

Estimación de riesgos para la salud derivados de la exposición a fluoruros en aire en la ciudad de Puerto Madryn. Aplicación del análisis espacial en vigilancia de la salud

Estimation of Health Risks Arising from Exposure to Fluorides in the Air in the City of Puerto Madryn. Application of Spatial Analysis Techniques to Health Surveillance

Estimativa de riscos para a saúde derivados da exposição a fluoretos no ar na cidade de Puerto Madryn. Aplicação da análise espacial na vigilância sanitária

Susana Isabel García¹, Diana De Pietri², Jorge R Zavatti³

¹ Primera Cátedra de Toxicología, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires.

² Departamento de Salud Ambiental, Ministerio de Salud de Argentina.

³ ALUAR Aluminio Argentino SAIC. Puerto Madryn. Argentina.

Cita: García SI, De Pietri D, Zavatti JR. Estimación de riesgos para la salud derivados de la exposición a fluoruros en aire en la ciudad de Puerto Madryn: Aplicación del análisis espacial en vigilancia de la salud. Rev. salud ambient. 2018; 18(1):37-51.

Recibido: 26 de marzo de 2018. **Aceptado:** 15 de mayo de 2018. **Publicado:** 15 de junio de 2018.

Autor para correspondencia: Susana Isabel García.

Correo e: susanaigarcia@yahoo.es

Zabala 3555 C.P.1427-Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.

Financiación: Este grupo no ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de su trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

La aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) al análisis de riesgos para la salud asociados a contaminación del aire de ciudades constituye una herramienta eficaz ampliamente reconocida. El objetivo del trabajo fue establecer patrones de exposición de población infantil, para lo cual se utilizaron los datos de las concentraciones de fluoruro de la red de monitoreo de calidad de aire de la ciudad de Puerto Madryn, correspondientes al trienio 2010-2012. Se aplicaron herramientas SIG a fin de establecer un modelo espacial para estimar valores del contaminante en puntos no muestreados basado en concentraciones conocidas de las 3113 muestras analizadas. La distribución observada respeta la dirección de los vientos predominantes a partir del Parque Industrial Pesado de la ciudad. Se representaron los datos que superaron los valores guía de calidad de aire a fin de detectar áreas con población posiblemente expuesta a concentraciones superiores a las de referencia. La superposición de estos resultados con información censal, contribuyó en la estimación de probabilidades de exposición de población infantil de acuerdo al lugar de residencia. Se consideró la frecuencia de aparición de excedencias a fin de estimar la carga de enfermedad respiratoria asociada y así definir condiciones de muestreo a tener en cuenta para el diseño de estudios epidemiológicos y la evaluación de resultados de los programas de vigilancia de la salud.

Palabras clave: SIG; fluoruro; aire; salud; vigilancia.

Abstract

The application of geographic information systems (GIS) to the analysis of risks to human health associated with air pollution in cities is a widely recognized effective tool. The aim of the work was to establish the child population's patterns of exposure, for

which the data of fluoride concentrations from the air quality monitoring network of the City of Puerto Madryn corresponding to the 2010-2012 triennium were used. GIS tools were used to establish a spatial model for estimating or predicting the values of the pollutant at unsampled points based on the known concentrations of the 3,113 samples analyzed. The observed distribution matches the direction of the prevailing winds from the city's Heavy Industrial Park. The data that exceeded the air quality guide values represented in order to detect areas with a population potentially exposed to concentrations higher than the concentrations of reference. The superposition of these results with the census information allowed the child population's probability of exposure to be estimated according to the children's place of residence. The frequency of occurrence of exceedances was considered in order to estimate the burden of associated respiratory diseases and thus define the sampling conditions to be taken into account in designing epidemiological studies and assessing the results of health surveillance programs.

Keywords: GIS; fluoride; air; health; surveillance.

Resumo

A aplicação de sistemas de informação geográfica (SIG) na análise dos riscos para a saúde humana associados à poluição do ar constitui uma ferramenta eficaz e amplamente reconhecida. O objetivo do trabalho foi estabelecer padrões de exposição da população infantil, utilizando-se os dados das concentrações de fluoreto da rede de monitorização da qualidade do ar da cidade de Puerto Madryn, correspondentes ao triênio 2010-2012. As ferramentas SIG foram aplicadas para estabelecer um modelo espacial de modo a estimar os valores poluentes nos pontos não amostrados com base nas concentrações desconhecidas das 3113 amostras analisadas. A distribuição observada respeita a direção dos ventos dominantes do Parque de Indústria Pesada da cidade. Os dados que excederam os valores guia de qualidade do ar foram representados para detectar áreas com uma população possivelmente exposta a concentrações superiores às de referência. A sobreposição destes resultados com a informação do censo contribuiu para a estimativa da probabilidade de exposição da população infantil de acordo com o local de residência. A frequência de ocorrência de excedências foi considerada para estimar o ônus da doença respiratória associada e, portanto, definir as condições de amostragem a serem levadas em consideração para o desenho dos estudos epidemiológicos e a avaliação dos resultados dos programas de vigilância da saúde.

Palavras-chave: SIG; fluoreto; ar; saúde; vigilância.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) y el análisis espacial como herramienta en la evaluación de los riesgos para la salud humana asociados a la contaminación, y específicamente a las alteraciones de la calidad del aire de las ciudades, tiene una eficacia ampliamente reconocida¹⁻⁴.

La ciudad de Puerto Madryn, en el noreste de la Provincia del Chubut, cabecera del departamento Biedma, está emplazada frente al mar Argentino en el océano Atlántico y es puerta de entrada a la Península Valdés, declarada por la UNESCO en 1999, Patrimonio Natural de la Humanidad. El núcleo urbano y el Parque Industrial se encuentran rodeados por una meseta de 130 m sobre nivel del mar.

En el año 1971 se instaló allí la planta de producción de aluminio (Al) primario ALUAR Aluminio Argentino SAIC (ALUAR) cuando la población no superaba los 6500 habitantes. Casi 40 años después, el Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda del año 2010 (CNPV 2010) arrojó datos de población de 81 995 habitantes (40 631 varones y 41 364 mujeres) en 24 177 hogares,

con una estructura de edades que revela una proporción importante de gente joven: 23 801 entre 0 y 14 años, 53 378 entre 15 y 64 años y apenas 4816 mayores de 65 años⁵. Aproximadamente un 9 % de los hogares posee algún indicador de necesidades básicas insatisfechas y cerca de un 7 % de la población no lee ni escribe.

El crecimiento de la ciudad no se ha acompañado de una adecuada planificación urbanística, aún así el 99 % de los hogares tiene acceso a la red de agua potable y el 88 % a la red cloacal.

Es uno de los centros de turismo más importantes de toda la región y del país, y la ciudad balnearia más poblada del sur. Otras actividades productivas de interés las constituye la pesca y la producción de rocas de aplicación.

La Planta de ALUAR está emplazada al norte del casco urbano de la ciudad de Puerto Madryn. Su producción es de 1200 t Al/día y las emisiones de fluoruros (F⁻) se calculan en 760 kg/día⁶.

Los F⁻ son contaminantes ubicuos del ambiente, pero fuentes antropogénicas, como la planta de producción

primaria de Al, podrían aumentar los niveles de concentración de F⁻ en el aire hasta valores que ponen en riesgo la salud de las personas expuestas, por lo que se encuentra ampliamente regulado su monitoreo y control. Como consecuencia de ello, del emplazamiento de las viviendas cada vez más próximas a la fábrica y de las preocupaciones civiles respecto de posibles impactos negativos de la contaminación industrial sobre la salud de la población, se hizo necesaria una evaluación con base científica de los riesgos y los posibles efectos con la finalidad de agudizar las predicciones y eventualmente tomar medidas que los minimicen.

