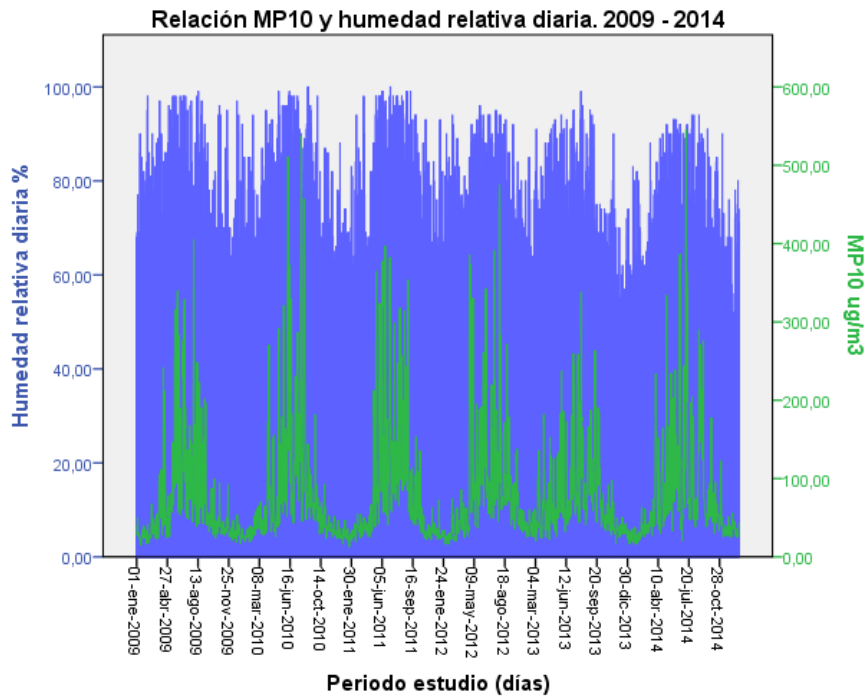


Figura N°24. Variables climatológicas serie de estudio. Coyhaique 2009 - 2014

7. Asociación de MP10 y variables independientes: virus Influenza y VSR

Al examinar la relación en forma descriptiva de MP10 y los agentes patógenos circulantes responsables de enfermedades respiratorias, se aprecia cierta tendencia estacional al incremento en los meses fríos. Destaca la circulación desfasada de virus Influenza en los años 2010 y 2013 (Gráfico N°20).

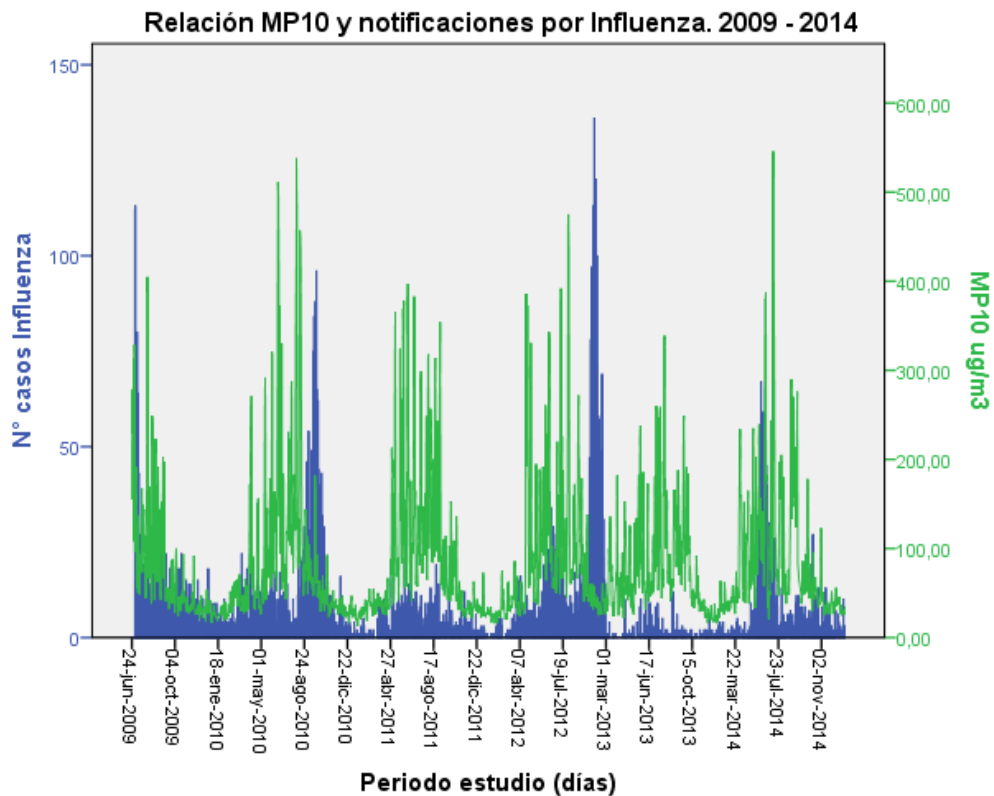


Gráfico N°20. MP10 y notificación por Influenza. Coyhaique 2009 – 2014.

Para el caso de VSR, existe mayor asociación en el incremento de ambas variables en los meses fríos, observándose cierto desfase de VSR para los años 2009 y 2010 (Gráfico N°21).

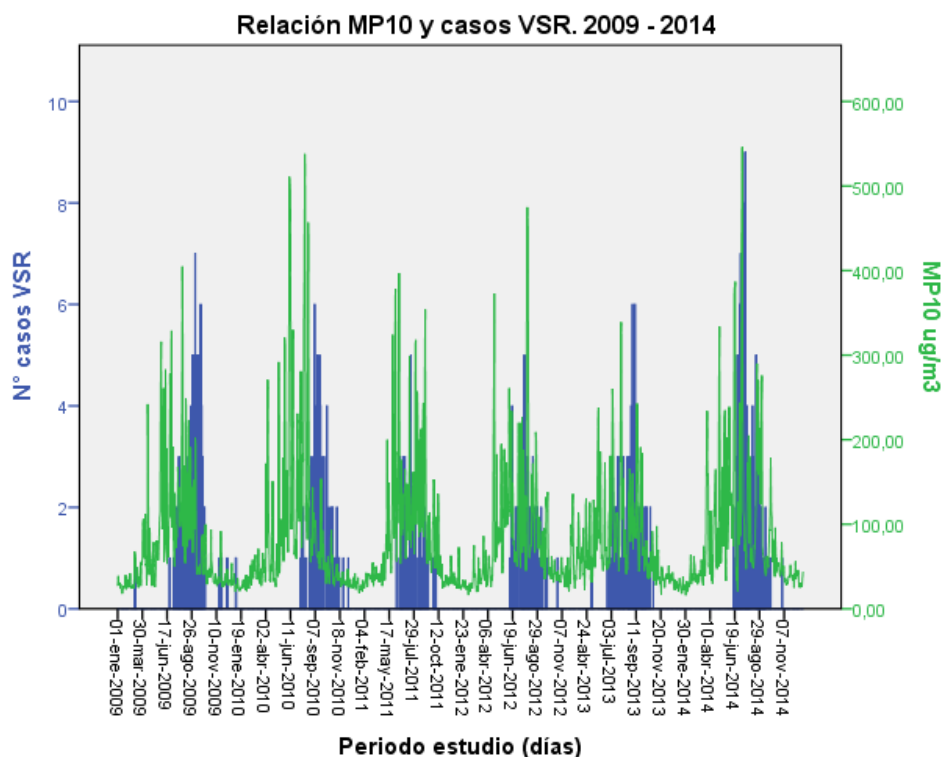


Gráfico N°21. MP10 y notificación por VSR. Coyhaique 2009 – 2014.

8. Estimación de las tasas log-relativas de morbilidad (consultas e ingresos hospitalarios) y mortalidad asociadas al aumento de MP₁₀, mediante el uso de modelos aditivos generalizados.

Desde la década de los ochenta se han llevado a cabo numerosos estudios de series de tiempo que han encontrado asociaciones positivas entre incrementos de las concentraciones de material particulado y aumentos de corto plazo en la morbilidad y mortalidad²⁵. En este tipo de estudios se trata usualmente de modelar la relación entre una variable resultado de salud (e.g. la mortalidad) y una variable de exposición (e.g. material particulado), en presencia de fuertes factores confusores (e.g. variables climáticas, demográficas, estacionales, etc.) que afectan de manera importante la variable de salud de interés²⁷.

