

FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

**“ANÁLISIS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DE
FUENTES PUNTUALES EN SANTA ROSA, LA PAMPA”**

VIDELA, Alexis Emmanuel

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES
Y
MEDIO AMBIENTE**

SANTA ROSA (LA PAMPA)
ARGENTINA

AÑO 2021

PRÓLOGO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en Santa Rosa, La Pampa, en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam, durante el período comprendido entre el 1 de junio de 2018 y el (Fecha de defensa de la Tesina), bajo la dirección de López, María Laura y bajo la codirección de Caramuti, Valeria Eugenia.



Alexis Emmanuel Videla

3 de septiembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

Se expresa el agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de tesina:

A mi directora y codirectora López, María Laura y Caramuti, Valeria Eugenia, respectivamente, por guiarme y apoyarme en este trabajo final de grado.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam por darme el espacio y por brindarme a través de la educación gratuita y pública, la posibilidad de formarme en esta hermosa carrera.

A las empresas que fueron objeto de estudio de mi tesina: la fábrica de alimentos balanceados VITABULL S.A. y la fábrica de columnas para alumbrado público de la Cooperativa Popular de Electricidad (CPE) de la provincia de La Pampa. Agradezco plenamente su predisposición por brindarme los datos necesarios para cumplir con mis objetivos.

A mi familia, ya que sin ellos no podría haber realizado y logrado todo esto.

Y finalmente a mis amigos, ellos fueron quienes me apoyaron en todo momento y me ayudaron a ser lo que soy ahora. Especialmente gracias a Flor y Martín por dejarme estar y acompañarlos codo a codo en cada práctico, examen, exposición, etc.



Alexis Emmanuel Videla

3 de septiembre de 2021

La presente Tesina realizada por Videla, Alexis Emmanuel fue aprobada el día 14 de octubre de 2021 por la Comisión de Tesina integrada por:



.....
Dra. María Laura López



.....
Mag. Laura Mabel WISNER



.....
Dr. Ramón Alberto SOSA

RESUMEN

Generalmente la calidad del aire en ciudades pequeñas y medianas carece de control o regulaciones. Por ende, pueden estar ignorando las posibles consecuencias que las emisiones atmosféricas podrían provocar. En esta tesina se planteó analizar el impacto de las emisiones provenientes de dos fábricas ubicadas en el barrio Parque Industrial de Santa Rosa, La Pampa durante el año 2017. Con la utilización de dos modelos de dispersión atmosférica, SCREEN3 y HYSPLIT, se determinó la concentración máxima de distintos contaminantes en diferentes escalas temporales (10 minutos, horaria, diaria y anual) y la distribución de vientos a nivel estacional y anual. Estos datos fueron comparados con diferentes guías de calidad de aire. Se concluyó que, por las condiciones del terreno llano, la estabilidad atmosférica y los regímenes de funcionamiento, ambas fábricas poseen una muy buena dispersión de sus emisiones. Las concentraciones de todos los contaminantes emitidos no excedieron los límites recomendados por las guías de calidad. En general, los barrios ubicados al NE y SE de las fábricas podrían haber sido los más afectados por la polución generada. Este trabajo resalta la importancia de la utilización de los factores de emisión y los modelos de dispersión atmosférica en los estudios de calidad ambiental. Además, denota la necesidad de planificar la ubicación de las fábricas complementando con estándares de calidad apropiados para que sus emisiones no afecten a la población.

ABSTRACT

Generally, the air quality in small and medium-sized cities lacks control or regulations. Therefore, they may be ignoring the possible consequences that air emissions could cause. In this thesis, it was proposed to analyze the impact of the emissions from two factories located in the Parque Industrial neighborhood of Santa Rosa, La Pampa during 2017. With the use of two atmospheric dispersion models, SCREEN3 and HYSPLIT, the maximum concentration value of different pollutants was determined on different time scales (10 minutes, hourly, daily and annual) and the distribution of winds at a seasonal and annual level was also determined. These data were compared with different air quality guides. It was concluded that, due to the flat terrain conditions, atmospheric stability and operating regimes, both factories have a very good dispersion of their emissions. The concentrations of all emitted pollutants did not exceed the limits recommended by the quality guidelines. In general, the neighborhoods located NE and SE of the factories could have been the most affected by the pollution produced. This work highlights the importance of the use of emission factors and atmospheric dispersion models in environmental quality studies. In addition, it denotes the need to plan the location of the factories, complementing them with adequate quality standards so that their emissions do not affect the population.

ÍNDICE GENERAL

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>Generalidades</u>	1
1.2. <u>Inventario de emisiones</u>	2
1.3. <u>Modelos de dispersión atmosférica</u>	4
1.4. <u>Situación problemática</u>	12
1.4.1. <u>A nivel global</u>	12
1.4.2. <u>Argentina</u>	13
1.4.3. <u>La Pampa</u>	14
1.5. <u>Objetivo General</u>	15
1.6. <u>Objetivos Específicos</u>	15
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
2.1. <u>Área de estudio</u>	16
2.2. <u>Relevamiento de fábricas y modelo de encuesta</u>	17
2.3. <u>Fuentes fijas puntuales seleccionadas</u>	19
2.3.1. <u>Fábrica de alimentos balanceados</u>	19
2.3.2. <u>Fábrica de columnas de alumbrado urbano</u>	20
2.4. <u>Factores de emisión</u>	21
2.5. <u>Modelos</u>	25
2.5.1. <u>SCREEN View (SCREEN3)</u>	25
2.5.2. <u>HYSPLIT</u>	28
2.6. <u>Guía de calidad de aire</u>	28
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIONES</u>	30
3.1. <u>SCREEN View (SCREEN3) y CO₂ equivalente</u>	30
3.1.1. <u>Comparación con otros autores</u>	34
3.1.2. <u>Emisiones de CO₂ equivalente</u>	35
3.2. <u>HYSPLIT</u>	36
3.3. <u>Guía de calidad de aire</u>	40
3.4. <u>Ubicación estratégica</u>	44
4. <u>CONCLUSIONES</u>	45
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	47
6. <u>ANEXO</u>	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

A lo largo del tiempo la humanidad, en su afán de perpetuar su existencia y búsqueda de progreso, ha generado modificaciones en el ambiente con el fin de aprovechar sus recursos naturales, en detrimento de los mismos. En consecuencia, este deterioro del medio produjo una reducción de la calidad ambiental (condiciones básicas necesarias para el desarrollo normal de la vida), afectando directa o indirectamente a los diferentes seres vivos (Gómez y Sabeh, 2000; Burgui, 2008).

Una de esas condiciones básicas tiene que ver con la calidad del aire que se respira. Al hablar de calidad, se hace referencia a los límites aceptables de concentraciones de compuestos que componen al aire respirable; a la vez, es necesario definir qué se entiende por contaminación del aire. De acuerdo a diversos autores, la contaminación del aire es la presencia en el ambiente de cualquier agente de origen antrópico (físico, químico o biológico) en lugares, formas y concentraciones que pueden alterar las condiciones naturales del medio y ser nocivos para la salud humana, la seguridad o para el bienestar de la población y del ecosistema (Battista, 2017; Cincinelli y Katsoiannis, 2016; Skromulis *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2017).

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse en:

- Contaminantes primarios: los cuales son vertidos directamente a la atmósfera (Figueroa y Dávila, 2004). Sólo seis de los contaminantes primarios causan más del 90% de la contaminación atmosférica: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), amoníaco (NH₃), compuestos orgánicos volátiles excepto metano (COVEM) y material particulado (PM, por las siglas en inglés *particulate matter*) (MP) (Finlayson-Pitts y Pitts, 2000).
- Contaminantes secundarios: éstos se forman en el seno de la atmósfera a través de procesos químicos o fotoquímicos (inducidos por la radiación solar) que sufren los contaminantes primarios (Figueroa y Dávila, 2004). Dentro de éstos, el más importante es el ozono (O₃) (Finlayson-Pitts y Pitts, 2000). Pero en este punto debe diferenciarse el O₃ que actúa a nivel de la superficie terrestre como contaminante secundario, del O₃ que actúa como filtro para que la radiación ultravioleta (UV) más energética no alcance la superficie terrestre. Este último, se ubica en la estratosfera y constituye la denominada "capa de ozono", mientras que el O₃ que actúa como

contaminante atmosférico se forma a partir de compuestos orgánicos volátiles (COV) y NO_x .

Las emisiones atmosféricas pueden originarse en:

- Fuentes fijas: son fuentes de emisión inamovibles, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa. Éstas pueden ser puntuales (cuando la descarga se produce por ductos o chimeneas), como las fábricas de alimentos balanceados; o dispersas (cuando los puntos de emisión fijos se dispersan en un área por efecto del mecanismo de emisión y por encontrarse en gran número), como en el caso de caminos sin pavimentar (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del Gobierno de Colombia - MAyDSGC, 2017).
- Fuentes móviles: son fuentes que, por su diseño, uso o propósito, se desplazan. Un ejemplo de este tipo de fuente son los automóviles (MAyDSGC, 2017).