Los efectos tóxicos potenciales de los F⁻ para la salud humana dependen de la vía de exposición (oral, cutánea o inhalatoria), de la duración de la exposición (aguda por exposición única o repetida durante menos de un día, subaguda, subcrónica y crónica para períodos prolongados), la dosis, las propiedades físico-químicas de la sustancia (solubilidad, biodisponibilidad, etc.) y las características de la persona expuesta. En general, los niños están más expuestos a las sustancias tóxicas, ya que respiran, comen o beben más en relación a su peso corporal. También se los considera más vulnerables ya que sus sistemas metabólicos están inmaduros y por lo tanto su capacidad para eliminar las toxinas es inferior a la de los adultos. En el caso de los F⁻, se sabe que los lactantes retienen en huesos y esmalte de los dientes alrededor del 80-90 % de la dosis recibida, mientras que los adultos sólo el 60 %. Debido a que se encuentran en un período de crecimiento, maduración y diferenciación, la exposición a sustancias químicas puede afectar su desarrollo. Al mismo tiempo, los niños tienen una capacidad inferior a la hora de protegerse de las amenazas químicas⁷. Por todo esto, se ha centrado el análisis de los riesgos en la población de niños menores de 5 años expuestos por vía inhalatoria al F⁻ en aire.

Atendiendo a estos impactos negativos y para la necesaria gestión de los riesgos, existen recomendaciones de organismos internacionales y normas nacionales y provinciales⁸⁻¹³ que establecen concentraciones tolerables de F⁻ como niveles guía de calidad de agua y de aire, y ordenan su monitoreo y control.

Entre las medidas que podrían adoptarse se encuentran las acciones de vigilancia de la salud, incluyendo la vigilancia laboratorial de biomarcadores de exposición, ya sea a través de la búsqueda activa de casos o la notificación pasiva de eventos marcadores, clínicos o de laboratorio, por parte de los efectores de salud que asisten a la población potencialmente expuesta. La implementación de estos programas de vigilancia se ven favorecidos si existe una estimación

previa de casos que podrían detectarse, además de una necesaria definición de medidas a adoptar cuando surja una alerta epidemiológica.

Para ello se diseñó un modelo de análisis espacial que permitiera: 1) delimitar los sitios de exposición potencial a concentraciones de fluoruro en aire iguales o superiores a 16 µg F⁻/m³ (valor meta de calidad de aire establecido por la legislación de la Provincia de Chubut)¹³ a partir de los datos de la red de monitoreo de calidad de aire de la ciudad de Puerto Madryn, informados por ALUAR al Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable de la Provincia del Chubut¹⁴; 2) cuantificar la población de niños menores a 5 años que estaría potencialmente expuesta a concentraciones de F⁻ no deseadas; 3) estimar la exposición de la población de niños menores de 5 años, según lugar de residencia; 4) caracterizar el riesgo para la salud infantil derivado de la exposición a F⁻ en aire en la ciudad de Puerto Madryn, procedentes de las emisiones de la planta productora de Al primario, y por último; 5) definir los posibles efectos para la salud y las condiciones de muestreo para el diseño de eventuales estudios epidemiológicos y la evaluación de los resultados de los programas de vigilancia de la salud.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se aplicó la metodología de evaluación de riesgos para la salud humana en sitios contaminados propuesta por la Organización Panamericana de la Salud¹⁶, y resultante de la adaptación de la desarrollada por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos¹⁷, y luego utilizada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades (ATSDR por su sigla en inglés: Agency for Toxic Substances and Disease Registry), perteneciente al Departamento de Salud de los Estados Unidos, y por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por su sigla en inglés: Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos.

Para las fases I (identificación de peligro) y II (evaluación de la toxicidad) se consultó bibliografía de organismos internacionales y de agencias ambientales y de salud de EEUU y Europa¹⁸⁻²². Solamente se han considerado aquí valores de dosis publicadas para determinados efectos críticos y los valores guía de calidad de aire que derivan de evaluaciones de riesgo para la salud por parte de Organismos Internacionales (Organización Mundial de la Salud - OMS) o Agencias Gubernamentales de los EEUU (ATSDR, EPA, la Oficina de Evaluación de Riesgos para la Salud Ambiental de California - OEHHA por su sigla en inglés Office of Environmental Health Hazard Assessment) o del Reino Unido (DEFRA por su sigla en inglés

Department for Environment, Food and Rural Affairs) y se descartaron otros valores guías que se fundamentan en otros criterios tales como la calidad de aire para protección vegetal (Alberta Environment). Para la fase III (estimación de exposición) se utilizaron los datos de concentraciones de F⁻ expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas (corregidos por evaporación), correspondientes al período noviembre-2009 a octubre-2012, resultantes del monitoreo de calidad de aire que realiza ALUAR a través de las 12 estaciones de muestreo, instaladas en diferentes puntos seleccionados de la ciudad desde el año 1991¹⁴.

La figura 1 muestra la localización de las 12 estaciones de relevamiento de muestras y otros puntos de referencia de la ciudad.

Figura 1. Localización de las estaciones de relevamiento de muestras y otros puntos de referencia de Puerto Madryn, Chubut



Las estaciones de monitoreo están distribuidas geográficamente con respecto a la planta de ALUAR de la siguiente manera: 3 al norte, 2 al este, 4 al sur (zona más poblada) y 3 al oeste. De cada estación de la red de monitoreo se obtienen dos muestras por semana que cubren 96 y 72 horas correspondientes a los períodos

de lunes a viernes y de viernes a lunes, respectivamente. Se utilizaron los resultados de los análisis de dichas muestras realizados en el laboratorio del Departamento Control Ambiental de ALUAR, siguiendo lo establecido en las Normas ASTM D3267 y ASTM D3270 sobre los procedimientos de muestreo, la estimación de la incertidumbre asociada a cada valor de concentración de F⁻ en aire y la validación de la metodología de corrección matemática de los resultados analíticos para uniformizar a 24 horas los tiempos de recolección de muestras y la corrección por evaporación del absorbente que se produce en los burbujeadores. La Norma ASTM D3270 establece procedimientos de laboratorio químico para la determinación de la concentración de F⁻ en aire ambiente, utilizando métodos semiautomáticos basados en la medición colorimétrica o potenciométrica. En este caso, se empleó el método colorimétrico que utiliza Alizarina para el desarrollo del color, cuya intensidad resulta proporcional a la concentración de F⁻ en el analito. El laboratorio está certificado por el Consejo de Fiscalización de Laboratorios de la República Argentina para la determinación de F⁻ bajo la Norma ASTM D3270 y participa regularmente de sus ensayos de intercalibración respecto de la determinación de F⁻ en matriz acuosa. La confiabilidad de estos resultados también quedó evidenciada en los ensayos de contraste que han realizado el Instituto de Química, Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, y la Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI) de la Universidad Nacional del Sur, y de los que se concluye que los valores informados por ALUAR resultan conservadores desde el punto de vista de la exposición humana a F⁻ en aire, siendo más elevados que los reportados por las instituciones que realizaron los ensayos de contraste^{14,15}.

Los datos se procesaron en planillas excel, según la estación de monitoreo y la fecha de toma de muestra.

Para este análisis espacial, ALUAR se ha considerado como la única fuente de emisión de F⁻, omitiendo la ponderación de otras fuentes probables, tanto naturales (agua de mar) como antropogénicas (fábrica de cerámicos, vertedero de residuos).

Para la estimación de las concentraciones de F⁻ en cada punto, a partir de los datos de las estaciones de monitoreo, se seleccionaron solo los días que tuvieron algún exceso en las mediciones y se interpolaron sus valores por fecha. La técnica de interpolación aplicada busca un conjunto de muestras cercanas al punto de consulta y aplica ponderaciones basándose en áreas proporcionales. Es una interpolación local, ya que solo usa un subconjunto de muestras alrededor del punto

de consulta garantizando que los valores interpolados están dentro del rango. Esta herramienta se considera apropiada debido a que las estaciones presentan una distribución irregular sobre el territorio de Puerto Madryn, generando diferentes niveles de precisión del dato estimado. Se utilizó la herramienta de interpolación de vecino natural del ArcGIS10, ESRI.

El resultado de este procesamiento de los datos se muestra a través de isolíneas de concentración de F⁻ sobre imágenes satelitales del *Google Earth* para facilitar la detección de los sectores urbanos potencialmente expuestos.