Los datos de morbilidad y mortalidad son por su naturaleza conteos, y por tanto se requiere de métodos estadísticos especializados para tratar con este tipo de variables. Cuando se estudian series de conteos, el modelo más usado es el log-lineal de Poisson. En éste, la variable resultado Y en cada tiempo t , esto es Y_t , tiene una distribución de Poisson con

esperanza $E[Y_t] = \mu_t$, donde el logaritmo de ésta ($\log(\mu_t)$) es un predictor lineal. Éste predictor depende de términos relacionados con la exposición de interés y de factores confusores.

Un marco metodológico interesante para modelar el predictor lineal corresponde a los modelos semiparamétricos, los cuales combinan las ventajas de los modelos paramétricos y no paramétricos. Estos modelos permiten la inclusión de términos paramétricos para la exposición de interés y términos no paramétricos para otros predictores. Un tipo específico de modelo semiparamétrico es el modelo aditivo generalizado o GAM (por sus siglas en inglés), el cual entrega gran flexibilidad al permitir la inclusión de términos no lineales sin incurrir en las complicaciones técnicas que afectan a otros tipos de modelos de este tipo²⁵.

A continuación emplearemos un modelo de la forma:

$$\log(\mu_t) = \beta MP_{t-l} + \text{confusores}$$

donde:

- $\log(\mu_t)$ es el logaritmo del número esperado de casos registrados el día t .
- MP corresponde al promedio diario de material particulado MP_{10} , medido con un rezago o lag de l días antes del día t .
- β es el parámetro a determinar y representa la tasa log-relativa de morbilidad o mortalidad asociada a un incremento unitario en el material particulado MP_{10} con un lag de l días con respecto al día t .

El valor β se interpreta como sigue: el aumento de 1 ug/m^3 de MP_{10} aumenta el valor esperado del número de casos en $100(e^\beta - 1)\%$.

Los confusores corresponderán en nuestro modelo a funciones suaves no paramétricas de la temperatura media diaria y la humedad relativa del aire media diaria. Estas variables representan predictores que varían de manera similar a la contaminación del aire y morbilidad y la mortalidad, por lo tanto deben ser incluidos en el modelo para no atribuir incorrectamente cambios de la variable respuesta que no se deben a la contaminación. El modelo incluye

además una función suave del tiempo, la cual actúa como un filtro sobre la exposición y respuesta, removiendo variaciones de largo plazo de la mortalidad y las debidas a factores estacionales²⁷.

Siguiendo el trabajo de Daniels *et al*²⁴, ajustamos el modelo:

$$\mu_t = \beta MP_{t-l} + S(t, \lambda_1) + S(\text{temp}_l, \lambda_2) + S(\text{temp}_{1-3}, \lambda_2) + S(h_l, \lambda_3) + S(h_{1-3}, \lambda_3) + \gamma \text{fds}$$

donde λ_1 , λ_2 , y λ_3 corresponden a los grados de libertad de la función correspondiente; temp_l es la temperatura media diaria con un rezago de l días; temp_{1-3} es el promedio de las temperaturas medias diarias de los 3 días anteriores al día $t-l$; h_l es la humedad relativa promedio del aire con un rezago de l días; h_{1-3} es el promedio de las humedades relativas medias diarias de los 3 días anteriores al día $t-l$ y fds es una variable dicotómica que indica si el día t es sábado o domingo.

El valor de β que deseamos estimar dependerá fuertemente del valor λ_1 que escojamos. Su determinación se realizará mediante el método de validación cruzada generalizada²⁶, el cual nos entrega el número óptimo de grados de libertad que predicen la serie de MP10. El valor óptimo obtenido mediante este método es de aproximadamente 30 (alrededor de 5 grados de libertad por año considerado). Los valores para λ_2 y λ_3 corresponderá a 6 y 3, respectivamente, y sus valores se justifican en el estudio de Daniels MJ²⁴.

A partir de los valores estimados del parámetro β para lags entre 0 y 8 días podemos determinar las variaciones porcentuales en la morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad debido a aumentos de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀, con sus respectivos errores estándar.

Análisis GAM de morbilidad respiratoria y cardiovascular. Coyhaique 2009 – 2014.

**Tabla N°17. Variaciones porcentuales en las variables resultado de salud:
consultas de urgencia para distintos rezagos de MP₁₀ ug/m³**

| | Morbilidad respiratoria | IC 95% | Morbilidad cardiovascular | IC 95% |
|-------------|--|-----------------------|--|-----------------------|
| | % / 100ug/m ³ (Error estándar) | [mínimo-máximo] | % / 100ug/m ³ (Error estándar) | [mínimo-máximo] |
| Lag0 | 1,02 (0,0001656) | [-2,23 / 4,27] | 2,53 (0,000265) | [-2,67 / 7,74] |
| Lag1 | -0,09 (0,0001627) | [-3,28 / 3,10] | 4,56 (0,000262) | [-0,56 / 9,70] |
| Lag2 | -0,70 (0,0001666) | [-3,96 / 2,57] | 1,06 (0,000266) | [-4,15 / 6,27] |
| Lag3 | -0,35 (0,0001701) | [-3,68 / 2,99] | -1,05 (0,000273) | [-6,40 / 4,30] |
| Lag4 | 1,00 (0,0001720) | [-2,38 / 4,37] | 2,34 (0,000273) | [-3,01 / 7,68] |
| Lag5 | 0,98 (0,0001664) | [-2,28 / 4,25] | 1,46 (0,000263) | [-3,70 / 6,61] |
| Lag6 | 1,06 (0,0001620) | [-2,11 / 4,24] | 1,08 (0,000259) | [-4,01 / 6,16] |
| Lag7 | 0,63 (0,0001597) | [2,50 / 3,76] | -3,35 (0,000256) | [-8,36 / 1,67] |
| Lag8 | -0,04 (0,0001602) | [-3,18 / 3,10] | 0,22 (0,000258) | [-4,84 / 5,28] |

A partir de los datos de la tabla N°17 podemos graficar los porcentajes con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

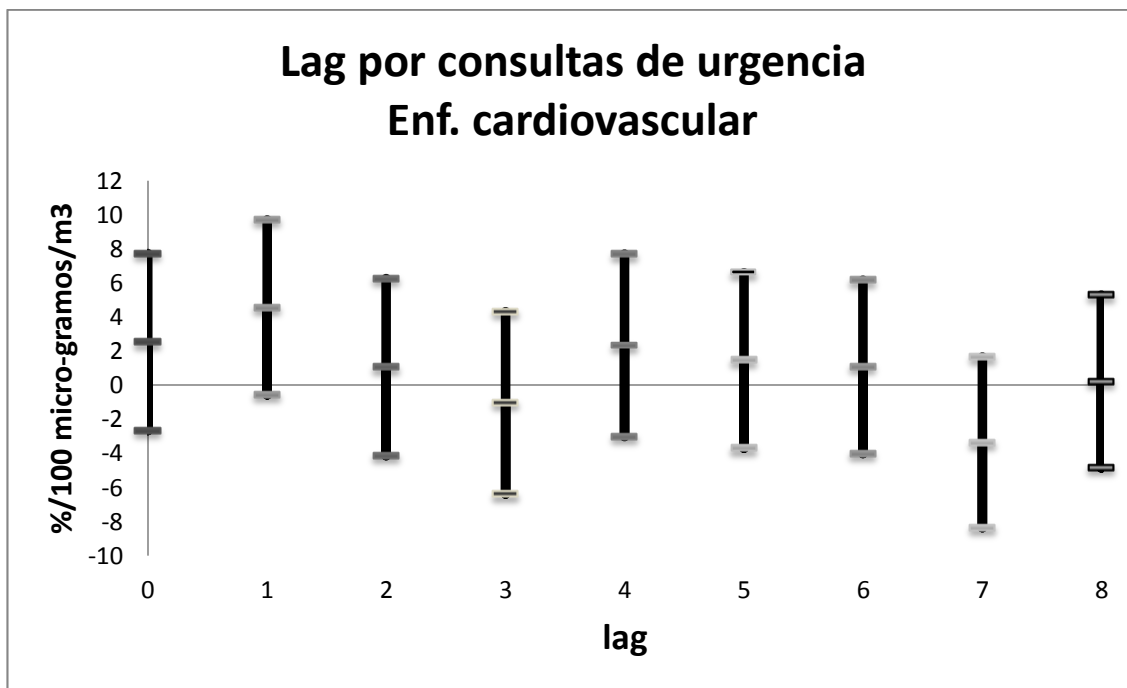
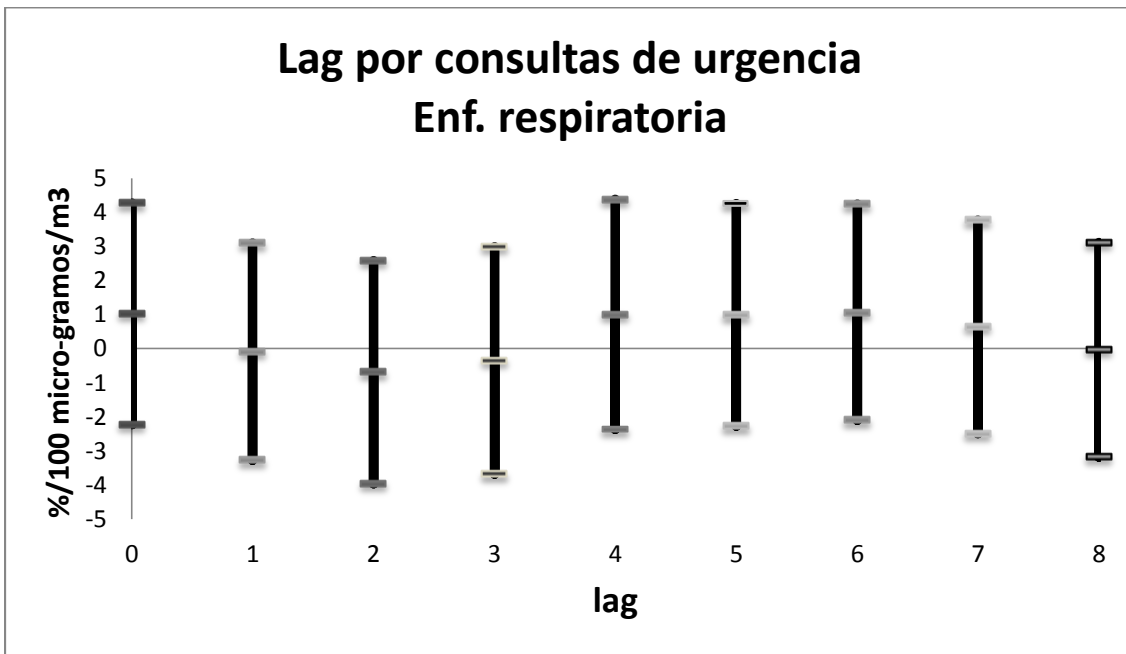