Desde el año 1970 la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas del inglés), lleva a cabo la misión de proteger la salud humana y al ambiente mediante la elaboración de regulaciones legales y estándares de calidad que los distintos Estados pueden aplicar según su criterio. Uno de los pilares importantes dentro del campo de su interés es el estudio de la contaminación del aire, el cual propicia mediante el desarrollo de información e instrumentos para la gestión de la calidad del aire a distintos niveles de organización (económica, social, política, entre otras).

1.2. Inventario de emisiones

Una manera de gestionar la calidad del aire y las actividades humanas que influyen en ella son los inventarios de emisiones. Éstos son bases de datos que recopilan información de distintas fuentes en un determinado periodo de tiempo (Olague, 2017). Sus principales usos son brindar información para la toma de decisiones respecto a las políticas medioambientales de una ciudad, provincia, país, etc.; evaluar el impacto de las emisiones fuera de las fronteras de una región determinada y determinar cuáles actividades, industrias o áreas son más o menos contaminantes. A partir de ellos se pueden proponer medidas de mitigación, evaluar el cumplimiento de las normas de calidad de aire, entre otras acciones. (MAyDSGC, 2017). Para elaborar un inventario de emisiones se deben tener en claro los objetivos del mismo. Asimismo, existen dos enfoques fundamentales que sirven como punto de partida para definir cómo realizarlo. En el primero (*top-down*) se realiza un análisis en una escala espacio-temporal amplia, yendo desde lo general a lo particular. Un ejemplo de ello puede ser la evaluación de emisiones de una determinada macro actividad dentro de un país (ej.

producción de energía). En el segundo (*bottom-up*) se realiza un estudio enfocado en actividades de una ciudad o grupo de actividades en el cual se miden sus emisiones y su influencia en el entorno inmediato. Cabe destacar que este último aporta información que puede ser relevante para el primer enfoque (MAyDSGC, 2017).

Para confeccionar un inventario de emisiones basado en el enfoque *bottom-up* se puede recurrir a cuatro técnicas aprobadas por la EPA:

- Muestreo en la fuente de emisión: generalmente se realiza esta técnica cuando se dispone del financiamiento adecuado para afrontar los costos que demanda. Suelen utilizarse sondas o diferentes dispositivos que se utilizan en el mismo sitio de emisión, o también suele realizarse la toma de muestras que luego se analizarán en laboratorio para determinar la concentración de los contaminantes, sus tasas de emisión en condiciones de funcionamiento de carga normal o superior, etc. (Olague, 2017).

Ejemplos:

- Tubos de reacción: son tubos, generalmente de vidrio, donde el contaminante reacciona ante un reactivo específico. Dicha reacción provoca una variación en el color en función de la concentración de tal contaminante (Crespo, 2008).
- Métodos de absorción: donde el gas muestreado pasa por un absorbente que retiene el contaminante por disolución o por reacción química, provocando cambios físico-químicos o formando compuestos nuevos que luego pueden ser analizados en el laboratorio (Crespo, 2008).
- Métodos de adsorción: donde una sustancia sólida es capaz de adsorber un contaminante determinado (por ejemplo, el carbón activo para compuestos orgánicos no polares). Luego esta sustancia es llevada al laboratorio para determinar la concentración del contaminante por pesada o por análisis químico de desorción (Crespo, 2008).
- Modelos computacionales: se fundamentan en principios físicos y químicos y permiten la estimación teórica de la composición atmosférica y su evolución espacial y temporal (Olague, 2017). Fueron diseñados en un principio para la estimación de emisiones de procesos específicos del petróleo y del gas. Generalmente su aplicación requiere cierta información, tal como conocer las propiedades físicas y químicas de materiales relevantes, las condiciones de operación y las características de la fuente de emisión, entre otras (Olague, 2017).
- Cálculos de ingeniería: se trata de cálculos enfocados en obtener información específica de un sistema dentro de un proceso de producción, en los que se utilizan supuestos en lugar de datos reales para realizar la estimación de emisión (Olague, 2017).

- **Factores de emisión:** relacionan las tasas medias de efluentes liberados a la atmósfera con una actividad productiva específica (EPA, 2013). Los factores de emisión son los que comúnmente se utilizan para iniciar un inventario de emisiones por su sencillez al momento de aplicarlo a una industria o grupo de fuentes determinadas y por su bajo costo de ejecución.

En lo que respecta a los factores de emisión, específicamente, a partir del año 1972 la EPA publica una compilación de factores de emisión (FE) de contaminantes del aire para fuentes fijas puntuales, también conocidas como AP-42 (EPA, 2013). Estos documentos muestran las tasas de emisión de los distintos FE según el tipo de fuente y combustible utilizado. Tienen una amplia aplicación en campos de estudio de todo tipo, como por ejemplo el análisis de la erosión del viento en actividades de construcción (Liu *et al.*, 2017), la elaboración de modelos de estireno en la industria del plástico reforzado (Haberlein, 1998), la estimación de las concentraciones máximas esperables de contaminantes atmosféricos en una fábrica de cemento (Bayala, 2017), entre otras.

1.3. Modelos de dispersión atmosférica

Al producirse las emisiones atmosféricas, los contaminantes son transportados y dispersados de acuerdo a las condiciones meteorológicas y topográficas del entorno, hasta que finalmente se depositan sobre la superficie o disipan hacia las capas atmosféricas superiores. Los modelos de dispersión representan un método eficaz para comprender el comportamiento de las masas de aire y calcular la concentración de contaminantes depositados a nivel del suelo y a diferentes distancias desde la fuente de emisión. En la elaboración de estos modelos se usan representaciones matemáticas de los factores que afectan la dispersión de los contaminantes, tales como la estabilidad atmosférica, la dirección y velocidad del viento, el efecto aerodinámico de edificios y colinas, la condición de la chimenea y la topografía del entorno (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017). Éstos se explican a continuación:

- **Estabilidad atmosférica:** el movimiento vertical de las masas de aire afecta directamente al transporte y dispersión de los contaminantes. Este movimiento se explica a partir de la relación entre el gradiente adiabático (variación de temperatura de una masa de aire ascendente) y el gradiente real de temperatura del aire circundante (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

En presencia de una atmósfera estable, si una masa de aire es forzada a ascender a los 1000 metros de altura con un gradiente vertical de temperatura (GVT) del aire que la rodea menor que el gradiente adiabático seco (GAS), la masa de aire tendría

menor temperatura que su entorno y comenzaría a descender. (Figura 1). La pluma (emanación de gases ‘visibles’ desde una fuente puntual -aclaración: hay gases que por su naturaleza física no pueden ser vistos a simple vista, pero pueden detectarse empleando los instrumentos adecuados-) se dispersa de manera pareja en todas las direcciones. Por otro lado, cuando se tiene una atmósfera inestable, sucede lo contrario porque la masa de aire forzada a ascender a 1000 metros de altura se encuentra con un GVT del aire que la rodea mayor que el GAS la masa de aire continuará ascendiendo (Figura 2). En este caso se observa como la pluma se dispersa de manera dispereja, es decir, con tendencias a proyectarse hacia el suelo o ganando más altura o una combinación de las dos anteriores. (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

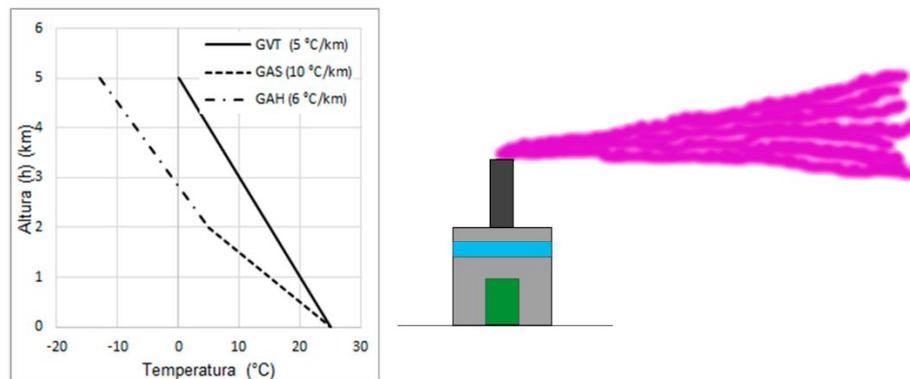


Figura 1. Condición de estabilidad atmosférica. La línea continua representa el gradiente vertical de temperatura (GVT), la línea de guiones el gradiente adiabático seco (GAS) y la línea de guion y punto es el gradiente adiabático húmedo (GAH). Se muestra una ilustración de dispersión de la pluma de contaminación en esta condición.