Con relación a la influencia de los vientos de Puerto Madryn se obtuvieron datos sobre la dirección e intensidad de los mismos y se representaron en un diagrama radial junto a la localización de la planta de ALUAR y las estaciones que habían registrado excedencias¹⁴.

Para estimar la localización geográfica de las viviendas donde habita la población de menores de 5 años y calcular la exposición, se volcaron los datos de población correspondiente a los radios censales (CNPHV 2001²³, último disponible a la fecha de realización de esta evaluación) y se delimitaron sobre imágenes satelitales de 2012. Una vez identificadas las manzanas catastrales (lotes urbanos) dentro de cada radio censal, se registraron las coordenadas geográficas de cada centro de manzana. A partir de la información de la estructura poblacional de los radios censales, y la proporción de menores de 5 años en relación al total de habitantes de un radio censal, se estimó el número de niños menores de 5 años por manzana, dividiendo el número total de niños entre el número de centros de manzana.

Se calcularon las dosis diarias de F⁻ para los niños menores de 5 años en cada sitio a partir de las concentraciones estimadas, el peso corporal correspondiente a niños menores de 5 años (14 kg) y el volumen respirado (8,3 m³/día) según las tablas de referencia de EPA²⁴. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Dosis diaria } (\mu\text{g F}^-/\text{kg/d}) = [\text{F}^-] \times 8,3 / 14$$

A partir de estas dosis diarias estimadas, se calculó el diferencial respecto del Nivel Mínimo de Riesgo (MRL por su sigla en inglés "minimum risk level" de ATSDR) considerado como valor de referencia²⁰.

No se ha considerado para este análisis de riesgo la ruta de exposición del agua de bebida, ya que la ciudad de Puerto Madryn se provee de una planta potabilizadora sita en la ciudad de Trelew, a más de 60 km, y su calidad

está garantizada por la empresa distribuidora, no habiéndose registrado concentraciones superiores a los valores guía que establece el código alimentario argentino que consigna concentraciones entre 0,6 y 1,7 mg/L según la temperatura media de la región²⁶. Asimismo no se han cuantificado las exposiciones a otras posibles fuentes tales como las emisiones de fluoruros del mar, la presencia natural de fluoruros en los suelos, el material resuspendido de las emisiones de ALUAR y/o en las cenizas volcánicas con impacto en la zona.

Dado que, en función de la solubilidad y del tamaño de las partículas, la absorción de los F⁻ gaseosos y particulados en el tracto respiratorio puede ser parcial o completa²¹, a los efectos de esta evaluación de riesgos para la salud, y usando un criterio precautorio, se asume que la absorción por la vía inhalatoria es total y equivalente a la absorción por vía digestiva. La absorción por vía cutánea de los F⁻ presentes en el aire no se consideró ya que se estima insignificante.

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO DE LOS F⁻

A partir de la búsqueda de información toxicológica, se identificaron los siguientes aspectos relevantes de peligro de los F⁻: a) el estado gaseoso a temperatura ambiente, a partir del punto de ebullición de 19,4 °C a 760 mmHg, al permitirle ingresar por la vía inhalatoria, le confiere una peligrosidad intrínseca; b) muy soluble en disolventes orgánicos y en agua, con la que forma ácido fluorhídrico; c) incoloro, picante, tiene propiedades irritantes y corrosivas de las vías aéreas superiores; d) puede producir fluorosis dental; e) puede producir fluorosis ósea o esquelética; f) no clasificado como carcinogénico; g) no clasificado como genotóxico ni mutagénico; h) no clasificado como reprotóxico; i) con una persistencia en el ambiente de minutos a horas, no está clasificado como bioacumulable ni persistente¹⁹⁻²¹.

CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO. EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD (RELACIÓN DOSIS-RESPUESTA)

Se han identificado diversas "dosis de referencia" o concentraciones de F⁻ en aire como valores guía de calidad de aire, establecidos por organismos internacionales o agencias de países, que se fundamentan en análisis de riesgos para la salud humana. Las mismas han sido calculadas a partir de la información sobre las dosis umbrales identificadas para ciertos efectos críticos, y con la aplicación de un cierto "margen de seguridad", teniendo en cuenta distintas fuentes de incertidumbre. En la tabla 1 se resumen las que se consideran más relevantes.

Tabla 1: Dosis umbrales y de referencia para fluoruro en Agencias nacionales y Organismos Internacionales

Dosis umbrales y de referencia	Dosis ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$) o Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ppm) ¹	Organismo / Agencia ²	Observaciones
Nivel de referencia para exposición (REL) oral crónica - promedio anual	40 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$	OEHHA	Se consideró como efecto crítico la fluorosis dental en niños que ingerían agua con concentraciones de 1 mg/L (equivalente a 720 $\mu\text{g}/\text{día}$ para un niño de 18 kg que bebe 40 mL/kg/día de agua). Basados en estudios de poblaciones de varias ciudades de EEUU expuestas a fluoruro en agua de bebida, de manera continua durante toda la vida. Protege contra la fluorosis dental, considerada como efecto cosmético adverso para los niños menores de 6 años expuestos, y la fluorosis esquelética como efecto crítico invalidante
Dosis crónica de riesgo mínimo (MRL)	50 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$	ATSDR, 2003	
Dosis crónica de riesgo mínimo (RfD)	60 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$	EPA	
REL para exposición inhalatoria crónica- promedio anual	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (17 ppb)	OEHHA	Basado en estudios de adultos expuestos ocupacionalmente (durante 40 horas semanales durante un promedio de 14 años en una planta de fertilizantes) a concentraciones promedio de 0,29 mg HF/m ³ , considerando como órganos blanco los huesos, los dientes y el sistema respiratorio y como efecto crítico la fluorosis esquelética. Se asume que este REL protege contra la fluorosis dental infantil ya que para un niño de 18 kg que respira 4,2 m ³ /día, la dosis diaria calculada resulta en 7 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$ (la quinta parte del nivel de referencia para ingesta crónica)
Valor guía de calidad de aire de largo plazo -promedio mensual	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,02 ppm)	DEFRA (2009)	Protege contra efectos sistémicos en exposiciones crónicas, en la formación de esmalte dentario como preocupación estética así como seguridad contra el posible riesgo de fluorosis esquelética
MRL para exposición inhalatoria aguda	16,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,02 ppm)	ATSDR (2003)	Se calculó dividiendo el mínimo LOAEL de 0,5 ppm por un factor de incertidumbre de 30 (3 por el uso de LOAEL mínimo, y de 10 por la variabilidad humana)
Valor guía de calidad de aire - promedio mensual	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS	
Valor guía de calidad de aire - promedio diario	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor meta) 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (percentil 99,5)	Gobierno de Chubut	Considerando que es un valor de promedio diario, se considera el límite más exigente enunciado
Valor guía de calidad de aire - promedio de una hora	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,2 ppm)	DEFRA (2006)	Aplica un factor de seguridad de 5 para protección de la población más susceptible, a los efectos irritantes sobre piel, ojos y mucosa respiratoria (la porción más húmeda de las vías aéreas)
REL para exposición inhalatoria aguda- promedio de 1 hora	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,3 ppm)	OEHHA	Protege de efectos leves en exposiciones de 1 hora. Basado en estudios en adultos sanos expuestos voluntariamente por vía inhalatoria a concentraciones de 0,2 a 5,2 mg HF/m ³ . Considera como órganos blanco el sistema respiratorio y los ojos, y como efecto crítico la irritación de ojos, nariz y garganta
LOAEL para exposiciones agudas - 1 hora	410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,5 ppm)	ATSDR	Estudios en seres humanos con efectos irritativos leves de vías aéreas superiores
Valor guía de calidad de aire- promedio de 1 hora	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS	Para proteger contra el efecto de irritación respiratoria
Nivel guía de exposición de población	810 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 10 minutos hasta 8 horas - AEGL-1	EPA	
NOAEL para efectos irritantes de piel, ojos y tracto respiratorio	820 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 ppm)	DEFRA (2006)	A partir de estudios de voluntarios humanos que reportaron irritación respiratoria a concentraciones de 3,0-6,3 ppm (2,5-5,2 mg/m ³) e indicaron que concentraciones de 2 ppm o 1700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ son ligeramente irritantes
REL para exposición inhalatoria aguda - promedio de 1 hora	850 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 ppm)	OEHHA	Protege de efectos severos en exposiciones de 1 hora. Este nivel es equivalente al ERPG-2 de la AIHA. El informe de OEHHA cuestiona la evidencia científica que da sustento a los niveles ERPG y propone valores alternativos, más conservadores, basados en evaluaciones de otros trabajos publicados
Valor guía de calidad de aire- exposición puntual única	1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS (2000)	Para proteger contra la irritación respiratoria severa
REL para exposición inhalatoria aguda	15 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (19 ppm)	OEHHA	Protege de efectos que amenazan la vida. Basado en estudios de mortalidad en animales de experimentación y aplicando factores de incertidumbre de 3 y de 10 para variación inter e intraespecie