Figura N°25. Modelos lag de asociación de variable exposición y variables respuesta: morbilidad.

Estos resultados podrían interpretarse como un aumento de un 1% en las consultas de urgencia por enfermedad respiratoria por cada 100 ug/m³ de MP10 con un rezago de 4 días, sin embargo como el IC al 95% incluye al valor cero, esta asociación no puede establecerse con certeza. Lo mismo ocurre para las consultas de urgencia por enfermedad cardiovascular, donde se observa un incremento de un 4,56% por cada 100 ug/m³ de MP10 con rezago de 1 día.

**Análisis GAM de ingresos hospitalarios por enfermedad respiratoria y cardiovascular.
Coyhaique 2009 – 2014.**

**Tabla N°18. Variaciones porcentuales en las variables resultado de salud:
ingresos hospitalarios para distintos rezagos de MP₁₀ ug/m³**

| | Ingresos hosp Enf. respiratoria | IC 95% | Ingresos hosp Enf. cardiovascular | IC 95% |
|-------------|--|------------------------|--|------------------------|
| | % / 100ug/m ³ (Error estándar) | [mínimo-máximo] | % / 100ug/m ³ (Error estándar) | [mínimo-máximo] |
| Lag0 | 0,40 (0,0005273) | [-9,94 / 10,74] | 14,58 (0,000845) | [-1,99 / 31,18] |
| Lag1 | 0,71 (0,0005299) | [-9,68 / 11,10] | 5,87 (0,000844) | [-10,68 / 22,43] |
| Lag2 | 0,50 (0,0005275) | [-9,84 / 10,84] | 1,96 (0,000843) | [-14,55 / 18,50] |
| Lag3 | 3,91 (0,0005304) | [-6,48 / 14,32] | 2,43 (0,000851) | [-14,24 / 19,12] |
| Lag4 | -0,83 (0,0005418) | [-11,45 / 9,79] | -2,32 (0,000841) | [-18,79 / 14,18] |
| Lag5 | 0,56 (0,0005316) | [-9,85 / 10,99] | 1,05 (0,000849) | [-15,59 / 17,71] |
| Lag6 | 3,52 (0,0005243) | [-6,75 / 13,81] | -9,50 (0,000857) | [-26,27 / 7,30] |
| Lag7 | 6,92 (0,0005371) | [-3,61 / 17,46] | 2,54 (0,000846) | [-14,03 / 19,14] |
| Lag8 | 4,45 (0,0008292) | [-5,89 / 14,80] | 0,74 (0,000829) | [-15,50 / 17,00] |

A partir de los datos de la tabla N°18 podemos graficar los porcentajes con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

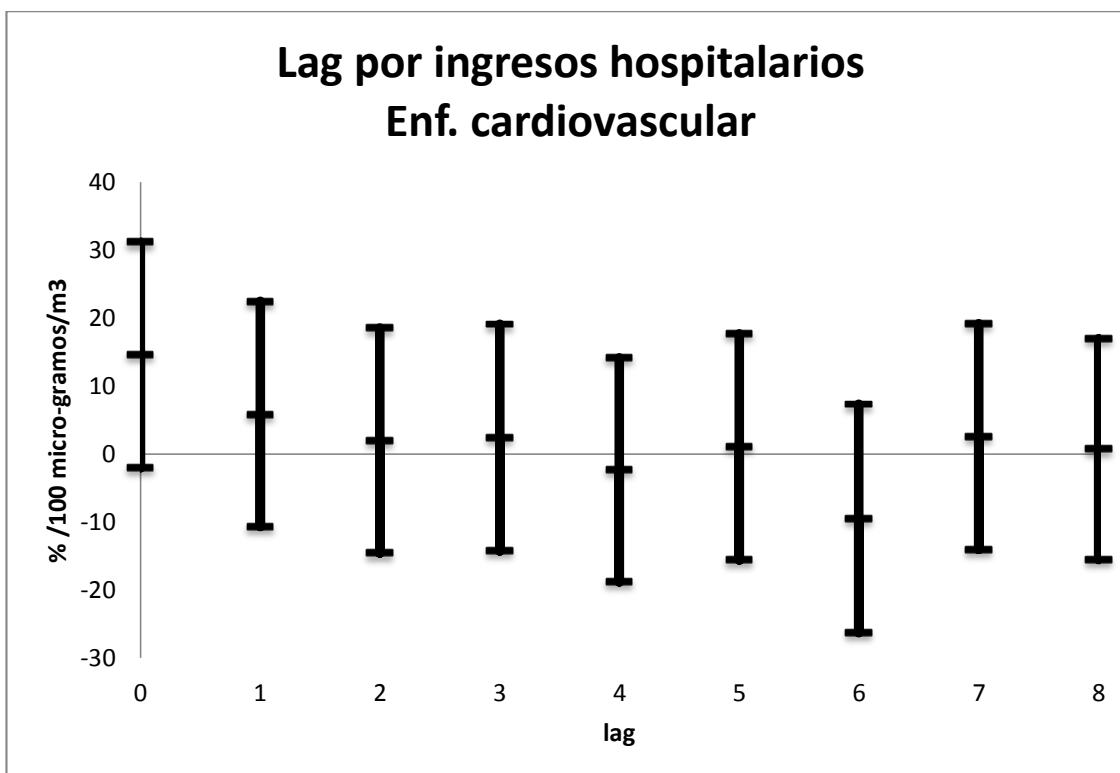
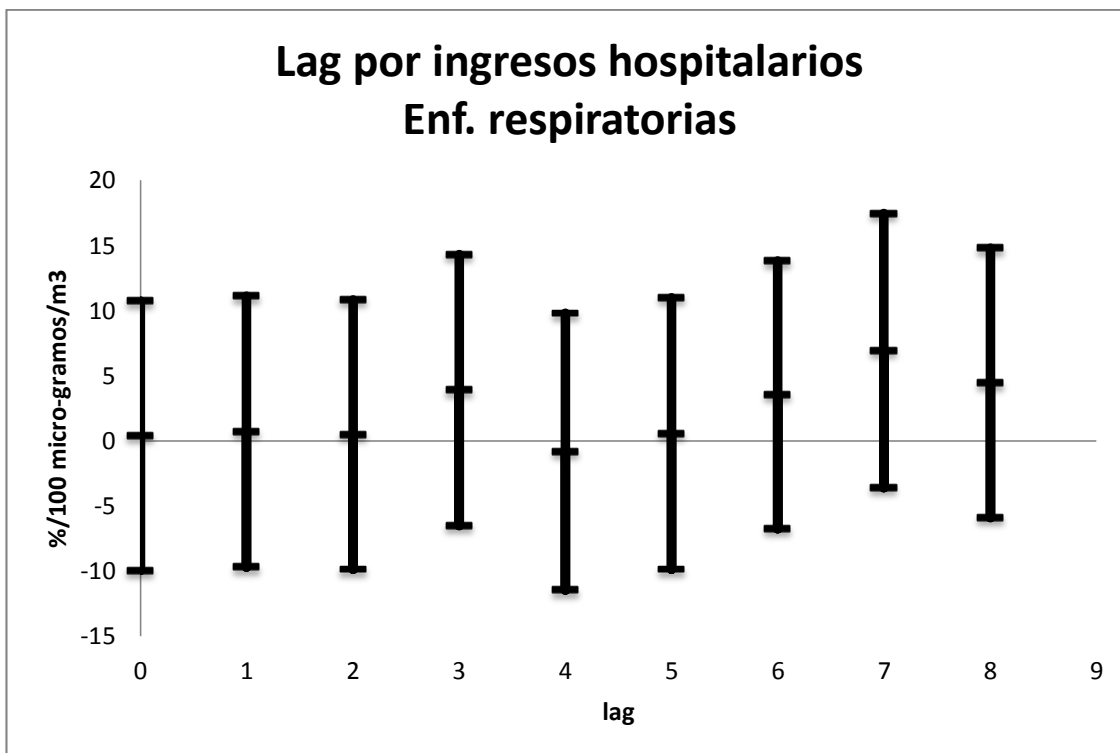