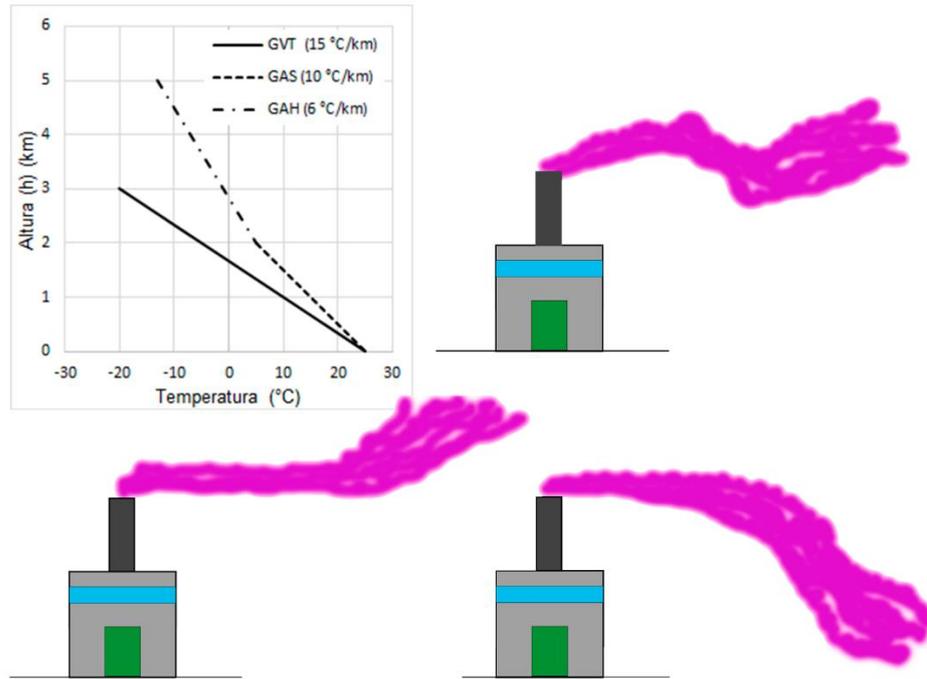


Figura 2. Condición de inestabilidad atmosférica. Condición de inestabilidad atmosférica. La línea continua representa el gradiente vertical de temperatura (GVT), la línea de guiones el gradiente adiabático seco (GAS) y la línea de guion y punto es el gradiente adiabático húmedo (GAH). Se muestran tres ilustraciones de dispersión de la pluma de contaminación en esta condición.

Un caso particular dentro de los fenómenos meteorológicos es el de la inversión térmica. Éste se produce cuando surgen puntos de inversión en el perfil vertical de temperatura, puntos que presentan diferente signo. Las capas de inversión son zonas ubicadas entre dos puntos de inversión. La química medioambiental encuentra importancia en este fenómeno porque al formarse esta capa, una masa de aire puede estancarse a cierta altura, esto limita el mezclado de contaminantes con el resto de la atmósfera, funcionando muchas veces como un contenedor, aumentando las reacciones entre los compuestos y generando, en algunas ocasiones, productos más nocivos (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

Existen dos tipos comunes de inversión térmica:

- Inversión topográfica: sucede a nivel local, cuando las paredes de los valles se enfrían en la noche, el aire adyacente desciende su temperatura y cae dentro del valle, atrapando a la masa de aire con sus contaminantes (Figura 3) (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

- Inversión por radiación: sucede en las noches despejadas. La superficie terrestre comienza a perder calor, el aire adyacente se enfría y se genera una capa de aire frío y por encima una de aire caliente. Al amanecer, por acción de la radiación solar, comienza a calentarse la superficie y la masa de aire más cercana, generando una capa limitada de mezclado. Al continuar el día, el aire sigue elevando su temperatura por lo que probablemente la inversión térmica desaparezca (Figura 4) (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

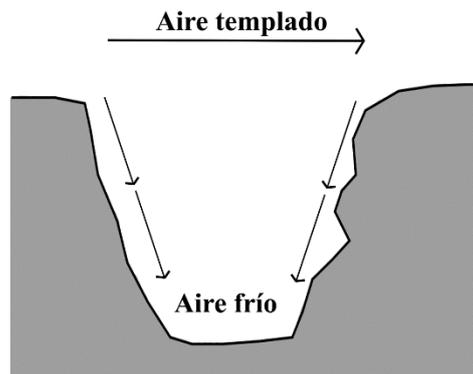


Figura 3. Inversión térmica de tipo topográfica.

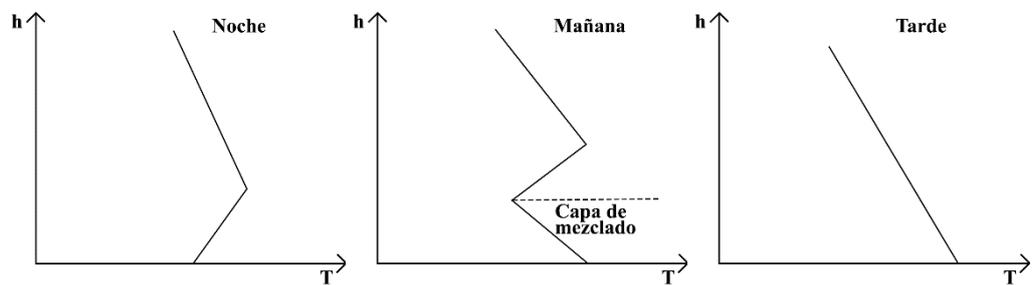


Figura 4. Gráficos representativos de inversión térmica por radiación. La línea continua muestra la variación del perfil de temperatura (T) en relación a la altura (h).

- **Dirección y velocidad de los vientos:** los contaminantes se propagan a través del viento y se dispersan por turbulencias en varias direcciones: izquierda y derecha, arriba y abajo. La Figura 5 muestra un ejemplo del efecto del viento sobre la propagación de los contaminantes, donde un cambio en la dirección horizontal puede significar que una población cualquiera pueda verse afectada o no por los contaminantes emitidos desde la chimenea de la fábrica (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

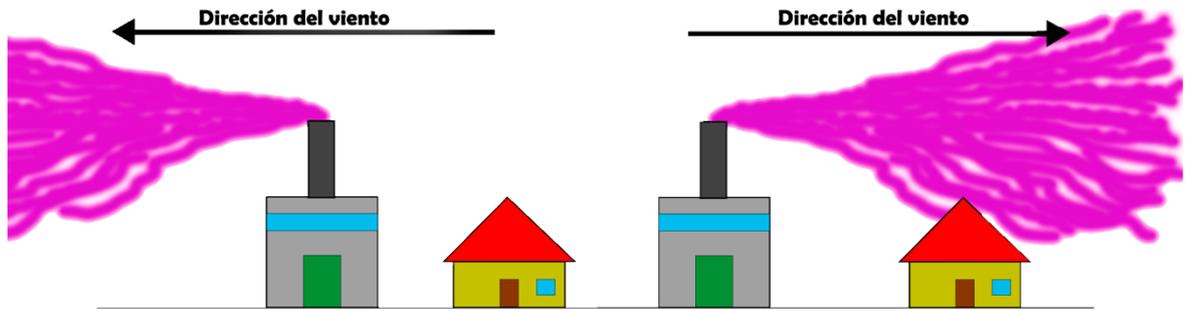


Figura 5. Ejemplos de la influencia de la dirección de los vientos en fuentes puntuales estacionarias.

- **Efectos aerodinámicos de edificios y colinas:** cuando la fuente de emisiones se encuentra sobre un edificio (o colina), ésta debe tener una altura suficiente con respecto al tejado o cima, para evitar la dispersión de contaminantes hacia el suelo. Por lo general, se recomienda que la altura mínima de la fuente de emisión debe superar por una vez y media la altura del edificio o colina (Figura 6) (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

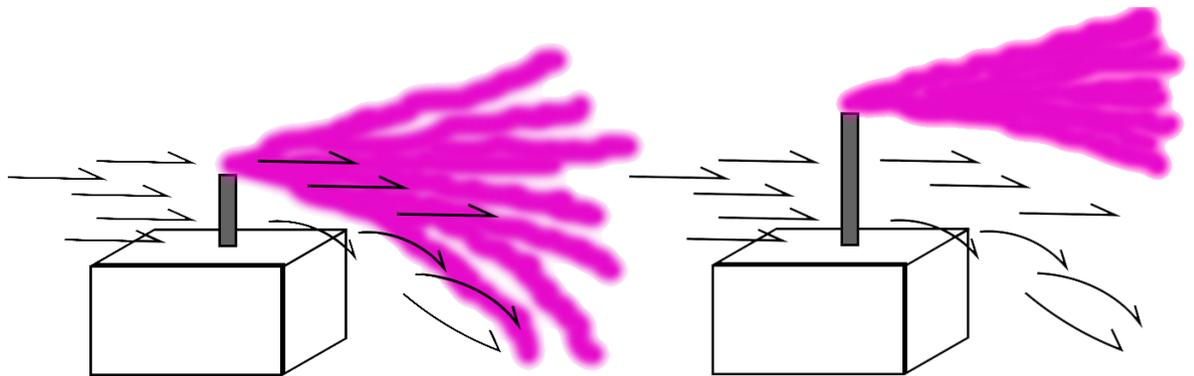


Figura 6. Ejemplificación gráfica del efecto aerodinámico de la pluma de contaminación con dos alturas de chimeneas diferentes.