¹ Las distintas Agencias y Organismos definen y establecen las concentraciones de fluoruros en aire indistintamente en unidades expresadas como ppm o mg / m³ o $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dado que el marco regulatorio de Chubut y los datos utilizados en esta evaluación se expresan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se adoptó predominantemente dicha expresión y las conversiones se han realizado utilizando como Factor de conversión (a 25 °C y 101 kPa) 1 ppm = 0,82 mg/m³ y 1 mg/m³ = 1,22 ppm

² EPA: sigla en inglés de Agencia de Protección Ambiental de los EEUU; ATSDR: sigla en inglés de Agencia de Efectos Tóxicos y Registro de Enfermedades de los EEUU; OEHHA: sigla en inglés de Oficina de Evaluación de Riesgos para la Salud Ambiental de California; DEFRA: sigla en inglés de Departamento para Asuntos Ambientales, Alimentarios y Rurales de Escocia, Gales e Irlanda del Norte. OMS: Organización Mundial de la Salud.

³ Dosis y Valores de referencia: MRL: Sigla en inglés de "nivel de riesgo mínimo". NOAEL: Sigla en inglés de "dosis sin efecto adverso observado". LOAEL: Sigla en inglés de "dosis de mínimo efecto observado". REL: Nivel de Referencia AEGL-1: Nivel guía de exposición aguda (EPA).

Los valores de dosis o de concentración de F⁻ más bajos que se han asociado a efectos en humanos para cada efecto crítico son: 40 µg F/kg/día (promedio anual) para fluorosis dental²²; 1130 µg F/m³ para fluorosis esquelética²¹; 410 µg F/m³ para irritación leve de las vías aéreas superiores con exposiciones agudas por vía inhalatoria en 1 hora²⁰; 820 µg F/m³ para irritación leve en 8 horas¹¹.

Los valores guía de calidad de aire para distintos períodos de tiempo varían en un rango desde 14 µg/m³ (como promedio anual en California)²⁷ y 16 µg/m³ (como promedio mensual)^{11,20,21}, hasta 160 µg/m³ (para exposiciones de una hora)¹¹ y 810 µg/m³ (para 10 minutos hasta 8 horas).

En general se asume que estos valores guía protegen suficientemente contra los efectos sistémicos de la exposición crónica, que tiene una dosis de riesgo mínimo (ATSDR) de 50 µg/kg/día que protege contra la fluorosis dental, como efecto cosmético adverso para los niños menores de 6 años expuestos, y la fluorosis esquelética como efecto crítico invalidante.

Los valores guía de calidad de aire para F⁻, establecidos

por el Gobierno de la Provincia de Chubut¹³, como concentraciones promedio de 24 horas (20 µg/m³ para el 99,5 % de las mediciones y 16 µg/m³ como nivel guía máximo meta) resultan los valores más bajos, por lo tanto más precautorios, considerando el tiempo de exposición de 24 horas, entre todas las recomendaciones vigentes que se consideraron en esta comparación (tabla 1).

A los efectos de este análisis de riesgo se consideran como dosis mínima de riesgo 50 µg F/kg/día (MRL – ATSDR) y como concentración mínima de riesgo 16 µg F/m³ (promedio de 24 horas). Se considerarán como concentraciones no deseadas las iguales o mayores a 16 µg F/m³.

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

En la tabla 2 se presentan las concentraciones promedio diarias de F⁻ en aire, calculadas a partir de 3113 muestras de las 12 estaciones de la red de monitoreo de calidad de aire de la ciudad de Puerto Madryn (corregidos por evaporación), con registros iguales o superiores a 16 µg F/m³, según la estación y fecha de toma de muestra, para el período noviembre-2009 a octubre-2012¹⁴.

Tabla 2. Concentración de F⁻ expresada en µg/m³ promedio de 24 horas (corregidos por evaporación). Días con registros superiores a 16 µg/m³

Año	Mes	Día	RMCA – Estaciones localizadas en Puerto Madryn (*)											
			A	B	C	D	E	G	H	M	N	O	P	Q
2012	02	22	2,92	2,21	0,41	1,27	4,34		69,22	0,84	1,96		1,25	1,31
2012	04	27	2,89	1,09	2,80	1,57		23,11	4,03	2,33	4,49	2,29	3,01	2,91
2012	05	07	7,66	6,18	2,30	33,54		11,02	3,78	3,22	2,06	1,03	5,70	31,62
2012	05	28	2,44	1,34	2,04	0,75	1,68	1,32	1,02	11,09		3,47	30,43	5,84
2012	06	04	4,10	3,01	9,26	5,34	11,90	21,75	9,03	14,53	13,45	7,39	4,85	2,30
2012	06	29	2,42	2,22	2,50	1,87	4,57	3,06	0,08	2,07	1,51	1,54	18,39	2,11
2012	07	06	4,49	29,27	4,26	10,82	10,57	6,74	3,76		5,21	3,04	5,56	5,01
2012	07	10	25,01	2,61	1,71	1,79	6,57	5,47	6,96		8,08	1,22	2,16	2,42
2012	07	13	3,08	13,80	5,38	12,77	11,82	5,19	5,72	4,83	24,29	4,68	3,38	9,08
2012	07	16	2,68	2,42	4,73	29,24	6,26		2,14	2,65		6,44	1,95	5,30
2012	07	20	5,16	3,75	1,00	0,54	20,34		2,90	5,42		2,24	1,34	1,61
2012	08	06	1,56	2,37	7,22	3,28	2,68	1,21	2,95			16,26	6,69	2,80
2012	08	17	13,29	2,97	0,83	2,30	6,18	1,46	16,44	1,35	21,42	0,63	1,21	3,94
2012	08	24	5,12	3,24	4,58	2,90	4,79	3,89	3,26	3,76	6,18	1,52	4,25	28,02
2012	09	28	8,78	2,25		1,50	3,22	1,76	2,18	2,61	20,57	2,73	3,43	4,19

Elaboración propia a partir de datos suministrados por Aluar Aluminio Argentino SAIC.

(*) **Referencias:** A= Sector 1; B= Sector 2; C= Cáritas / Plaza San Martín; D= Universidad; E= Muelle; G= Antena; H= Aeroclub; M= Golf; N= PESA (Patagonia Ecológica); O= DPSE2 (Planta Semi Elaborados); P= Viaducto; Q= LOP (Límite Oeste Planta).

En todas las estaciones los valores de percentil 95 se encontraron por debajo de los valores guía de calidad de aire de la OMS ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La frecuencia relativa de resultados que igualaron o superaron el valor guía de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fue significativamente más elevada para el año 2012 (1,9 %) con relación a los años anteriores (0,8 y 0,6 % en 2010 y 2011 respectivamente). En razón de esto, a los fines de esta evaluación, solamente se consideraron los datos correspondientes al año 2012.

El número total de registros de las 12 estaciones de monitoreo, durante los meses de enero a octubre del año 2012 fue 889, observándose que en 15 fechas, al menos en una estación, se constató un valor igual o mayor a $16 \mu\text{g F}/\text{m}^3$. Dos de las 12 estaciones (C Plaza SM y M Golfo) no tuvieron registros mayores de $16 \mu\text{g F}/\text{m}^3$ aire. Asimismo, con el objeto de analizar la distribución de los valores de F, se asumió un valor de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el emisor, resultante de un modelado de la dispersión atmosférica de las emisiones de fluoruros de la planta ALUAR²³.