Figura N°26. Modelos lag de asociación de variable exposición y variables respuesta: ingresos hospitalarios.

Estos resultados podrían interpretarse como un aumento de un 6,92% en los ingresos hospitalarios por enfermedad respiratoria por cada 100 ug/m³ de MP10 con un rezago de 7 días, sin embargo como el IC al 95% incluye al valor cero, esta asociación no puede establecerse con certeza. Lo mismo ocurre para las hospitalizaciones por enfermedad cardiovascular, donde se observa un incremento de un 14,58% por cada 100 ug/m³ de MP10 en el día 0.

Dado que la población de Coyhaique es relativamente pequeña (57.535 hb), lo que reduce el poder estadístico del estudio, y que los análisis estadísticos incluyeron en todos los lag al cero con intervalos de confianza de 95%, se decide aplicar al modelo el conteo consolidado de datos de enfermedad respiratoria y cardiovascular, considerando que en el informe de la OMS del 2012 y diversos estudios señalan que los efectos de la contaminación del aire tiene impactos significativos en la morbilidad respiratoria y cardiovascular simultáneamente, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla N°19. Variaciones porcentuales en las variables resultado de salud: por enfermedad respiratoria y cardiovascular para distintos rezagos de MP₁₀ ug/m³

| | Morbilidad total Enf. resp y cardiovascular | IC 95% | Ingresos totales | IC 95% | Mortalidad total |
|-------------|--|-----------------------|--|------------------------|--|
| | % / 100 ug/m ³ (Error estándar) | [mínimo- máximo] | % / 100 ug/m ³ (Error estándar) | [mínimo- máximo] | % / 100 ug/m ³ (Error estándar) |
| Lag0 | 1,09 (0.00015699) | [-1,99 / 4,17] | 3,02 (0.00043867) | [-5,58 / 11,62] | 3,29 (0.001029) |
| Lag1 | 0,13 (0.00015432) | [-2,89 / 3,16] | 1,65 (0.0004380) | [-6,93 / 10,24] | 4,71 (0.0010292) |
| Lag2 | -0,62 (0.00015781) | [-3,71 / 2,47] | 0,82 (0.00043624) | [-7,73 / 9,37] | 1,70 (0.0010149) |
| Lag3 | -0,40 (0.00016116) | [-3,56 / 2,76] | 3,71 (0.00044138) | [-4,94 / 12,37] | -2,72 (0.001020) |
| Lag4 | 1,04 (0.00016284) | [-2,15 / 4,23] | -1,05 (0.00044681) | [-9,80 / 7,71] | 7,64 (0.00099861) |
| Lag5 | 0,99 (0.00015763) | [-2,10 / 4,08] | 0,60 (0.00044203) | [-8,06 / 9,27] | 15,74 (0.0010153) |
| Lag6 | 1,05 (0.0001534) | [-1,96 / 4,06] | 1,30 (0.00043716) | [-7,27 / 9,87] | 0,30 (0.00098490) |
| Lag7 | 0,43 (0.00015147) | [-2,54 / 3,40] | 6,08 (0.00044275) | [-2,60 / 14,77] | 1,32 (0.00098193) |
| Lag8 | -0,03 (0.00015192) | [-3,01 / 2,95] | 3,85 (0.00043957) | [-4,76 / 12,47] | -1,46 (0.00099299) |

A partir de los datos de la tabla N°19 podemos graficar los porcentajes con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

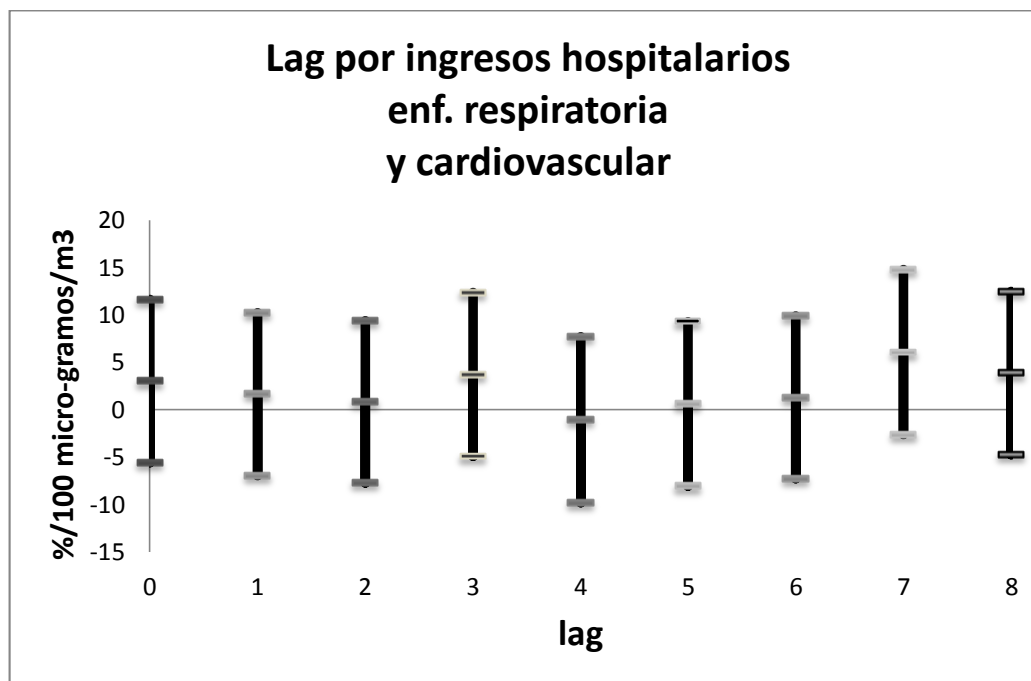
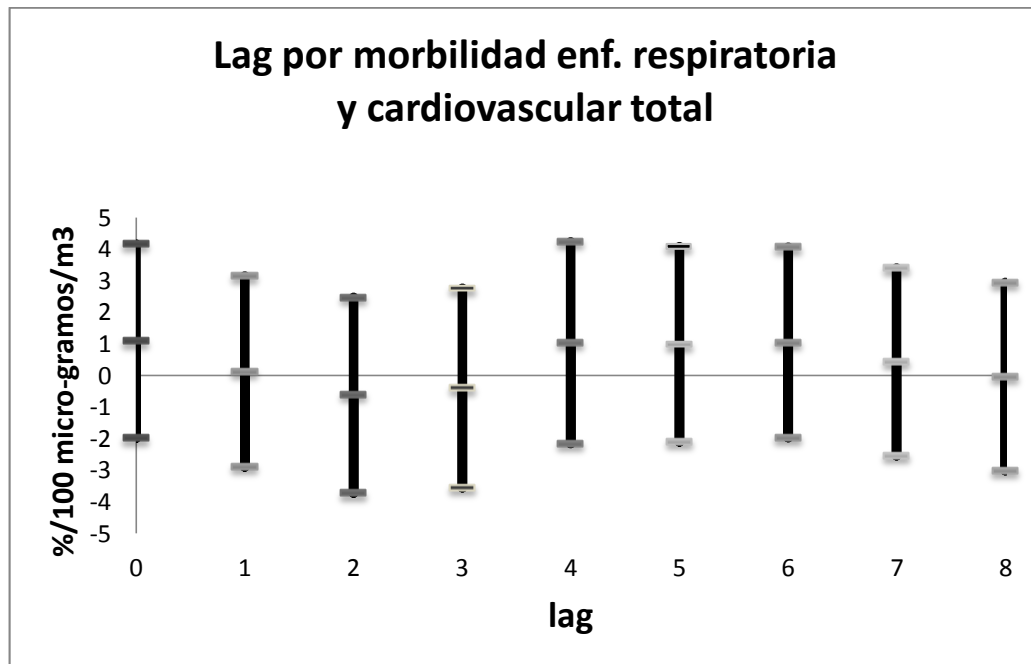


Figura N°27 Modelos lag de asociación de variable exposición y variables respuesta: morbilidad e ingresos hospitalarios.