- **Condiciones de la chimenea:** la altura de la chimenea influye también en el mezclado y distancia de deposición de la pluma contaminante. Entonces, se tiene que las chimeneas de mayor altura propician un mayor mezclado del volumen de contaminantes emitidos hacia el aire y a su vez disminuye su concentración al momento de hacer contacto con el suelo (Figura 7) (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

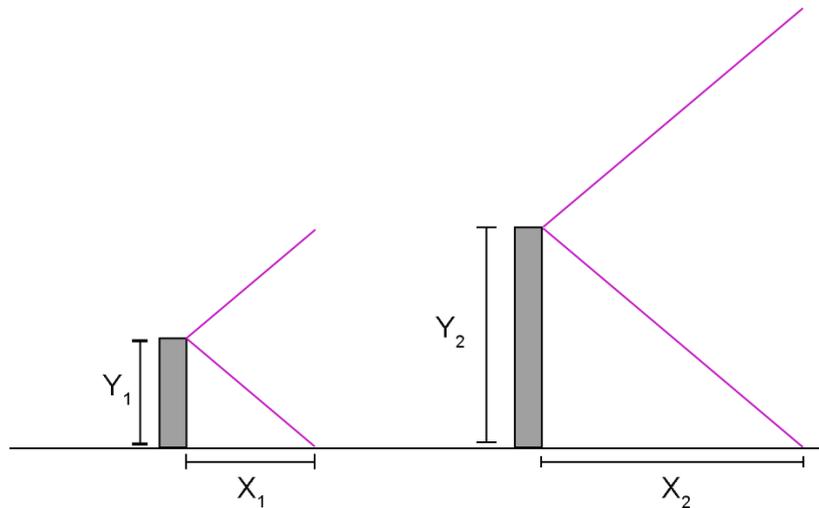


Figura 7. Influencia de la altura de la chimenea sobre la dispersión y distancia de deposición de los contaminantes de la pluma. Donde X es la distancia desde el punto de emisión e Y la altura de la chimenea.

- **Topografía del entorno:** las condiciones del terreno afectan la dispersión y arrastre de elementos contaminantes a través del aire. La topografía en general juega un rol fundamental en el comportamiento de las masas de aire. Ésta puede obstaculizar las corrientes de viento, provocando la acumulación de cargas contaminantes por obstrucción (Figura 8) (CORNARE, 2016; Galindo, 1999; Lagos, 2017).

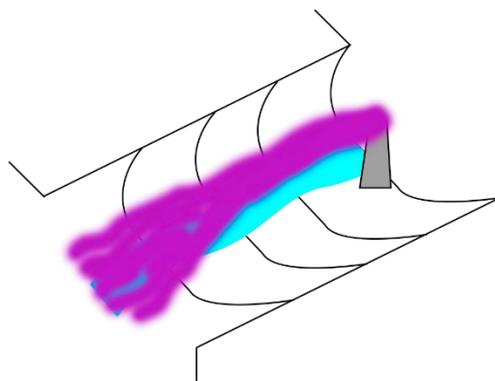


Figura 8. Escenario gráfico donde la pluma de contaminación se ve afectada por la topografía.

De esta manera, el uso combinado de los factores de emisión y de los modelos de dispersión constituyen alternativas muy aceptadas por la comunidad científica al momento de analizar la calidad del aire en sitios en los cuales no se dispone de mediciones de concentración de

contaminantes atmosféricos (Olague, 2016; Pilla y Broderick, 2015; AlRafea *et al*, 2016; Van Leuken *et al*, 2016).

Actualmente, el modelo gaussiano SCREEN3 es una de las herramientas más reconocidas y sencillas para la evaluación ambiental de la calidad del aire industrial. Éste es un modelo de dispersión que permite estimar las máximas concentraciones de contaminantes en cualquier punto en base a datos de emisión, de ubicación de las fuentes emisoras y de información meteorológica (EPA, 1995a).

Un modelo gaussiano de dispersión de contaminantes supone que la pluma se eleva hasta cierta altura efectiva. Una vez que los efluentes salen de la fuente de emisión, éstos se mueven en dirección del viento (x) con velocidad (u) y se dispersan horizontal y verticalmente por turbulencia atmosférica (y , z). Cada conjunto de ejes de coordenadas se calcula a nivel del suelo. Esta dispersión sigue una distribución gaussiana y responde a la siguiente fórmula (EPA, 1995b):

$$P = \frac{QKV D}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0,5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (1.1)$$

Donde P es la concentración del contaminante (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Q es la cantidad de contaminante emitido por unidad de tiempo (g/s), K es un coeficiente para convertir las concentraciones calculadas en las unidades deseadas (valor predeterminado de 1×10^6 para Q en g/s y concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), V es el término que explica la distribución vertical de la pluma gaussiana (tiene en cuenta los efectos de la elevación de la fuente, la elevación del receptor y el aumento de la pluma), D es un término que permite calcular la tasa de descomposición o eliminación de los contaminantes por procesos físicos y químicos, u es la velocidad del viento y σ_y y σ_z son coeficientes de dispersión turbulenta que actúan en función de la clase de estabilidad y de la distancia a la fuente en la dirección del viento.

La Figura 9 esquematiza la distribución de contaminantes emitidos por una fuente puntual estacionaria y cómo éstos pueden ser explicados a través del modelo gaussiano y las variables mencionadas anteriormente.

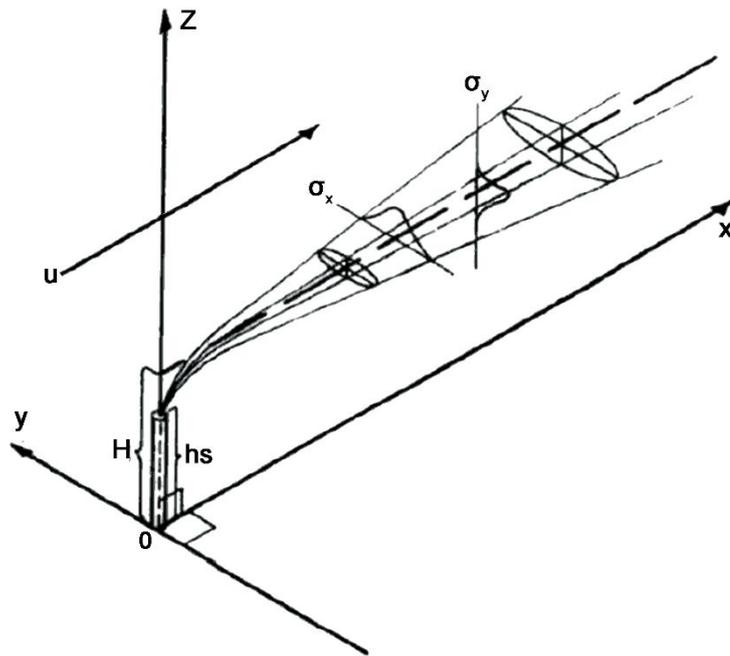


Figura 9. Diagrama de base para el modelo de dispersión gaussiana. Donde x es la dirección de emisión de la pluma (en función del viento), y y z la dirección de la dispersión por efecto de la turbulencia, u la dirección del viento, σ_y y σ_z los coeficientes de dispersión, H es la altura efectiva de la pluma y h_s es la altura de la chimenea (Sastoque, 2007).

Los coeficientes de dispersión σ_y y σ_z se calculan empíricamente en función de la distancia x y la turbulencia atmosférica o siguiendo las categorías de estabilidad y viento de Pasquill y Griffith (Thé *et al*, 2016)

Otra herramienta muy utilizada en las ciencias atmosféricas es el modelo Híbrido Lagrangiano de Trayectoria Integrada de Partícula Única (HYSPLIT, por sus siglas en inglés) diseñado por el Laboratorio de Recursos Aéreos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA USA ARL, por sus siglas en inglés) para el cálculo de trayectorias de partículas simples en el aire, dispersión y simulaciones complejas de deposición (Draxler y Rolph, 2003). HYSPLIT ofrece la facilidad de ejecutarse en una plataforma online con datos meteorológicos archivados de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés) del NOAA.

El método de cálculo del modelo es un híbrido entre el enfoque Lagrangiano, que utiliza un marco de referencia móvil para los cálculos de advección y difusión a medida que las trayectorias o parcelas aéreas se mueven desde su ubicación inicial y la metodología Euleriana, que utiliza una cuadrícula tridimensional fija como un marco de referencia para calcular las concentraciones de contaminantes en el aire (ARL, 2019).