La figura 2 representa la distribución de la recurrencia de mediciones no deseadas. Dado que el procedimiento de toma de muestra tuvo intervalos de tres a cuatro días durante los meses enero a octubre del año 2012 (320 días), las estaciones registraron entre 60 y 80 mediciones cada una. Se realizó una equivalencia a 365 días para analizar la recurrencia de valores no deseados. Por ejemplo, si en una estación con 80 mediciones en el período de 320 días se constataron 2 registros no deseados, se consideró la equivalencia de 8 días de potencial exposición a F y por consiguiente 9,13 días para un año (365 días).

En la figura 3 se representa el análisis de la influencia de la dirección predominante de los vientos, y la ubicación relativa de las estaciones con registros de valores mayores a $16 \mu\text{g F}/\text{m}^3$ con respecto al emisor. Se muestra un esquema de la distribución de las estaciones (puntos azules), las autovías (líneas rojas) y el símbolo de la rosa de los vientos en el punto donde está asentada la planta industrial.

El diagrama radial de la izquierda representa la dirección de los vientos de Puerto Madryn según registros meteorológicos. Se observa una preponderancia de los vientos con dirección suroeste (SW).

Para la construcción del diagrama radial derecho se tomaron en cuenta las localizaciones de las estaciones en relación a la planta de ALUAR (si están a barlovento ó sotavento) y se asignó el valor proporcional de la cantidad de veces que los registros son iguales o superiores a $16 \mu\text{g F}/\text{m}^3$. Se sumaron las mediciones de las estaciones de muestreo según orientación "ALUAR / rosa de los vientos". Al "N" se consideró la estación O; al "NE" las estaciones G y N; al "E" las estaciones P y E; al "SE" la estación D; al "S" las estaciones A, B, y C; al "SO" las estaciones Q y M; y al "O" la estación H.

Mediante ambos diagramas se representa el potencial efecto de los vientos sobre las emisiones de F. Es decir al tomar como punto de referencia la planta de ALUAR, si los vientos dominantes provienen del suroeste se espera que los excedentes de F se manifiesten en las estaciones del noreste (a sotavento de la planta de ALUAR).

Figura 2. Distribución de la recurrencia de mediciones no deseadas

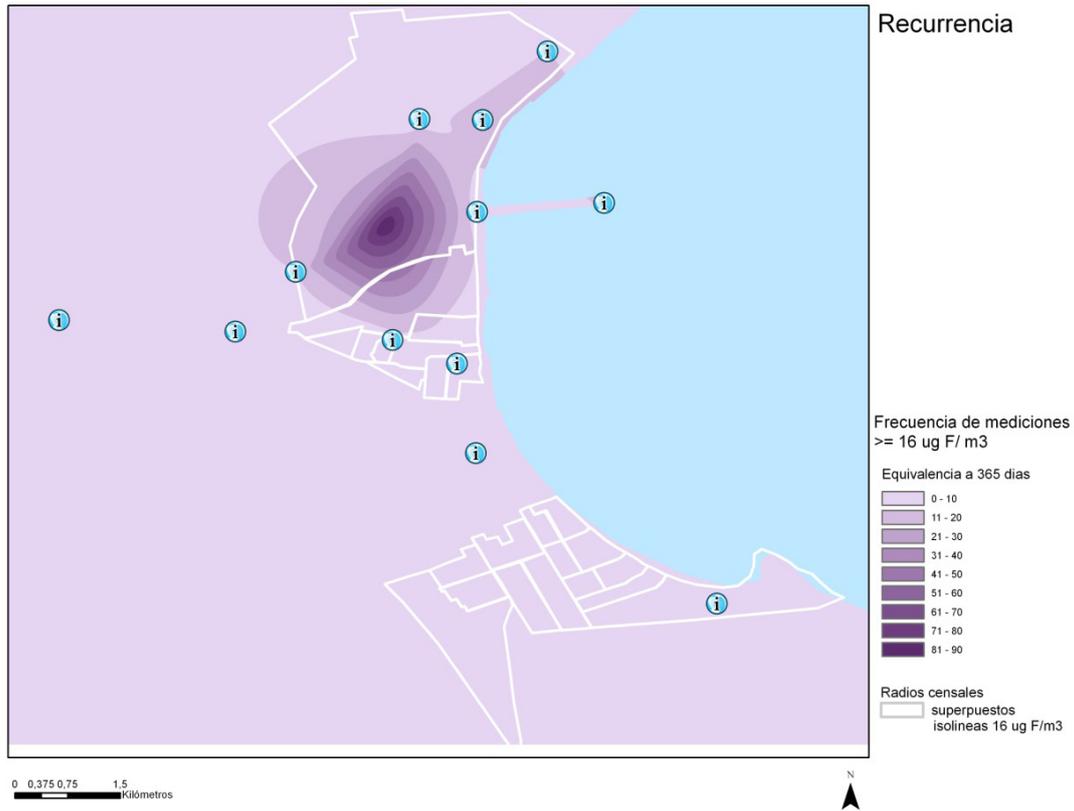
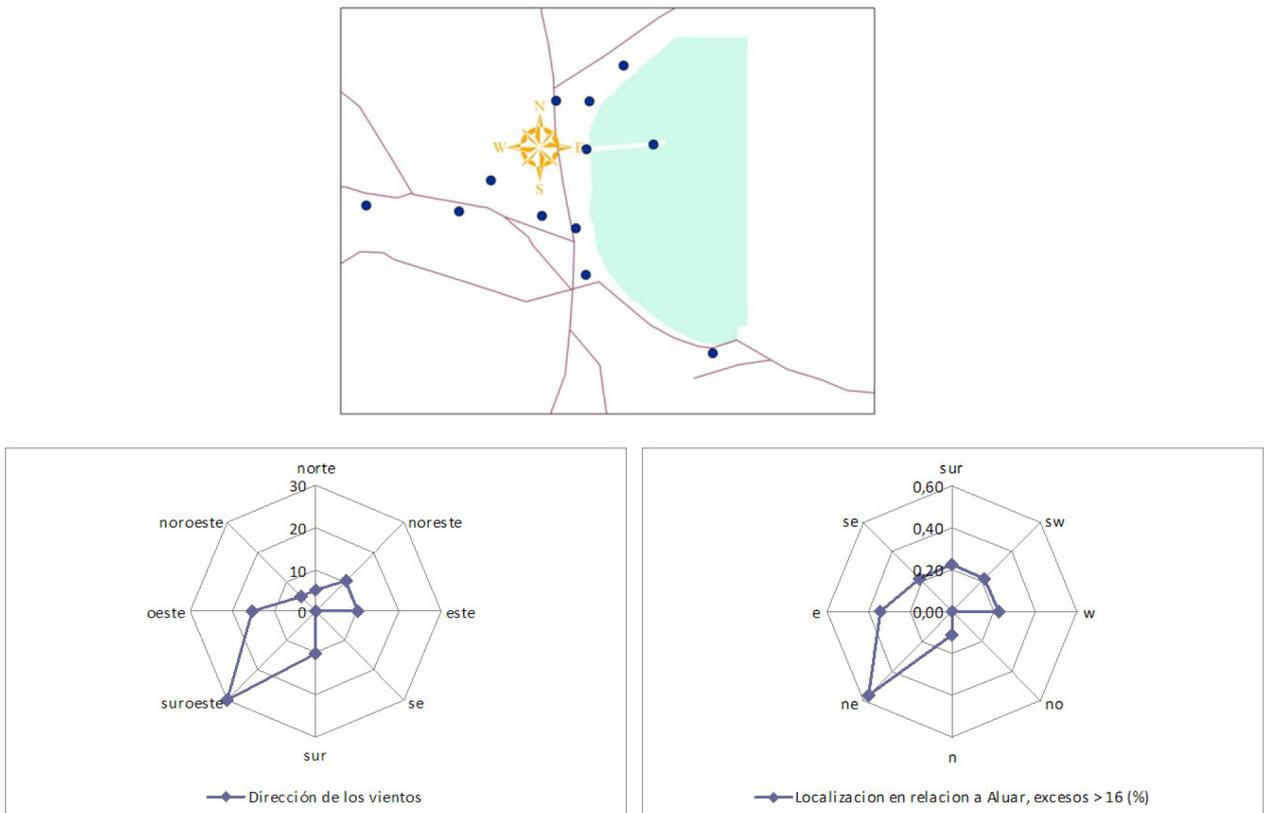


Figura 3. Esquema de la relación entre la dirección de los vientos y valores no deseados de F-



En la figura 4 se grafican seis escenarios de días del año 2012, en los que se registraron valores iguales o mayores a $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los tonos marrones representan los valores de concentración más elevados y los amarillos el valor más bajo o de base.