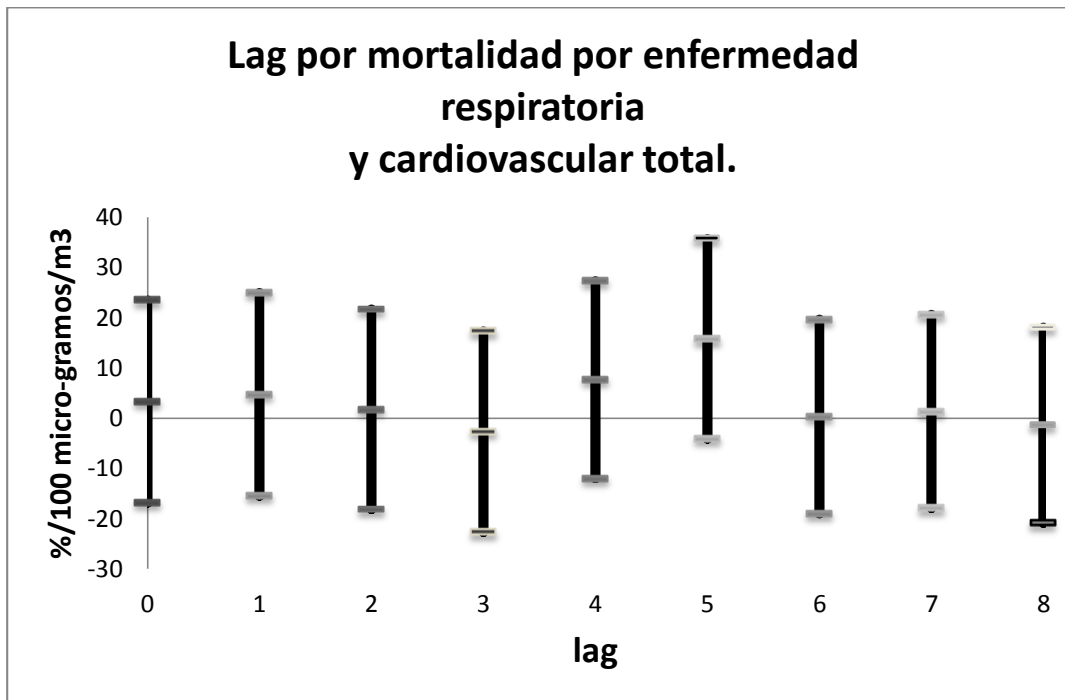


Figura N°28 Modelos lag de asociación de variable exposición y variables respuesta: mortalidad.

Se obtuvo una asociación positiva para los efectos promediados entre los rezagos, para las tres variables resultado de salud. Esto sugeriría la existencia de una asociación entre la contaminación por MP10 y el impacto en la salud de la población de Coyhaique. Sin embargo para las tres variables estudiadas: consultas de urgencia, hospitalizaciones y muertes, los intervalos de confianza incluyeron el valor cero, para todos los rezagos, lo cual no permite afirmar con un alto grado de seguridad en la existencia de esta asociación. En el caso de la mortalidad no obstante, se obtuvo un valor bastante alto cuando se consideró un lag de 5 días con un 15,7% de incremento por cada 100 ug/m³ de MP10, para el caso de los ingresos hospitalarios cuando se consideran 7 días de rezago se produce un aumento de 6,08%. La asociación más débil se observó en el caso de la morbilidad total por enfermedad respiratoria y cardiovascular con un rezago al 4º día, obteniéndose un aumento de 1,04%.

Los resultados obtenidos con los GAM aplicados son referenciales, puesto que dependen en un alto grado de los supuestos y características de los modelos usados, los cuales fueron implementados tomando en cuenta mayormente, estudios aplicados a ciudades estadounidenses.

Como referencia de estudios similares en Chile, se presentan los de Ostro (1996), que concluyeron un incremento de un 4% en el riesgo de muertes totales asociadas con niveles promedio de 115 ug/m³ de MP10 en Santiago. El mismo autor encontró que las atenciones por enfermedades respiratorias bajas en niños menores de 15 años en Santiago (1999), se incrementaban entre un 4 y 12% por el aumento de 50 Ug/m³ de MP10. Por su parte Ilabaca (1999), concluyó que incrementos de 45 ug/m³ de MP 2,5 significaban un aumento de 2,7% de las atenciones por enfermedad respiratoria y un 6,7% de los casos de neumonía en niños menores de 15 años con tres días de rezago atendidos en el Hospital Calvo Mackenna. Un estudio epidemiológico realizado por Sanhueza en Temuco (2006) determinó que un incremento de 100 ug/m³ de MP10 fue relacionado con un riesgo relativo de 1,24 de muertes por causa respiratorias y 1,18 por cardiovasculares, siendo la contaminación de esta ciudad muy parecida a Coyhaique. Finalmente Muñoz F. y cols concluyeron en un estudio realizado en el sector oeste de Santiago (2009), que por cada hora de exposición a concentraciones superiores a 150 ug/m³ de MP10 se genera un aumento de 3% en las consultas de urgencia por bronquitis aguda en lactantes menores de 1 año con un rezago de 4 días.

VII. Discusión

Este estudio tuvo como objetivo conocer el impacto a corto plazo de la contaminación atmosférica por material particulado respirable MP10 sobre la morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y algunos cánceres en la población de la ciudad de Coyhaique entre el periodo 1° enero de 2009 al 31 de diciembre de 2014.

En este contexto se decidió llevar a cabo un estudio ecológico de serie temporal que permitiera establecer si la variación en la incidencia de las consultas de urgencia, ingresos hospitalarios y muertes por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres en la población de Coyhaique, está asociada a la variación de los niveles de MP10 provenientes de la combustión de leña en la ciudad de Coyhaique.

Perfil de indicadores sanitarios:

Al explorar el comportamiento de las consultas de urgencia en el Hospital Regional de Coyhaique, la causa respiratoria corresponde a la demanda más importante, llegando en los meses de invierno al 65% de las consultas totales, presentando sistemáticamente una estacionalidad en los meses fríos de mayo a septiembre. Sin embargo, en los años 2010 y 2012, la mayor demanda por enfermedad respiratoria se presentó en los meses de octubre y noviembre, debido a la circulación tardía de los agentes virales: VSR e Influenza. En cuanto al grupo de edad que presenta la mayor proporción de consultas en la serie estudiada, corresponde a los adultos (38,04%), seguido de los niños de 1 a 4 años (25,2%).

A su vez las consultas de urgencia por enfermedad cardiovascular tienen un nivel de demanda muy inferior, del orden del 2% y su distribución es homogénea durante el año. El grupo etáreo que tiene la mayor proporción de consultas corresponde a los adultos (58,1%), seguido de los adultos mayores (39,7%).

Respecto a los ingresos hospitalarios por causa respiratoria, se observa una tendencia estacional en los meses fríos, siendo el grupo de menores de 15 años el que tiene el mayor peso relativo (61%) en la serie estudiada. En cuanto a los ingresos por enfermedad

cardiovascular, no se observa estacionalidad en su distribución temporal y la mayor importancia relativa la tienen los adultos mayores (52,9%), seguido de los adultos (46%).