Las aplicaciones del modelo HYSPLIT son diversas, desde responder a emergencias atmosféricas (accidentes radiológicos, erupciones volcánicas, etc.), o rutinarias como controles ambientales asociados a emisiones de contaminantes atmosféricos (por ejemplo, partículas atmosféricas) (ARL, 2019).

Al combinar el modelo SCREEN3 con el modelo HYSPLIT no sólo se puede calcular el tipo y cantidad de contaminante que se emite, sino también la trayectoria de dispersión y deposición.

1.4. Situación problemática

1.4.1. A nivel global

En 2018, la Organización Meteorológica Mundial (2018) informa que las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) de CO₂, CH₄ y N₂O alcanzaron una abundancia mundial de 405,5 g/m³; 1,859 g/m³ y 0,3299 g/m³, respectivamente. Si se compara con la época preindustrial (1750) éstos aumentaron un 146%, 257% y 122%, respectivamente. Por otro lado, la NOAA (2017) registró el año 2017 como el tercero más cálido desde 1880, con una temperatura promedio global terrestre y oceánica de 0,84°C por encima del promedio del siglo XX de 13,9°C, ubicándose detrás de 2016 (mayor temperatura de la serie 1880-2017) y 2015. Es evidente el impacto de la actividad antrópica sobre el planeta y son varios los reportes e informes que, a nivel mundial, evidencian el estado del ambiente, la salud de la población y cómo las diversas actividades antrópicas influyen directa e indirectamente sobre éstos.

Algunas publicaciones, como la *Situación Ambiental Argentina 2000* de Bertonatti y Corcuera (2000), resaltan el gran deterioro de la calidad ambiental en nuestro país debido al acelerado crecimiento urbano e industrial que no se encuentra acompañado por políticas, conocimientos de base científica y estrategias que permitan mitigar la contaminación y degradación producidas. Por otro lado, en *Prevención de enfermedades a través de ambientes saludables* (OMS, 2016) se calcula que, de los 12,6 billones de muertes ocurridas en el mundo en 2012, un 23% sucedió a causa de factores ambientales tales como: contaminación de aire, agua y suelo proveniente de industrias, agro-industrias y zonas urbanas, vectores de enfermedades biológicas, etc. Recientemente el IPCC (2018) publicó el informe “Calentamiento Global de 1,5°C” donde se expone el estado actual del planeta y cuál sería el panorama si superáramos el umbral de calentamiento global de 1,5°C.

El estado del ambiente en Latinoamérica es consecuencia de una serie de sucesos y/o decisiones que fueron allanando el camino hacia este punto. Por ejemplo, la adopción de

tecnologías de procesos y de insumos sin realizar un análisis previo sobre su impacto ambiental o sin considerar cuáles fueron las experiencias de otros países que las desarrollaron o implementaron previamente. A su vez, saltan a la vista las consecuencias de aquellas acciones, como el desarrollo urbanístico desmedido o la excesiva explotación de los recursos naturales, que provocan pérdida de biodiversidad, fragmentación y pérdida de hábitats naturales, contaminación de diferentes tipos, enfermedades, mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos, entre otras (Viglizzo y Carreño, 2001; Viglizzo y Jobbágy, 2010; Barragán, 2010).

En la actualidad, la deficiente calidad del aire de las áreas urbanas tiene un impacto negativo en el desarrollo económico y social de los países, ubicándolos en una posición desfavorable en la economía global (CAI, 2012). Además, produce un deterioro en la calidad de vida de la población al generar o agravar enfermedades agudas o crónicas de índole respiratorio (Diez *et al*, 2011). A esto se suma la ausencia -o escasez- de investigación e impulso de programas, políticas y estrategias para mejorar la calidad del aire (CEPAL, 2013).

1.4.2. Argentina

La preocupación por los efectos negativos de la contaminación atmosférica se encuentra limitada a los grandes centros urbanos de la República (Área Metropolitana de Buenos Aires, Córdoba, Rosario y Tucumán).

A partir de la adopción del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 (ratificado en 1993), el Protocolo de Kioto en 1997 (ratificado en 2001) y el Acuerdo de París en 2015 (ratificado en 2016), se creó el Gabinete Nacional de Cambio Climático para diseñar e implementar políticas públicas coherentes y consensuadas para disminuir las emisiones de GEI y responder antes los impactos del Cambio Climático. Dicho Gabinete propuso como meta para el año 2030 no exceder los 483 MtCO₂eq (MAyDS, 2017).

Para lograr esto, se dieron a la tarea de desarrollar un Inventario Nacional de GEI adoptando la metodología *Top-Down*, donde los datos de las principales actividades productivas del país y los Factores de Emisión, fueron utilizados para calcular las emisiones producidas en el territorio argentino y categorizarlas por sectores, provincias, etc.

En 2019 se presentó el *Tercer Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático*. Aquí se reporta que en el año 2016 las emisiones totales alcanzaban los 364,436 MtCO₂eq. Éstas se encuentran distribuidas en un 53% para el Sector Energía, 37% para Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra, 6% para Procesos Industriales y Uso de Productos y 4% en

Residuos. En general, el informe muestra una tendencia hacia la reducción de las emisiones (SGAyDS, 2019).

1.4.3. La Pampa

En el marco del *Tercer Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático* (SGAyDS, 2016) y el *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de y Monitoreo de Medidas de Mitigación* presentado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS, 2019), en el 2016, se informó que La Pampa emitió 4,8 MtCO₂eq, repartido entre un 60,56% para la Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra, 37,48% para el Sector Energía, 0,02% para Residuos y 0,0004% para Procesos Industriales y Uso de Productos. Es esperable que la mayoría de las emisiones provengan del sector agropecuario, dado que esta es la actividad predominante de la provincia. En cuanto a la energía (una de sus categorías toma en cuenta a aquellas actividades que usan aparatos a base de combustibles para calentar, producir calor o trabajo mecánico), se ha mantenido medianamente constante en relación a años anteriores (MAyDS, 2019).

Desde el punto de vista de la provincia, existe un punto débil respecto al control, evaluación, monitoreo y, en general, toda actividad relativa a la regulación de las emisiones atmosféricas por parte de los distintos organismos gubernamentales y/o empresas debido a la falta de leyes que exijan y responsabilicen sobre la realización de este tipo de actividades. El Decreto N°569/13, que establece las *Normas de Protección del Aire Atmosférico* en el marco de la Ley Ambiental Provincial N° 1914, es el último registro accesible y vigente sobre la regulación de las emisiones atmosféricas y se desconoce la efectividad en la aplicación y control de esta norma. La mayoría de los controles de emisiones de gases contaminantes se concentran en la zona petrolera de la provincia, administrada por organismos provinciales. En Santa Rosa, capital provincial, la Subsecretaría de Ambiente del Gobierno de La Pampa, con un sensor ubicado en el techo de su propio edificio, realiza un muestreo del aire de la ciudad cada 2hs para determinar la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5}, la temperatura y la humedad relativa. Sin embargo, no existen registros de las concentraciones de CO, SO₂, NO₂ y O₃, salvo algunas producciones científicas llevadas a cabo por la Universidad Nacional de La Pampa como la tesis de grado titulada *Contaminación atmosférica producida por fuentes móviles en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa* de Bolaño (2009) donde se determina si existe contaminación atmosférica producto de la circulación de los automóviles. Ante la falta de información sobre contaminación atmosférica en la ciudad capital producto de actividades industriales, el uso combinado de factores de emisión y modelos de dispersión representa

una alternativa factible para aportar al conocimiento sobre la calidad de aire de la localidad, contexto en el cual se fundamentan los objetivos del presente trabajo.

1.5. Objetivo General

- Evaluar las emisiones de gases contaminantes de dos industrias de la ciudad de Santa Rosa, La Pampa y su efecto sobre la calidad del aire.

1.6. Objetivos específicos

- Estimar el tipo y cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por estas fuentes puntuales, empleando los Factores de Emisión AP-42 de la EPA.
- Determinar la dispersión de los contaminantes utilizando un modelo de dispersión.
- Elaborar estrategias que contribuyan a mitigar la contaminación producida por este tipo de fuentes puntuales fijas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir los objetivos planteados en este trabajo se comenzó confeccionando un listado de industrias en la ciudad de Santa Rosa en funcionamiento en el año 2017. Esta información se obtuvo a través de comunicaciones personales con los encargados de seguridad del B° Parque Industrial, datos extraídos de las páginas webs oficiales del Gobierno de La Pampa, etc. Luego se seleccionaron sólo aquellas fábricas que en su proceso productivo utilizan calderas y chimeneas.

Una vez identificadas las fábricas que cumplen con los requisitos necesarios para la ejecución de los modelos, se procedió a realizar las entrevistas a los encargados de los establecimientos. Con los datos recabados de las encuestas se calcularon las emisiones producidas por estas fábricas mediante la utilización de los factores de emisión AP-42. Posteriormente, estos datos se ingresaron al software SCREEN View (basado en el modelo de dispersión SCREEN3), con el fin de estimar la concentración de los contaminantes emitidos, su dispersión y distancia de deposición.