Para identificar y cuantificar la población de niños menores de 5 años potencialmente expuesta a

concentraciones no deseadas de F⁻, se superpusieron las isolíneas de 20 y $16 \mu\text{g F}^-/\text{m}^3$ con los radios censales, cuya distribución porcentual de población por rangos etarios es estimable, con, y con imágenes satelitales que permiten identificar lotes urbanos (centros de manzana), asumiendo que la probabilidad de encontrar un niño menor de 5 años se da en cualquiera de las manzanas del radio censal (figura 5a).

Figura 4. Distribución de concentraciones de F⁻ en fechas donde se constataron valores iguales o mayores a $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$

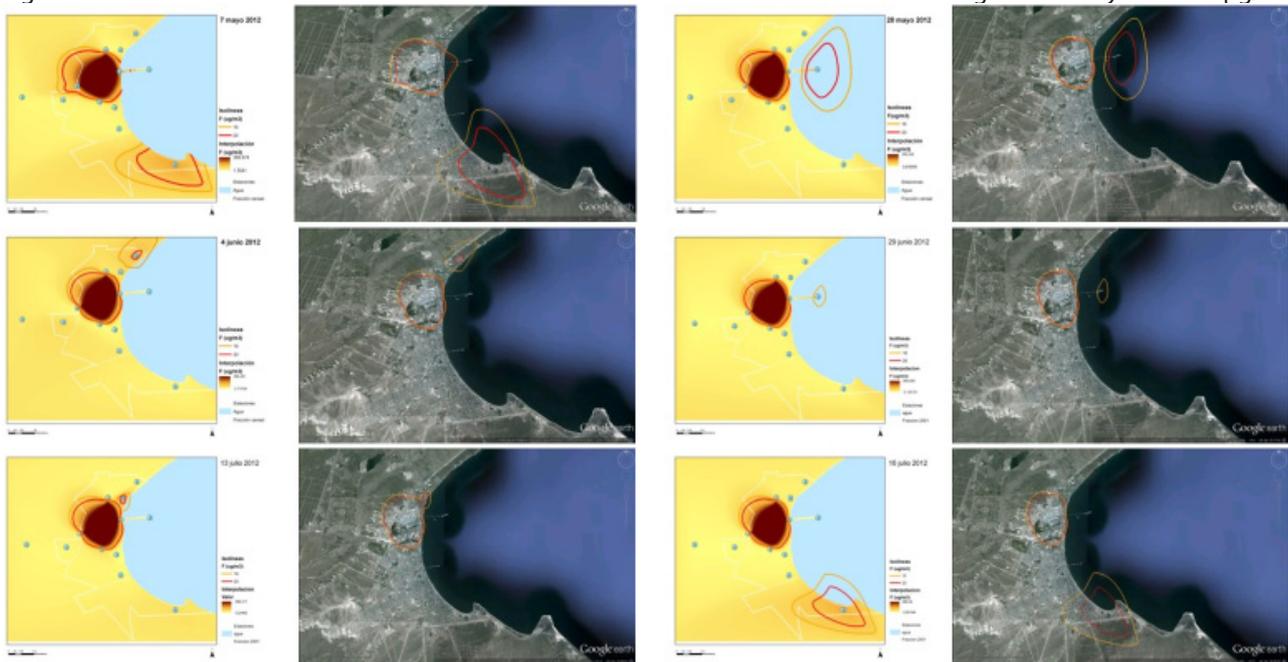


Figura 5a. Identificación de radios censales 2001 con potencial exposición a concentraciones no deseadas de F⁻ gaseoso, sobre imágenes satelitales del 2012 y distribución de los centros de manzanas por radio censal utilizado como indicador de la localización de las residencias

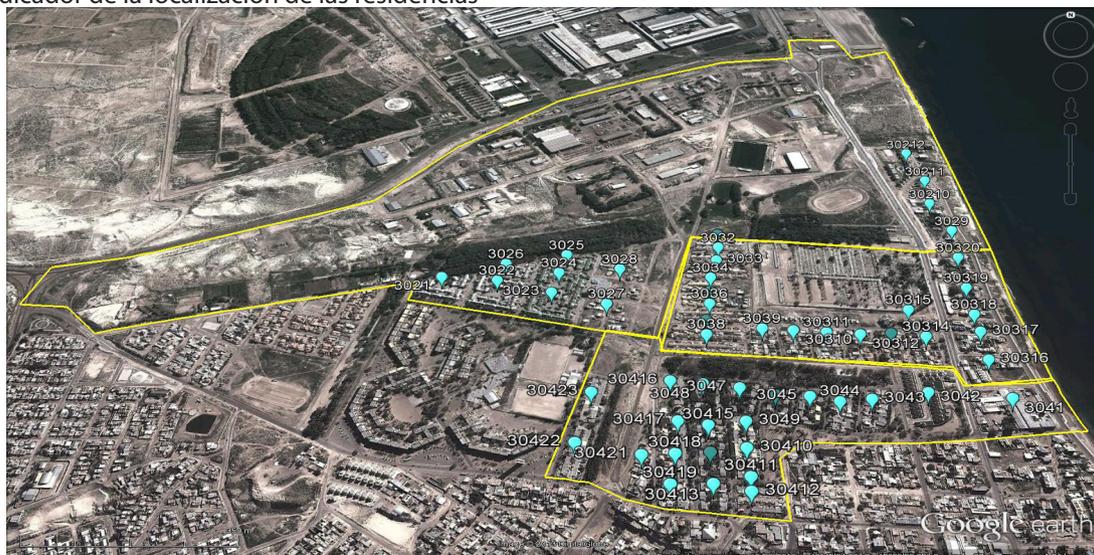
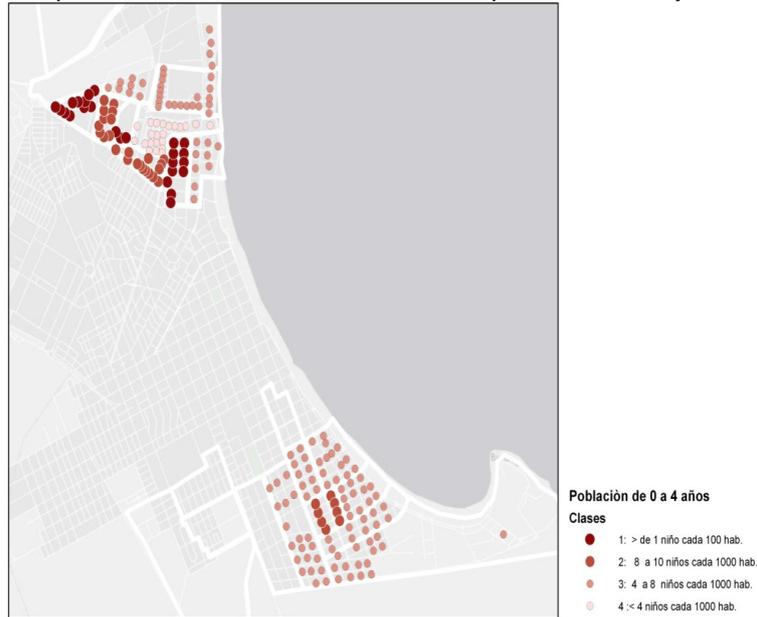


Figura 5b. Distribución de la población de niños menores de 5 años por radio censal y manzana



En la figura 5b se muestra un ejemplo de la variabilidad de la distribución de la población de menores de 5 años de edad.