Al examinar lo que ocurre con la mortalidad por causa respiratoria, se observa cierta tendencia estacional con fallecimientos en los meses fríos y la mayor proporción de muertes se produce en adultos mayores (88,9%). Para las muertes por causa cardiovascular no hay estacionalidad, siendo igualmente el grupo con la mayor importancia relativa (73,9%) los adultos mayores. Respecto a las muertes ocurridas de los cánceres seleccionados (de pulmón y leucemias), se produce un escaso número de casos por año, en promedio 9 muertes por año, sin distribución estacional.

Comportamiento de material particulado menor a 10 micras:

En la serie estudiada, se observa claramente el comportamiento estacional de los niveles de MP10 sobre la norma primaria, observándose sistemáticamente las superaciones entre los meses de abril a septiembre, que corresponde a los meses fríos en donde por las bajas temperaturas, la población requiere calefaccionarse, y donde simultáneamente, se produce la mayor demanda en las consultas de urgencia, hospitalizaciones y muerte por enfermedad respiratoria.

De acuerdo al informe preparado por la autoridad sanitaria para declarar a Coyhaique como zona saturada en el 2012, el MP10 superó en tres años consecutivos la norma primaria (2009, 2010 y 2011), por lo que fue necesario formular el Plan de Descontaminación que se encuentra en la fase final para su aprobación y aplicación a partir del año 2016.

Los niveles de MP10 y MP 2,5 superan varios días en cada año la norma primaria en la ciudad de Coyhaique, lo que obligó al Ministerio de Salud a implementar desde el 2013 declaraciones de alerta sanitaria que permitan adoptar medidas de prevención y control en la población con el objetivo de minimizar los efectos de esta noxa ambiental, mientras se apueba y entra en vigencia el PDA. Así durante el 2013 se presentaron 8 pre-emergencias y 1 emergencia para MP10, y en el 2014, 8 pre-emergencias y 7 emergencias, respectivamente.

Comportamiento de variables climatológicas:

Claramente se observa una relación temporal entre altos niveles de MP10, las bajas temperaturas propias de los meses fríos y la escasez de viento en un periodo que se extiende de abril a septiembre de cada año. Por otra parte, debido a las características de clima continental trasandino con degeneración esteparia de Coyhaique, con una notable disminución de precipitaciones en relación a su ubicación latitudinal, lo que se explica por el rol de la barrera climática que juega el cordón de los Andes Patagónicos, hace que existan condiciones favorables para la persistencia de la contaminación los días posteriores a los peaks de MP10 sobre la norma primaria.

Es necesario mencionar que la topografía de Coyhaique, ubicada en una cuenca rodeada por cerros, sumado al fenómeno de inversión térmica que se produce en invierno, dificulta la dispersión vertical de los contaminantes, produciéndose incrementos importantes de material particulado menor a 10 micras a baja altura en los meses más fríos (junio, julio y agosto).

Comportamiento de agentes infecciosos en vigilancia epidemiológica (virus Influenza y VSR):

En la serie de tiempo estudiada se observa una relación entre incremento de consultas por enfermedad respiratoria, ingresos hospitalarios y circulación de agentes patógenos en vigilancia, especialmente en los grupos de población más vulnerables, a saber niños menores de 5 años y adultos mayores, especialmente en los meses más fríos. Esta asociación se observa claramente en los años 2011, 2012 y 2014, donde simultáneamente se producen además, los meses con aumento de MP10 en el aire. A diferencia de los años 2010 y 2013, donde la mayor demanda de enfermedad respiratoria se desplazó a los meses de septiembre y octubre por la circulación tardía de virus Influenza y VSR, y donde el MP10 alcanza niveles bajo la norma primaria. Esta situación plantea la necesidad de realizar estudios más complejos para determinar el impacto del MP10 en la morbilidad y mortalidad por causa respiratoria y controlar factores confundentes.

Estimación de las tasas log-relativas de morbilidad y mortalidad asociadas al aumento de MP₁₀, mediante el uso de modelos aditivos generalizados.

Al analizar el retraso de las variables respuesta mediante una función polinomial distributiva (pdl), incluida en un modelo lineal generalizado (GLM-pdl), y la estructura del efecto de la exposición, mediante modelos aditivos generalizados (GAM), se obtuvo una asociación positiva para los efectos promediados entre los rezagos, para las tres variables resultado de salud. Esto sugeriría la existencia de una asociación entre la contaminación por MP₁₀ y el impacto en la salud de la población de Coyhaique. Sin embargo para las tres variables estudiadas: consultas de urgencia, hospitalizaciones y muertes, los intervalos de confianza incluyeron el valor cero, para todos los rezagos, lo cual no permite afirmar con un alto grado de seguridad en la existencia de esta asociación. Para la mortalidad por enfermedad respiratoria y cardiovascular, se obtuvo un valor alto cuando se consideró un lag de 5 días con un 15,7% de incremento por cada 100 ug/m³ de MP₁₀. Para el caso de los ingresos hospitalarios por ambas causas, cuando se consideró 7 días de rezago se produce un aumento de 6,08%. La asociación más débil se observó en el caso de la morbilidad total por enfermedad respiratoria y cardiovascular con un rezago al 4º día, obteniéndose un aumento de 1,04% por cada 100 ug/m³ de MP₁₀.

Conclusión

Este estudio permite acercarnos a conocer el comportamiento de la contaminación del aire por MP₁₀ y su impacto de corto plazo en la salud de la población de Coyhaique, en el que se observa una tendencia estacional al incremento de MP₁₀ y las variables respuesta: consultas de urgencia, hospitalizaciones y fallecimientos por enfermedad respiratoria entre los meses de abril a septiembre, con excepción de los años 2010 y 2013, donde la mayor demanda asistencial estuvo desfasada hacia los meses de octubre y noviembre por la circulación tardía de virus Influenza y VSR en la serie estudiada. Aunque los modelos estadísticos aplicados no permiten establecer con certeza la asociación de material particulado y enfermedad y muerte por enfermedad respiratoria y cardiovascular, los resultados orientan a que se produciría un incremento de estas variables biomédicas en los meses fríos y que los grupos de edad extremos serían los más afectados.

Debido a las limitaciones del estudio, específicamente contar con una población expuesta de tamaño pequeño, considerar a la fracción MP10 como variable exposición, al no tener disponible el monitoreo de MP2,5 que se implementó a partir de marzo del 2013, plantea el desafío de mantener información continua de estos 2 parámetros para evaluar en series de tiempo más extensas el impacto en la salud de la población de Coyhaique.

Por otra parte, resulta de importancia mayor desarrollar otros estudios que permitan generar información de los niveles intradomiciliarios de la fracción 2,5 micras, debido al número importante de días al año en que se presentan episodios críticos (73 para el 2014 y 37 en el 2015). Además es relevante explorar las características químicas de la misma, de manera de identificar los componentes tóxicos de la partícula respirable fina producto de la combustión de leña, que es en un 99% la fuente de contaminación del aire para la ciudad de Coyhaique.

Esperamos contribuir con esta información a orientar las acciones de los tomadores de decisiones a nivel regional, de manera de avanzar en la disminución de la contaminación por leña y proteger a las poblaciones más vulnerables.

A la luz de los resultados de este estudio, se plantean algunas sugerencias:

- Explorar lo que ocurre a nivel intradomiciliario con el MP 2,5, debido a las condiciones deficientes en el aislamiento de una fracción importante de viviendas en la ciudad.
- Evaluar la instalación de nuevas estaciones de monitoreo que permitan conocer las concentraciones de MP 2,5 en distintos puntos de la ciudad por su topografía: plano y sector alto.
- En el corto plazo, resulta de importancia mayor optimizar la energía producida en los hogares, por lo tanto, sería aconsejable continuar fortaleciendo el componente de mejoramiento de la aislación térmica en las viviendas.
- Evaluar seriamente el cambio de la matriz energética para evitar la contaminación del aire por la combustión de la leña en el mediano y largo plazo, esto implica promover gradualmente el uso de otras fuentes de energía para cocinar y calefaccionar los hogares.