2.1. Área de estudio

El área de estudio de este proyecto se sitúa en la ciudad de Santa Rosa y sus alrededores, en un radio de 11 km. La localización de Santa Rosa en la provincia de La Pampa y el área de cobertura del presente estudio se muestran en la Figura 10.

La ciudad de Santa Rosa abarca una superficie de 143.000 km² y se ubica en la llanura pampeana. Las pendientes son escasas y descienden de Oeste a Sur. Los vientos son predominantes en dirección N-NE y S-SO (Cano, 1980). Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) la población para el año 2010 alcanzaba los 103.777 habitantes.

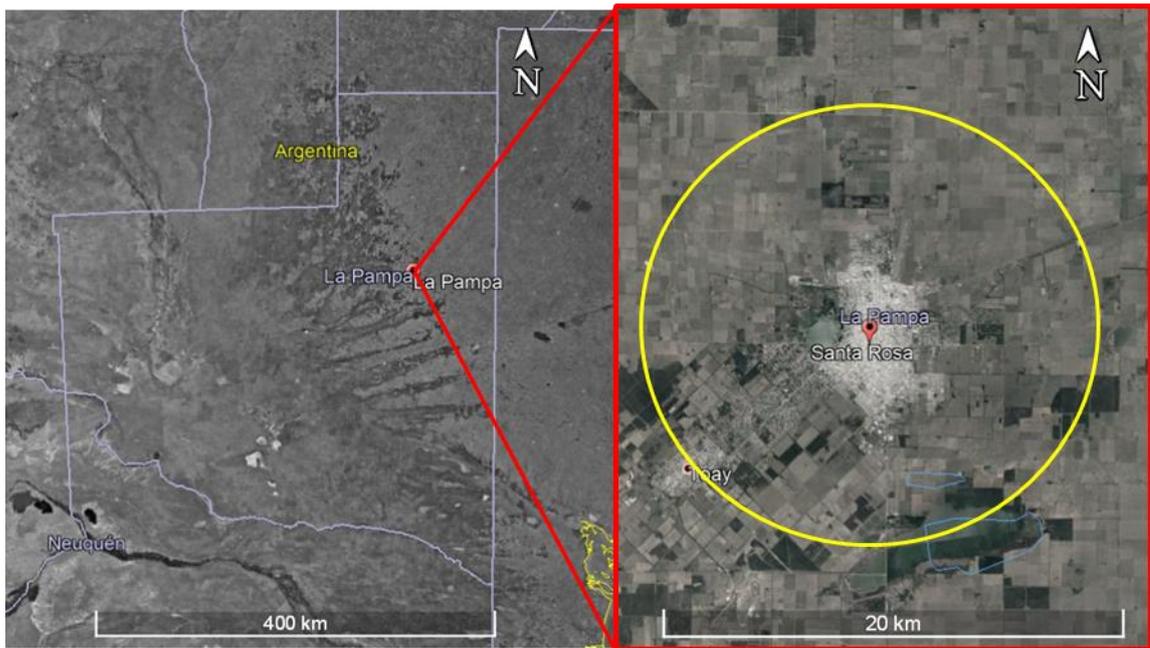


Figura 10. Ubicación del área de estudio dentro de la provincia de La Pampa. El círculo amarillo abarca los 11 km de radio que engloba la zona de estudio. Fuente: Google Earth.

2.2. Relevamiento de fábricas y modelo de encuesta

Como se mencionó al inicio de la sección 2. Materiales y Métodos en la ciudad de Santa Rosa para el año 2017 se realizó un relevamiento de aquellas fábricas en las que en algún momento de su proceso productivo interviene el uso de calderas y chimeneas. Se identificaron dos establecimientos que cumplían con esos requerimientos. Entonces, se procedió a realizar una encuesta con el fin de recabar la información necesaria para ejecutar el programa SCREEN View. Para su ejecución, los requerimientos más relevantes del modelo se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las variables más relevantes del modelo SCREEN3 incluidas en la encuesta realizada a las industrias de la ciudad de Santa Rosa.

Variable solicitada por el modelo SCREEN3	Característica del dato de entrada
Tipo de fuente	Puntual, de área, volumétrica, o por incinerado
Tasa de emisión	[g/s]
Altura de la chimenea	[m]
Diámetro interior de la chimenea	[m]
Velocidad de salida de la chimenea	[m/s]
Temperatura de salida de la chimenea	[K]
Temperatura del entorno de la chimenea	[K]
Altura del receptor	[m]
Entorno	Urbano o rural
Considerar edificaciones cercanas a la chimenea	Sí o no
Meteorología	Referido al modo de considerar la incorporación de la estabilidad y la velocidad del viento.

Las fábricas relevadas en el marco de este trabajo se localizan en el B° Parque Industrial (Figura 11), barrio oficial de la ciudad para esta actividad desde 1976 e instituyéndose como *Parque Industrial de Santa Rosa* en 2004 según la Ley Provincial N° 2114. Éste se encuentra en la zona Sur y al Oeste de la Ruta Nacional N° 35 y posee una extensión total de 1,57 km² (Rubio, 2008). La mayoría de las empresas radicadas allí son pequeñas, habiendo algunas pocas fábricas y depósitos de gran extensión.

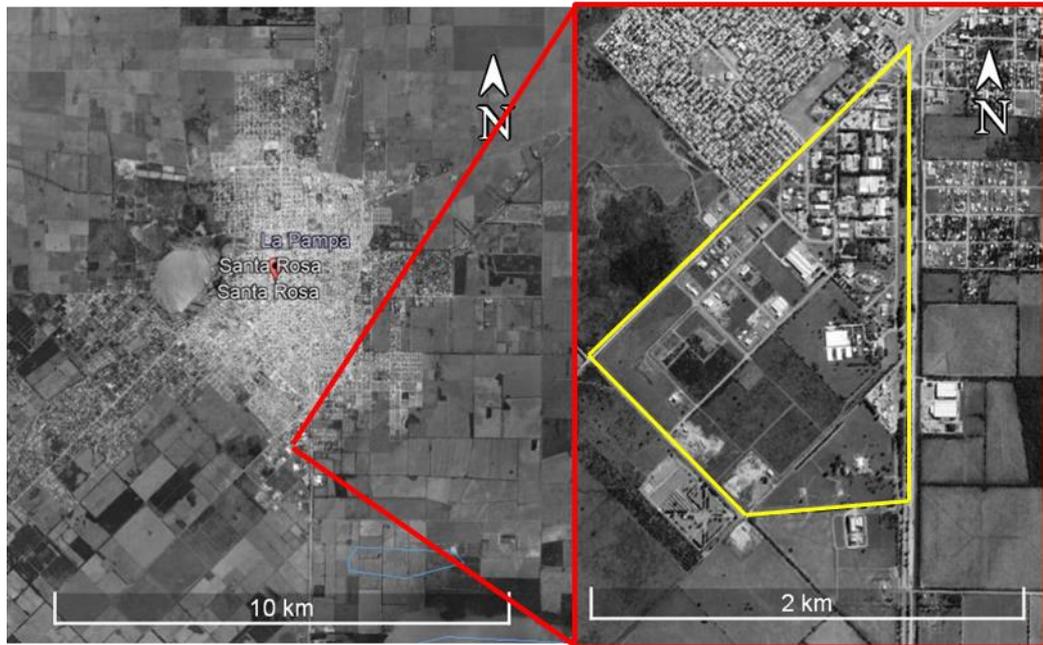


Figura 11. Ubicación del Parque Industrial en la ciudad de Santa Rosa. El área de la ciudad hacia donde se encuentra el Parque Industrial se señala en rojo a la izquierda; a la derecha esta área está ampliada, señalándose en amarillo la ubicación del sitio de estudio. Fuente: Google Earth.

2.3. Fuentes fijas puntuales seleccionadas

Como resultado del relevamiento, se seleccionaron dos fuentes puntuales sobre las que se realizó el análisis de emisiones. Estas fueron: una fábrica de alimentos balanceados y una fábrica de columnas de alumbrado urbano.

2.3.1. Fábrica de alimentos balanceados

Los productos de esta fábrica son para la alimentación de diversos animales. El proceso de producción se divide en molienda, mezclado, peletizado, enfriamiento del producto y su posterior depósito en los silos correspondientes. A los fines del presente proyecto, la etapa del proceso productivo más relevante es aquella entre el mezclado y peletizado, donde interviene el vapor de agua, generado por las calderas, que contribuye a dar forma a la mezcla de la materia prima y, finalmente, conformar los pellets. La relevancia de esta etapa se debe a que en la caldera se generan los residuos que luego serán expulsados por la chimenea.

La caldera funciona, de acuerdo a las necesidades de producción, manteniendo una presión determinada. Las operaciones dentro de la planta se extienden por 6 horas diarias, durante 6 días a la semana y a lo largo de 276 días en el caso del año 2017.