Para el cálculo de la dosis de F⁻ resultante de la exposición por vía inhalatoria de los niños que habitaran en cada lote urbano (manzana), se consideró que

la absorción del F⁻ es virtualmente completa por vía inhalatoria y equivalente a la absorción por vía digestiva.

Las dosis diarias de F⁻ calculadas para niños de hasta 5 años de edad se muestran en las figura 6a y 6b para la fecha seleccionada del 7 de mayo a modo de ejemplo.

Figura 6a. Distribución de los valores de dosis diaria de F⁻ gaseoso para niños menores de 5 años

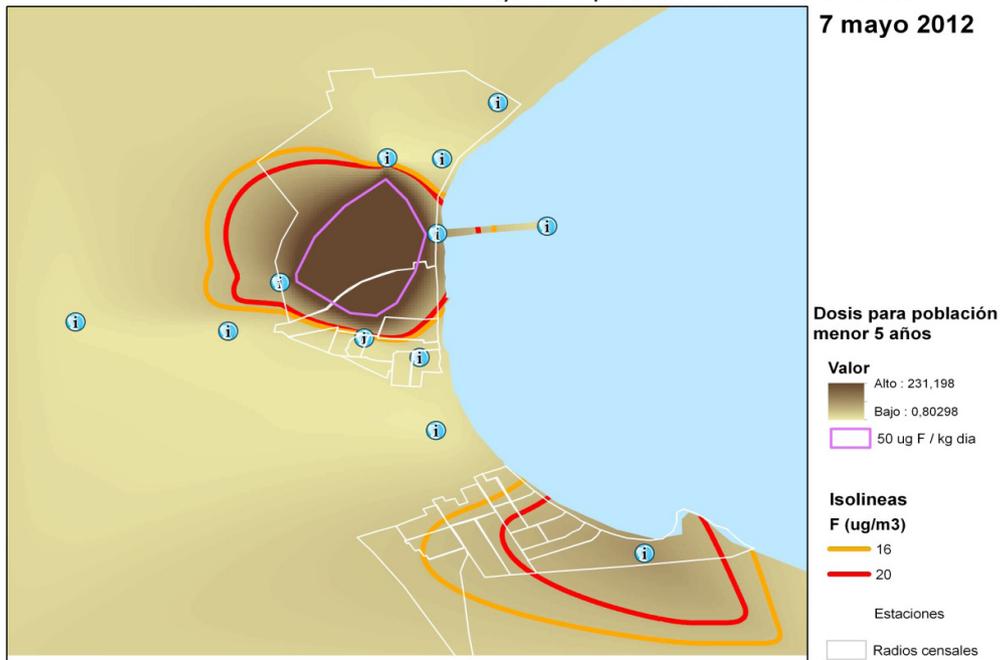


Figura 6b. Distribución de los valores de dosis diaria por manzana urbana



El valor de referencia de dosis (MRL - ATSDR de 50 µg F/kg/día) fue representado en una isolínea (en tono lila) que circunscribe un territorio donde no habita población alguna. El modelo espacial asigna un gradiente de tonalidades que representa en forma continua el cambio de los valores de dosis diaria (zona lila) para los puntos que identifican los pulmones de manzana (lotes urbanos) para una fecha seleccionada (7 de mayo).

CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

A partir del análisis espacial de la información de monitoreo de calidad de aire de Puerto Madryn y la superposición de estos resultados con la información censal 2010, que registró 8700 niños menores de 5 años en Puerto Madryn, y asignando residencia a los mismos a partir de la distribución por radio censal conocida

del 2001, se estimaron probabilidades de exposición de la población infantil de acuerdo al lote urbano de residencia. Se calculó el número de niños menores de 5 años que habrían sufrido exposición los días que se registraron valores de F⁻ superiores a 16 µg F/m³ durante el período ene-oct del año 2012, obteniéndose los datos que figuran en la tabla 3.

Tabla 3: Número estimado de niños menores de 5 años expuestos a valores de F⁻ superiores a 16 µg F/m³ durante el período ene-oct del año 2012

Fecha de la toma de muestra de aire ambiente			Días de toma de muestra	Nº de niños menores de 5 años expuestos a más de 16 µg F/m ³	Nº de días. niño de exposición
Año	Mes	Día			
2012	02	22	5	145	725
2012	04	27	4	127	508
2012	05	07	3	981	2943
2012	05	28	4	136	544
2012	06	04	3	162	486
2012	06	29	4	145	580
2012	07	06	4	695	2780
2012	07	10	4	331	1324
2012	07	13	3	189	567
2012	07	16	3	746	2238
2012	07	20	3	162	586
2012	08	06	3	145	435
2012	08	17	4	186	744
2012	08	24	3	162	486
2012	09	28	3	162	486
Total					15 332

Período cubierto por el relevamiento de datos:	01-ene-2012 al 22-oct-2012
Número de días considerados:	295
Población de niños menores de 5 años:	8700
Número de días.niño posibles:	2 566 600
% de días.niño con exposición superior a 16 µg F/m ³ :	0,6 (6 por mil)

De los 2 566 500 días.niño posibles, hubo exposiciones no deseadas en 15 332 días.niño en el período ene-oct del año 2012 (el 0,6 % o 6 por mil). Estas exposiciones no deseadas, aun cuando se refieran a concentraciones de F⁻ que exceden los valores guía establecidos por la autoridad ambiental local, en 1,5 días por mes en promedio, en los que en alguna estación de la red de monitoreo se superan los 16 µg F/m³, no representan un riesgo significativo para la salud de la franja etaria más vulnerable de la población de Puerto Madryn, por cuanto el cálculo de dosis diaria, está por debajo de los valores de dosis de referencia considerados (OMS y ATSDR) derivados de análisis de riesgo para la salud humana.

DISCUSIÓN

De la observación de los datos surge que el rango de concentraciones fue de 0,08 hasta 69,22 µg F/m³. El valor más alto de la serie corresponde a una medición realizada en una muestra de 5 días (120 horas, desde el 17/2/12 hasta el 22/2/12), y se encuentra corregida a 24 horas. Este dato no fue considerado para el análisis y se interpretó como una contaminación de la muestra debido a que las muestras de las otras estaciones de monitoreo para la misma fecha tuvieron resultados por debajo de los 5 µg F/m³, particularmente las estaciones Q y M que se encuentran más cerca del emisor y en esa misma dirección y porque la estación que da lugar a esta medición se encuentra localizada en un área no poblada (estación H: Caminera / Aeroclub).

Las concentraciones registradas de F⁻ gaseoso en el período estudiado no han superado el límite regulatorio del Gobierno de Chubut como promedio diario vigente en el lugar, de 20 µg/m³ (para percentil 95 de mediciones) y 16 µg/m³ (valor meta).

Estos resultados tampoco hacen esperables efectos nocivos para la salud de la población, si se comparan con el valor mínimo identificado de dosis (LOAEL por su sigla en inglés Lowest Observed Adverse Effect Level) de 410 µg/m³ (ATSDR) para el efecto irritante de las vías aéreas superiores, y los Valores Guía de Calidad de Aire para exposición aguda inhalatoria de 14 µg/m³ (promedio anual en California) y de 16 µg/m³ (OMS, ATSDR, DEFRA como promedio mensual). Más aún considerando que se trata de promedios de 24 horas y los valores de referencia se establecen para promedios mensuales o anuales.

Aún menos efectos se deberían esperar si los comparamos con valores de 160 µg/m³ (DEFRA para exposiciones de una hora) y 810 µg/m³ (EPA como Nivel Guía de Exposición de Población para 10 minutos hasta 8 horas).

Considerando que estos valores guía también protegen suficientemente contra los efectos sistémicos de la exposición crónica (MRL-ATSDR de 50 µg/kg/día), no habría riesgo de fluorosis dental, como efecto cosmético adverso para los niños menores de 6 años expuestos, ni de fluorosis esquelética como efecto crítico invalidante.

Aún así, se realizó un análisis espacial de las concentraciones de F⁻ gaseoso en el entorno de Puerto Madryn durante el año 2012, dado que algunas mediciones superan los niveles permitidos por la autoridad ambiental de la provincia como valor meta (si bien se cumple el valor asignado al percentil 95).