VIII. Referencias Bibliográficas

1. Informe de la Contaminación Atmosférica en el mundo, OMS 2012.
2. Instituto Nacional de Estadística (INE). Anuario Estadístico, 2011.
3. EnviroModeling Ltda.- Conama. Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique, 2008.
4. Sanhueza P. y cols. Impacto de la contaminación del aire por PM10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. Rev. Med Chile 2006; 134: 754-761.
5. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud. Declaración de Zona Saturada para la ciudad de Coyhaique. Resolución N°033 del 20 de agosto de 2012.
6. Pope C., Kanner R. Acute Effects of PM10 Pollution on Pulmonary Function of Smokers with Mild to Moderate Chronic obstructive Pulmonary Disease. Am Rev Respir Dis 1993;147:1336-40.
7. Ballester F., Tenías J.M., Pérez-Hoyos S. Efectos de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud: una Introducción. Rev esp Salud Pública 1999;73:109-121.
8. Naeher, L.P., et al., Woodsmoke health effects: a review. Inhal Toxicol, 2007. 19(1):p.67-106.
9. Diociaiuti, M., et al., The two PM (2.5) (fine) and PM (2.5-10) (coarse) fractions: evidence of different biological activity. Environ Res, 2001. 86(3):p.254-62.
10. Hong, Y.C., et al., *Metals in particulate pollutants affect peak expiratory flow of schoolchildren*. Environ Health Perspect, 2007. 115(3):p.430-4.
11. Zelikoff, J.T., et al., *The toxicology of inhaled woodsmoke*. J Toxicol Environ Health B Crit Rev, 2002. 5(3):p.269-82.
12. Guarnieri, M.J. et al., Effects of woodsmoke exposure on airway inflammation in rural Guatemalan women. PLoS One, 2014. 9(3):p.e88455.
13. Xu, X., et al., Case-crossover analysis of air pollution and cardiorespiratory hospitalizations: using routinely collected health and environmental data for tracking: science and data. J Public Health Manag Pract, 2008. 14(6):p.569-76.
14. Mott, J.A., et al., Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997, Southeast Asian forest fires. Int J Hyg Environ Health, 2005. 208 (1-2):p.75-85.
15. Morgenstern H. Ecologic Studies in Epidemiology: Concepts, Principles and Methods. Annu Rev Public Health 1995;16:61-81.
16. Schwartz, J., *The distributed lag between air pollution and daily deaths*. Epidemiology, 2000. 11(3):p.320-6.

17. Hastie T., *Generalized additive models.*, ed. W. Brooks/Cole. 1991, London.
18. Munoz, F. and M.S. Carvalho, [*Effect of exposure time to PM(10) on emergency admissions for acute bronchitis*]. *Cad Saude Publica*, 2009. 25(3):p.529-39.
19. Wood, S. and N. Augustin, *GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling*. *Ecol Modell* 2002. 157:p.157-77.
20. Gostin, L., *Ethical principles for the conduct of human subject research: population-based research and ethics*. *Law Med Health Care*, 1991. 19(3-4): p.191-201.
21. Adonis, M. y Gil, Lionel, *Toxicogenómica: una nueva disciplina para evaluar el riesgo de la contaminación ambiental*. *Revista Ambiente y Desarrollo* 2002. Vol. XVIII, N°2-3-4: p.49-54.
22. Borja-Aburto, V. *Estudios Ecológicos*. *Revista de Salud Pública de México / vol.42, no.6, noviembre-diciembre de 2000*.
23. Decreto N°20 (16/12/2013). *Norma Primaria de Calidad del Aire para material particulado respirable MP10*.
24. Daniels MJ, Dominici F, Samet JM, Zeger SL. *Estimating particulate matter-mortality dose-response curves and threshold levels: an analysis of daily time-series for the 20 largest US cities*. *Am J Epidemiol*. 2000;152: 397– 406.
25. Dominici F. *Time-series analysis of air pollution and mortality: a statistical review*. *Res Rep Health Eff Inst*. 2004:3–27.
26. C. Gu. *Smoothing Spline ANOVA Models*. Springer, New York, 2002
27. Peng D, Dominici F. 2008. *Statistical Methods for Environmental Epidemiology with R*. New York: Springer Science + Business Media, LLC.

IX. Anexo N°1



SERVICIO DE SALUD AYSÉN
DEL GRAL. CARLOS IBAÑEZ DEL CAMPO
COMITÉ ÉTICO CIENTÍFICO

Coyhaique, 13 de Julio 2015

Sr.
Marco Acuña Briones
Coyhaique

De nuestra consideración:

En reunión de Comité Ético-Científico del Servicio de Salud Aysén, el día Lunes, 13 de Julio de 2015, a las 16:00 horas, se revisó el "Estudio de Impacto de la Contaminación del aire por MP10 en la Morbi - Mortalidad por Enfermedad Respiratoria, Cardiovascular y Cáncer en la Población de Coyhaique, 200-2014".

Conforme a lo anterior, tengo el agrado de comunicar a usted que, revisado su Proyecto de Tesis Postgrado para optar al Grado de Magister en Salud Pública Escuela de Salud Pública Salvador Allende Universidad de Chile, se consideran resguardados los requisitos éticos.

Aprobando su Investigación.

Sin perjuicio de lo anterior, se enfatiza el resguardo de la identidad de las y los pacientes, en caso de hacer presentación pública, tanto en el ámbito laboral y/o académico de los resultados por las patologías declaradas como impacto de salud pública.

Se adjunta el compromiso y obligación de los Investigadores con respecto al Comité Ético Científico, según Reglamento del Servicio de Salud, para su conocimiento y cumplimiento en lo que corresponda.

Saluda atentamente a usted,

Dra. Rosa Valderrama Matus
Presidente del Comité Ético Científico
Servicio Salud Aysén

Anexo N°2

Distribución porcentual de consultas de urgencia por grupo de causa Hospital Coyhaique 2009 - 2014

| Año | Morbilidad respiratoria < 1 año | Morbilidad respiratoria 1 a 4 años | Morbilidad respiratoria 5 a 14 años | Morbilidad respiratoria 15 a 64 años | Morbilidad respiratoria 65 y más años | Total |
|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| 2009 | 2102 | 4506 | 3552 | 6951 | 806 | 17917 |
| 2010 | 2852 | 7753 | 7167 | 12094 | 1422 | 31288 |
| 2011 | 2748 | 6536 | 6540 | 10654 | 1216 | 27694 |
| 2012 | 1963 | 5766 | 5577 | 8976 | 1239 | 23521 |
| 2013 | 1748 | 5180 | 3693 | 6438 | 902 | 17961 |
| 2014 | 2165 | 5788 | 4798 | 8614 | 1478 | 22843 |
| TOTAL | 13578 | 35529 | 31327 | 53727 | 7063 | 141224 |
| % | 9,61 | 25,16 | 22,18 | 38,04 | 5,00 | |

| Año | Morbilidad Enf. CV < 1 año | Morbilidad Enf. CV 1 a 4 años | Morbilidad Enf. CV 5 a 14 años | Morbilidad Enf. CV 15 a 64 años | Morbilidad Enf. CV 65 y más años | Total |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------|
| 2009 | 8 | 4 | 7 | 586 | 407 | 1012 |
| 2010 | 11 | 19 | 29 | 1099 | 714 | 1872 |
| 2011 | 6 | 14 | 22 | 1201 | 791 | 2034 |
| 2012 | 4 | 7 | 10 | 889 | 607 | 1517 |
| 2013 | 1 | 1 | 13 | 539 | 408 | 962 |
| 2014 | 4 | 4 | 21 | 715 | 510 | 1254 |
| TOTAL | 34 | 49 | 102 | 5029 | 3437 | 8651 |
| % | 0,39 | 0,57 | 1,18 | 58,13 | 39,73 | |

Anexo N°3

Ingresos hospitalarios por Enfermedad Respiratoria, según grupo de edad Hospital Regional Coyhaique 2009 - 2014

| Año | < 15 años | % | 15 a 64 años | % | 65 y más | % | Total |
|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 2009 | 383 | 64,5 | 89 | 15,0 | 122 | 20,5 | 594 |
| 2010 | 196 | 58,9 | 61 | 18,3 | 76 | 22,8 | 333 |
| 2011 | 287 | 60,2 | 75 | 15,7 | 115 | 24,1 | 477 |
| 2012 | 227 | 55,8 | 65 | 16,0 | 115 | 28,3 | 407 |
| 2013 | 247 | 55,9 | 84 | 19,0 | 111 | 25,1 | 442 |
| 2014 | 372 | 67,1 | 60 | 10,8 | 122 | 22,0 | 554 |
| TOTAL | 1712 | 61,0 | 434 | 15,5 | 661 | 23,5 | 2807 |

Ingresos hospitalarios por Enfermedad cardiovascular, según grupo de edad Hospital Regional Coyhaique 2009 - 2014

| Año | < 15 años | % | 15 a 64 años | % | 65 y más | % | Total |
|--------------|-----------|------------|--------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 2009 | 3 | 2,5 | 63 | 51,6 | 56 | 45,9 | 122 |
| 2010 | 2 | 2,6 | 38 | 48,7 | 38 | 48,7 | 78 |
| 2011 | 1 | 0,9 | 53 | 47,3 | 58 | 51,8 | 112 |
| 2012 | 0 | 0,0 | 49 | 36,0 | 87 | 64,0 | 136 |
| 2013 | 2 | 1,3 | 74 | 46,5 | 83 | 52,2 | 159 |
| 2014 | 0 | 0,0 | 78 | 47,6 | 86 | 52,4 | 164 |
| TOTAL | 8 | 1,0 | 355 | 46,0 | 408 | 52,9 | 771 |