2.3.2. Fábrica de columnas de alumbrado urbano

La actividad de esta industria se inició en el año 1980. Es la principal proveedora de este producto en la provincia y su producción promedio ronda las 200 columnas mensuales. Su fabricación consta de 4 etapas, la primera es la preparación de la materia prima: arena, granza, cemento y hierro trenzado pretensado. La segunda etapa es la colocación del hormigón en el molde donde previamente se colocaron los hierros trenzados, ejerciendo una tracción axial sobre uno de sus extremos con el fin de formar el esqueleto de la columna. La tercera etapa consiste en el secado o “dosificado del hormigón” con vapor de agua a presión producido por una caldera industrial; esta etapa puede durar hasta 4 horas. Y la cuarta etapa se produce luego del secado, donde se separan las paredes de la columna del molde para trasladarla hacia el sitio de acopio. Las tareas se llevan a cabo durante 6 horas diarias, 5 días a la semana, durante 276 días en el caso del año 2017.

La ubicación de ambas industrias dentro del Parque Industrial de la ciudad se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Ubicación de las fábricas estudiadas dentro del B° Parque Industrial, Santa Rosa, La Pampa. 1 - Fábrica de alimento balanceado. 2 - Fábrica de columnas de alumbrado urbano. Fuente: Google Earth.

2.4. Factores de emisión

Tras realizar la encuesta a los encargados de ambas industrias (y recabar la información presentada en la Tabla 1) se determinó el tipo y cantidad de combustible que utiliza cada fábrica. Los datos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las calderas y chimeneas y consumo de gas natural de las fábricas de alimentos balanceados y de columnas, teniendo en cuenta el esquema de funcionamiento llevado a cabo en 2017.

	Características	Fábrica de alimentos balanceados	Fábrica de columnas
Caldera	Marca	Fontanet	Ingeba
	Modelo	3PRV-900	INV450
	Producción de vapor (kg/h)	1750	450
	Combustible	Gas natural	Gas natural
Días totales de funcionamiento anual		276	276
Consumo (m³)	Horario	8,22	3,48
	Diario	197,28	83,57
	Mensual	4537,5	1922,03
	Anual	54450	23064,3
Chimenea	Velocidad Salida gas (m/s)	0,053	0,045
	Temperatura Salida gas (K)	511,6	447,7
	Temperatura Ambiente (K)	288,93	288,93
	Altura (m)	9,5	6,5
	Diámetro (m)	1,12	0,74

Algunos de los datos mostrados en la Tabla 2 fueron brindados directamente por los encargados de cada fábrica. El consumo de combustible en las diferentes escalas temporales se calculó a partir del requerimiento horario de la caldera y su frecuencia de utilización. Sin embargo, la obtención de la velocidad de salida de los gases también requirió la realización

de cálculos. A modo de ejemplo, se muestra a continuación el cálculo de velocidad de salida de gases de la fábrica de alimentos balanceados.

Cálculo de velocidad de salida de gases (en m/s):

1- Consumo de gas natural en m³/h:

$$\text{Consumo horario de gas natural (m}^3/\text{h)} = \frac{\text{Consumo anual}}{\text{Horas anuales}} \quad (2.1)$$

$$\text{Consumo horario de gas natural (m}^3/\text{h)} = \frac{54450 \text{ m}^3}{6624 \text{ h}} = 8,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

2- Consumo de gas natural en kg/h:

$$\text{Consumo de gas natural (kg/h)} = \text{Consumo (m}^3/\text{h)} \times \text{Densidad gas natural (kg/m}^3) \quad (2.2)$$

$$\text{Consumo de gas natural (kg/h)} = 8,22 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,74 \text{ kg/m}^3 = 6,08 \text{ kg/h}$$

3- Relación masa de aire y consumo de combustible ($m_{a/f}$) (Barriga y Auhing, 2005):

$$m_{a/f} = 1 + m_{a/f}|_{\text{Estequimétrico}}(1 + \epsilon_A) \quad (2.3)$$

$$m_{a/f}|_{\text{Estequimétrico}}: \text{ masa del gas metano (CH}_4) = 1 \times 12 + 4 \times 1 = 16$$

ϵ_A : Exceso de aire para lograr una combustión completa, en este caso se toma un valor del 20% (Barriga y Auhing, 2005).

$$\text{Relación masa de aire y consumo de combustible } m_{a/f} = 1 + 16 \times (1 + 0,2) = 20,2$$

4- Cantidad de humo liberado en kg/h (Barriga y Auhing, 2005):

$$\text{Cantidad de humo liberado (kg/h)} = \text{Consumo de gas natural (kg/h)} \times m_{a/f} \quad (2.4)$$

$$\text{Cantidad de humo liberado (kg/h)} = 6,08 \text{ kg/h} \times 20,2 = 122,82 \text{ kg/h}$$

5- Densidad media de los humos en kg/m³ (Velásquez, 2007):

$$\text{Densidad media de los humos } (\rho_{\text{HM}}) \text{ (kg/m}^3) = \frac{101325 \times (1 - 0,00012 \times A)}{R \times T_{\text{HM}}} \quad (2.5)$$

A: Altura sobre el nivel del mar, en m.

R: Constante de elasticidad de los gases, en J/kg K.

T_{HM}: Temperatura media de los gases, en K.

$$\text{Densidad media de los humos (kg/m}^3\text{)} = \rho_{\text{HM}} = \frac{101325 \times (1 - 0,00012 \times 175 \text{ m})}{300 \text{ J/kgK} \times 511,6 \text{ K}} = 0,65 \text{ kg/m}^3$$

6- Cantidad de humo liberado en m³/h (Velásquez, 2007):

$$\text{Cantidad de humo liberado (m}^3\text{/h)} = \frac{\text{Cantidad de humo liberado (kg/h)}}{\rho_{\text{HM}} \text{ (kg/m}^3\text{)}} \quad (2.6)$$

$$\text{Cantidad de humo liberado (m}^3\text{/h)} = \frac{122,82 \text{ kg/h}}{0,65 \text{ kg/m}^3} = 188,03 \text{ m}^3\text{/h}$$

7- Cantidad de humo liberado en m³/s:

$$\text{Cantidad de humo liberado (m}^3\text{/s)} = \frac{\text{Cantidad de humo liberado (m}^3\text{/h)}}{3600 \text{ s}} \quad (2.7)$$

$$\text{Cantidad de humo liberado (m}^3\text{/s)} = \frac{188,03 \text{ m}^3\text{/h}}{3600 \text{ s}} = 0,0522 \text{ m}^3\text{/s}$$

8- Velocidad de salida del gas en m/s:

$$\text{Velocidad de salida del gas (m/s)} = \frac{\text{Cantidad de humo liberado (m}^3\text{/s)}}{\text{Área interna de la chimenea (m}^2\text{)}} \quad (2.8)$$

$$\text{Velocidad de salida del gas (m/s)} = \frac{0,053 \text{ m}^3\text{/s}}{0,98 \text{ m}^2} = 0,053 \text{ m/s}$$

Con la utilización de las tablas AP-42 se calculó la tasa de emisión de ambas fábricas para cada contaminante en base a los factores de emisión publicados en el Capítulo 1 referido a las fuentes externas de combustión – sección 1.4 de combustión del gas natural (EPA, 1995a). A modo de ejemplo, se muestra a continuación el cálculo de la tasa de emisión de los contaminantes de la fábrica de alimentos balanceados.

Cálculo de tasa de emisión de contaminantes (en g/s):

1- Tasa de emisión, en kg/h:

$$\text{Tasa de emisión (kg/h)} = \text{Consumo horario gas natural (m}^3\text{/h)} \times \text{Factor de emisión (kg/m}^3\text{)} \quad (2.9)$$

Se tomará como ejemplo el factor de emisión del SO₂ según la Tabla 3.

$$\text{Tasa de emisión (kg/h)} = 8,22 \text{ m}^3/\text{h} \times 9,60\text{E} - 06 \text{ kg}/\text{m}^3 = 7,89\text{E} - 05 \text{ kg}/\text{h}$$

2- Tasa de emisión en g/s:

$$\text{Tasa de emisión (g/s)} = \text{Tasa de emisión (kg/h)} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \quad (2.10)$$

$$\text{Tasa de emisión (g/s)} = 7,89\text{E} - 05 \text{ kg}/\text{h} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 2,19\text{E} - 05 \text{ g}/\text{s}$$

Cálculos análogos (no mostrados) se realizaron para obtener los datos correspondientes a la fábrica de columnas. Los datos obtenidos para ambas fábricas se muestran en la Tabla 3. Estos valores fueron utilizados como parte de los datos de entrada para la ejecución del software SCREEN View (modelo SCREEN3), que se describe en la siguiente sección.

Tabla 3. Tasas de emisión calculadas para los distintos contaminantes en función de los factores de emisión (FE) y el consumo de gas natural de cada fábrica. La clasificación da un indicio del grado de confianza que brinda cada factor, teniendo A como “excelente” y F como “pobre” en el otro extremo.