Si bien, de los 2 566 500 días.niño posibles, hubo exposiciones no deseadas en 15 332 días.niño en el período ene-oct del año 2012 (el 0,6 % o 6 por mil), en todas las manzanas contempladas en este análisis las dosis de exposición de los niños menores de 5 años (unos 8700 individuos, estimados a partir de datos de los CNPHV de los años 2001²⁴ y 2010²⁸) estuvo por debajo del LOAEL para efectos agudos por vía inhalatoria (410 µg/m³) y del nivel de riesgo mínimo para efectos crónicos de 50 µg/kg/día, indicando que no debieran esperarse efectos adversos, ni agudos ni crónicos resultantes de la exposición a las concentraciones de F⁻ en el aire de la ciudad.

Si bien estos valores no justifican la implementación de un programa activo de vigilancia de la salud ni estudio epidemiológico, dado la escasa posibilidad de aparición de enfermedades respiratorias vinculadas, han quedado señaladas las manzanas que serían objeto de medidas protectivas especiales y vigilancia de efectos respiratorios agudos ante eventos que significaran un riesgo de exposición a emisiones no controladas.

Respecto de las 2 estaciones que no tuvieron registros mayores de 16 µg F⁻/m³ aire (C Plaza SM y M Golfo), se sugiere evaluar las condiciones del entorno, como por ejemplo la rugosidad del terreno o algún factor topoclimático distintivo, y considerar la posibilidad de su traslado hacia otro punto de la ciudad.

CONCLUSIÓN

El modelo utilizado resultó una opción muy útil para estimar exposiciones y población expuesta a contaminantes ambientales en forma previa a la realización de los estudios epidemiológicos o la implementación de programas de vigilancia pasiva en determinadas áreas; para discernir sobre los beneficios que tendrán; para orientar la búsqueda de la población más probablemente afectada y aún, la decisión de realizarlos o no.

No obstante, como todo modelo, su eficacia en representar la realidad está condicionada a la calidad de los datos.

AGRADECIMIENTOS

A Miguel Pachetti y Claudio López Moreno del Departamento Control Ambiental de ALUAR por la toma de muestras de aire y análisis de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jensen SS. Mapping human exposure to traffic air pollution using GIS. *Journal of Hazardous Materials* 1998; 61:385-92.
2. Aránguez Ruiz E, Arribas García M, Aránguez Gilarranz J, Ordóñez Iriarte JM. Salud y territorio. Aplicaciones prácticas de los sistemas de información geográfica a la salud ambiental. Madrid. Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Serie De aeribus, aquis et locis no 2. 2012.
3. Navoni JA, De Pietri D, Garcia S, Villaamil Lepori EC. Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Panam Salud Pública* 2012;31(1):1-8.
4. De Pietri DE, García S, Rico O. Modelos geo-espaciales para la vigilancia local de la salud. *Rev. Panam Salud Pública* 2008; 23(6):394-402.
5. Chubut, Dirección General de Estadísticas y Censos, Estructura de población 2010. [citado 22/03/2018] Disponible en: http://www.estadisticaold.chubut.gov.ar/home/archivos/menuTematico/poblacion/3%20Piramides/Piramides_LOCALIDADES_2010.xls.
6. ALUAR Aluminio Argentino SAIC. Memoria y Balance ALUAR 2011-2012. [citado 21/03/2018] Disponible en: www.aluar.com.ar; www.cnv.gov.ar.
7. ATSDR. Principles of Pediatric Environmental Health. [Actualizado 17/01/2013; citado 21/03/2018] Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/csem.asp?csem=27&po=6>.
8. WHO. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. Fluoride. WHO Regional Publications, European Series, No. 91 World Health Organization Regional Office for Europe; 2000. pp 143-145. [citado 24/03/2018] Disponible en: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf.
9. Alberta Environment. Assessment report on hydrogen fluoride for developing ambient air quality objectives. Alberta, Canadá. [Actualizado en febrero 2006; citado 29/01/2018] Disponible en <http://aep.alberta.ca/air/legislation-and-policy/ambient-air-quality-objectives/documents/AssessmentReport-HydrogenFluoride-Feb2006.pdf>.
10. National Academy of Sciences/National Research Council. Citadopor National Oceanic and Atmospheric Administration. USA. gov. en Cameo Chemicals -Fluoride. [citado 3/03/2018] Disponible en: <http://cameochemicals.noaa.gov/chemical/5022#section5>.
11. DEFRA. Department for Environment, Food and Rural Affairs, Scottish Executive, National Assembly of Wales, Department

- of the Environment in Northern Ireland. Expert Panel on Air Quality Standards Guidelines for Halogens and Hydrogen Halides in Ambient Air for Protecting Human Health against Acute Irritancy Effects. London. [Actualizado en julio 2006; citado 29/01/2018] Disponible en: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20060716141118/http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/aqs/halogens/fullreport.pdf>.
12. EPA Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants. Hydrogen Fluoride. [Actualizado 09/2016; citado 18/02/2018] Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-10/documents/hydrogen-fluoride.pdf>.
 13. Disposición Dirección General de Protección Ambiental N° 73/2003. Boletín Oficial N° 9283 del 8 de Julio de 2003. Provincia de Chubut.
 14. Zavatti J. Informe sobre la Calidad del Aire en Puerto Madryn (Chubut - Argentina). Evaluación de los resultados de la concentración de fluoruro (F) en aire ambiente. Período Nov. 2009 - Oct. 2012; 2013. En Expediente N° 2236/2008-MAYCDS del Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable de la Provincia de Chubut.
 15. Zavatti J, Lopez Moreno C, Lifschitz J, Quiroga G. Monitoring air fluoride concentration around ALUAR smelter in Puerto Madryn (Chubut Province, Argentina). Light Metals 2011. Edited by: Stephen JL. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2011.
 16. Díaz Barriga F. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Lima; CEPIS; 1999. [citado 15/01/2018] Disponible en: www.bvsde.ops-oms.org/tutorial/fulltex/metodolo.pdf.
 17. National Academy of Sciences. Science and Decisions: Advancing Risk Assessment (NAS Final Report).2009. [citado 20/03/2018] Disponible en: <https://www.nap.edu/catalog/12209/science-and-decisions-advancing-risk-assessment>.
 18. IRIS- EPA. Chemical Assessment Summary. Fluorine (soluble fluoride). [Actualizado 31/01/1987; citado 20/02/2018] Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0053_summary.pdf.
 19. EPA. Fluoride Risk Assessment and Relative Source Contribution. [citado 22/02/2018] Disponible en: <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/fluoride-risk-assessment-and-relative-source-contribution>.
 20. ATSDR. Toxicological profile for fluorides, hydrogen fluoride and fluorine. UUSS. Department of Health and Human Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [Actualizado en septiembre 2003; citado 18/03/2018]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp11.pdf>.
 21. WHO. Fluorides. Environmental Health Criteria, No. 227. Geneva, World Health Organization; 2002. [citado 18/03/2018] Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc227.htm>.
 22. OEHHA. Chronic Toxicity Summary. Fluorides. [actualizado 07/2002; citado 20/03/2018] Disponible en: <https://oehha.ca.gov/media/downloads/air/document/7664393.pdf>.
 23. Navntoft C. Modelado de la dispersión atmosférica de las emisiones de fluoruros que genera la planta de ALUAR en Puerto Madryn. UTN. 2013. En Expediente N° 2236/2008-MAYCDS del Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable de la Provincia de Chubut.
 24. INDEC Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Serie 2. Argentina.
 25. EPA. Exposure Factors Handbook, 1997. cap.5. [Actualizado 1997; citado 20/03/2018] Disponible en: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=12464>.
 26. Código Alimentario Argentino. Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. [Actualizado en 2007, citado 20/03/2018] Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf.
 27. OEHHA. Air Toxicology and Epidemiology. 2016. [Actualizado 28/06/2016, citado 20/03/2018] Disponible en: <http://oehha.ca.gov/air/allrels.html>.
 28. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo nacional de población, hogares y viviendas 2010. Censo del Bicentenario: resultados definitivos, Serie B n° 2.- 1a ed.