Muertes por Enfermedad Respiratoria, según grupo de edad Hospital Regional Coyhaique 2009 - 2014

| Año | < 15 años | % | 15 a 64 años | % | 65 y más | % | Total |
|--------------|-----------|------------|--------------|------------|------------|-------------|------------|
| 2009 | 3 | 16,7 | 4 | 22,2 | 11 | 61,1 | 18 |
| 2010 | 0 | 0,0 | 6 | 16,7 | 30 | 83,3 | 36 |
| 2011 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 17 | 100,0 | 17 |
| 2012 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 32 | 100,0 | 32 |
| 2013 | 0 | 0,0 | 1 | 5,0 | 19 | 95,0 | 20 |
| 2014 | 1 | 2,1 | 4 | 8,3 | 43 | 89,6 | 48 |
| TOTAL | 4 | 2,3 | 15 | 8,8 | 152 | 88,9 | 171 |

**Muertes por Enfermedad cardiovascular, según grupo de edad
Hospital Regional Coyhaique 2009 - 2014**

| Año | < 15 años | % | 15 a 64 años | % | 65 y más | % | Total |
|--------------|---------------------|------------|---------------------|-------------|-----------------|-------------|--------------|
| 2009 | 0 | | 14 | 23,7 | 45 | 76,3 | 59 |
| 2010 | 0 | | 18 | 32,1 | 38 | 67,9 | 56 |
| 2011 | 0 | | 20 | 32,8 | 41 | 67,2 | 61 |
| 2012 | 0 | | 13 | 22,4 | 45 | 77,6 | 58 |
| 2013 | 0 | | 13 | 22,8 | 44 | 77,2 | 57 |
| 2014 | 0 | | 16 | 23,2 | 53 | 76,8 | 69 |
| TOTAL | 0 | 0,0 | 94 | 26,1 | 266 | 73,9 | 360 |

**Muertes por cánceres seleccionados, según grupo de edad
Hospital Regional Coyhaique 2009 - 2014**

| Año | < 15 años | % | 15 a 64 años | % | 65 y más | % | Total |
|--------------|---------------------|------------|---------------------|-------------|-----------------|-------------|--------------|
| 2009 | 0 | | 1 | 10 | 9 | 90,0 | 10 |
| 2010 | 0 | | 2 | 28,6 | 5 | 71,4 | 7 |
| 2011 | 0 | | 4 | 30,8 | 9 | 69,2 | 13 |
| 2012 | 0 | | 3 | 42,9 | 4 | 57,1 | 7 |
| 2013 | 0 | | 4 | 44,4 | 5 | 55,6 | 9 |
| 2014 | 0 | | 2 | 28,6 | 5 | 71,4 | 7 |
| TOTAL | 0 | 0,0 | 16 | 30,2 | 37 | 69,8 | 53 |

Anexo N°4

Epidemiología descriptiva variables ambientales

Coyhaique 2009 - 2014

| Variables | 2009 | | | | | |
|--------------------------|------|--------|--------|-------|---------|-------------|
| | N° | mínimo | máximo | media | mediana | Desv típica |
| MP10 ug/m3 | 337 | 15,0 | 405,0 | 72,51 | 48,00 | 64,94 |
| t° media °C | 365 | -4,0 | 20,0 | 8,1 | 8,0 | 4,84 |
| t° mínima °C | 365 | -7,0 | 16,0 | 4,3 | 4,0 | 4,62 |
| t° máxima °C | 365 | -1,0 | 28,0 | 13,12 | 13,0 | 5,66 |
| Humedad relativa % | 365 | 44,0 | 99,0 | 74,01 | 74,0 | 12,95 |
| Precipitaciones mm | 365 | 0 | 85,0 | 3,34 | 0,0 | 8,1 |
| Velocidad viento (nudos) | 365 | 0 | 13,0 | 5,18 | 5,0 | 3,19 |
| Variables | 2010 | | | | | |
| | N° | mínimo | máximo | media | mediana | Desv típica |
| MP10 ug/m3 | 342 | 17,0 | 538,0 | 83,4 | 49 | 90,42 |
| t° media °C | 365 | -8,0 | 21,0 | 7,69 | 8 | 5,03 |
| t° mínima °C | 365 | -13,0 | 13,0 | 3,7 | 4 | 4,78 |
| t° máxima °C | 365 | -4,0 | 30,0 | 12,74 | 13 | 5,88 |
| Humedad relativa % | 365 | 43,0 | 100,0 | 74,4 | 75 | 13,27 |
| Precipitaciones mm | 365 | 0 | 68,0 | 2,73 | 0 | 7,4 |
| Velocidad viento (nudos) | 365 | 0 | 13 | 4,85 | 5 | 3,08 |
| Variables | 2011 | | | | | |
| | N° | mínimo | máximo | media | mediana | Desv típica |
| MP10 ug/m3 | 301 | 13,0 | 397,0 | 85,77 | 51 | 79,07 |
| t° media °C | 365 | -8,0 | 22,0 | 8,55 | 8 | 5,26 |
| t° mínima °C | 365 | -11,0 | 14,0 | 4,3 | 5 | 4,44 |
| t° máxima °C | 365 | -3,0 | 33,0 | 13,9 | 13 | 6,59 |
| Humedad relativa % | 365 | 42,0 | 100,0 | 75,86 | 76 | 13,55 |
| Precipitaciones mm | 365 | 0 | 43,0 | 2,38 | 0 | 5,4 |
| Velocidad viento (nudos) | 365 | 0 | 13 | 4,85 | 5 | 3,08 |
| Variables | 2012 | | | | | |
| | N° | mínimo | máximo | media | mediana | Desv típica |
| MP10 ug/m3 | 317 | 16,0 | 475,0 | 82,59 | 56 | 79,23 |
| t° media °C | 365 | -7,0 | 21,0 | 8,43 | 9 | 5 |
| t° mínima °C | 365 | -11,0 | 16,0 | 4,38 | 4 | 4,55 |
| t° máxima °C | 365 | -1,0 | 30,0 | 13,6 | 14 | 5,92 |
| Humedad relativa % | 365 | 44,0 | 96,0 | 73,81 | 74 | 10,35 |
| Precipitaciones mm | 365 | 0 | 76,0 | 2,95 | 0 | 7,6 |
| Velocidad viento (nudos) | 365 | 0 | 12 | 4,95 | 5 | 2,85 |

Epidemiología descriptiva variables ambientales
Coyhaique 2009 - 2014

| Variables | 2013 | | | | | |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------------|
| | N° | mínimo | máximo | media | mediana | Desv típica |
| MP10 ug/m3 | 305 | 17,0 | 339,0 | 77,66 | 59 | 54,16 |
| t° media °C | 365 | -5,0 | 23,0 | 8,99 | 9 | 5,18 |
| t° mínima °C | 365 | -9,0 | 16,0 | 4,69 | 5 | 4,6 |
| t° máxima °C | 365 | -2,0 | 34,0 | 14,46 | 14 | 6,53 |
| Humedad relativa % | 365 | 39,0 | 96,0 | 70,57 | 70 | 12,78 |
| Precipitaciones mm | 365 | 0 | 66,0 | 2,87 | 0 | 7,5 |
| Velocidad viento (nudos) | 365 | 0 | 13 | 4,56 | 5 | 2,599 |
| Variables | 2014 | | | | | |
| | N° | mínimo | máximo | media | mediana | Desv típica |
| MP10 ug/m3 | 362 | 16,0 | 546,0 | 80,62 | 51,5 | 73,98 |
| t° media °C | 365 | -6,0 | 18,0 | 8,49 | 8,0 | 4,42 |
| t° mínima °C | 365 | -9,0 | 16,0 | 4,56 | 4,0 | 4,11 |
| t° máxima °C | 365 | -1,0 | 30,0 | 13,67 | 14,0 | 5,58 |
| Humedad relativa % | 365 | 32,0 | 94,0 | 70,96 | 72,0 | 12,87 |
| Precipitaciones mm | 365 | 0 | 93,0 | 2,87 | 0,0 | 7,6 |
| Velocidad viento (nudos) | 365 | 0 | 11,0 | 4,52 | 5,0 | 2,62 |

Anexo N°5