Contaminante	Factor de emisión (kg/m ³)	Clasificación del FE	Tasa de emisión (g/s)	
			Fab. de alimentos balanceados	Fab. de columnas
SO ₂	9,60E-06	A	2,19E-05	9,29E-06
NO ₂	3,52E-05	E	8,04E-05	3,40E-05
PM ₁₀	9,12E-05	D	2,08E-04	8,82E-05
PM _{2.5}	3,04E-05	B	6,94E-05	2,94E-05
Plomo	8,00E-09	D	1,83E-08	7,74E-09
Benceno	3,36E-08	B	7,67E-08	3,25E-08
Arsénico	3,20E-09	E	7,31E-09	3,10E-09
Cadmio	1,76E-08	D	4,02E-08	1,70E-08
Níquel	3,36E-08	C	7,67E-08	3,25E-08
Benzo(a)Pireno	1,92E-11	E	4,38E-11	1,86E-11

En el caso del CO₂ se utilizó el factor de emisión **1,95 kg CO₂ eq/m³** para gas natural propuesto en el *Manual de aplicación de la Huella de Carbono (MAPBA, 2018)*, para la realización de comparaciones posteriores.

2.5. Modelos

2.5.1. SCREEN View (SCREEN3)

Una vez realizados los cálculos anteriores se procedió a ejecutar el software SCREEN View basado en el modelo de dispersión SCREEN3 creado por la EPA para calcular la concentración máxima de un contaminante en periodos cortos de tiempo (1 hora), en función de la distancia a la cual se depositarán los contaminantes, de acuerdo a las características de la chimenea. Este modelo se ejecutó bajo las “peores condiciones atmosféricas” que pueden producir el máximo nivel de contaminación, es decir, el programa analiza cuál combinación de velocidad de viento y estabilidad atmosférica determinan la máxima concentración a nivel del suelo.

Las características consideradas fueron: la altura y diámetro de la chimenea, velocidad y temperatura de salida de los gases y la temperatura ambiente. Los datos de entrada solicitados por el modelo fueron presentados sintéticamente en la Sección 2.2 y los valores para cada fábrica fueron presentados en la Tabla 2. A continuación, se detalla la secuencia de pasos que se incorporó al modelo para su ejecución (Thé *et al*, 2016).

1. Seleccionar el tipo de fuente de emisión correspondiente; las opciones son: P para fuente puntual, F fuente de incinerado, A fuente de área y V fuente volumétrica. En este caso se seleccionó P para ambas fábricas.
2. Ingresar la tasa de emisión en unidades de g/s para cada tipo de contaminante calculado en base al consumo de combustible en metros cúbicos y los factores de emisión de cada fábrica (los valores figuran en las Tablas 2 y 3, respectivamente).
3. Ingresar altura de la chimenea en metros (Tabla 2).
4. Ingresar diámetro de la chimenea en metros (Tabla 2).
5. Ingresar velocidad de salida de gases en unidades de m/s (Tabla 2).
6. Ingresar temperatura de salida de gases en Kelvin (Tabla 2).
7. Ingresar temperatura ambiente en Kelvin, en este caso se utilizó una temperatura fija de 288,93 K para ambas fábricas, considerando una temperatura ambiente media anual de 15,78°C para la ciudad de Santa Rosa, según datos de la estación meteorológica del Aeropuerto de Santa Rosa (SAZR) para la serie 1958-2017.
8. Ingresar valor de altura del receptor respecto a la superficie. Se tuvo en cuenta en cuenta la topografía de Santa Rosa y se eligió el valor 0, ya que se analizó la deposición de los contaminantes a nivel del suelo.

9. Elegir tipo de ambiente en el cual se realizó la simulación. El software permite ingresar las opciones para ambiente urbano o rural. En este trabajo, ambas fábricas se encuentran en el B° Parque Industrial, por lo tanto, se seleccionó la opción Urbano.
10. Indicar si se trata de un terreno elevado simple, donde la base de las chimeneas es superada por la superficie del terreno, pero se mantiene por debajo de esta o si se trata de un terreno simple plano, donde supone que la altura del terreno no excede la base de la chimenea. En este caso se seleccionó “Terreno Simple”.
11. Indicar si la fuente de emisión se encuentra bajo condiciones que generen turbulencia y alteren la dirección de la pluma. Se seleccionó “Terreno llano”.
12. Ingresar datos de meteorología: 1- Meteorología completa (todas las clases de estabilidad y velocidad del viento); 2- Clases individuales de estabilidad; 3- Clases individuales de estabilidad y velocidad del viento. En este caso se seleccionó la opción 1 considerando la meteorología de la ciudad.
13. Indicar que se quiere conocer la dispersión de la pluma para distancias fijas desde la chimenea e introducir las distancias desde 100 hasta 4000 metros, con valores discretos cada 100 metros.

Este conjunto de pasos se repitió para cada contaminante y fábrica. Por cada uno, el modelo brinda, como dato de salida, una tabla de datos que contiene la concentración del contaminante, velocidad de dispersión, altura y ancho de la pluma, todo esto en función de la distancia desde la chimenea.

Dado que SCREEN3 calcula las máximas concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio por hora y que los estándares mencionados en la sección 2.6. Guía de calidad de aire consideran periodos de tiempo mayores y menores a 1 hora, se utilizarán las siguientes expresiones para estimar las concentraciones máximas en periodos menores y mayores a una hora.

Para estimar las concentraciones máximas en periodos menores a 1 hora se usó la fórmula planteada por el Centro de Información Pública del Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático (MECCPIC, por sus siglas en inglés) (MECCPIC, 2017):

$$C_{max} = C_{max}(60 \text{ min}) \times \left(\frac{Dt}{60 \text{ min}}\right)^{-n} \quad (3.1)$$

Dónde C_{max} es el valor de concentración máxima en promedio por hora expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, $C_{max}(60 \text{ min})$ es el valor máximo obtenido de los resultados arrojados por SCREEN3 para un contaminante, Dt es el periodo promedio de tiempo en minutos que interesa calcular con

$Dt < 60$ min y n es el periodo promedio específico, en este caso se utilizó el valor $n = -0,20$ adoptado por Gómez (2008).

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo calcular el valor máximo de concentración de SO_2 de la fábrica de alimentos balanceados en un periodo promedio de 10 min.

$$C_{max}(60 \text{ min}) SO_2 = 2,52E-02 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$Dt = 10 \text{ min}$$

$$n = 0,20$$

$$C_{max} = 2,52E - 02 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \left(\frac{10 \text{ min}}{60 \text{ min}}\right)^{-0,20} = 3,68E - 02 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Y para periodos mayores a 1 hora se usaron los siguientes factores de conversión (EPA, 1995):

$$C_{max} = C_{max}(60 \text{ min}) \times \text{factor de conversión} \quad (3.2)$$

Factor de conversión

3 hs	$0,9 \pm 0,1$
8 hs	$0,7 \pm 0,2$
24 hs	$0,4 \pm 0,2$
Anual	$0,08 \pm 0,02$

Dónde C_{max} es el valor de concentración máxima en promedio por hora expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, $C_{max}(60 \text{ min})$ es el valor máximo obtenido de los resultados arrojados por SCREEN3 para un contaminante.

A continuación, a modo de ejemplo se realizará el cálculo para obtener el valor máximo promedio para un periodo de 24 horas utilizando el mismo valor de SO_2 de la fábrica de alimentos balanceados.

$$C_{max} = 2,52E - 02 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 0,4 = 1,03E - 02 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Estos procedimientos se realizaron para cada uno de los contaminantes emitidos por cada fábrica teniendo en cuenta los periodos de tiempo utilizados en cada uno de los estándares de calidad de aire de la sección 2.6. Guía de calidad de aire.

2.5.2. HYSPLIT

Para determinar la trayectoria de los vientos en la ciudad de Santa Rosa durante el año 2017 se utilizó el modelo HYSPLIT. En base a estos datos y los resultados obtenidos mediante el modelo SCREEN3 se plantearon estrategias de mitigación ante contaminaciones puntuales de potenciales fábricas que se instalen en la zona.

En el presente trabajo el modelo HYSPLIT se ejecutó desde el sitio web siguiendo los siguientes pasos:

- 1- Se ingresó a HYSPLIT-WEB (*internet based*) y luego a la opción en *Trajectory model*.
- 2- Se seleccionó *Compute archive trajectories*.
- 3- Se indicó el tipo de trayectoria. En este trabajo se seleccionó, “normal” desde una única fuente.
- 4- Se eligió la serie de datos a utilizar y la ubicación geográfica. Para el B° Parque Industrial se usaron las coordenadas: -36.660708 -64.288559.
- 5- Se seleccionó el tipo de simulación. En este trabajo se eligió la opción “*forward*”, para que la simulación inicie desde las coordenadas de interés durante las 48 horas siguientes. El modelo vertical usado es el “Modelo de velocidad vertical”.
- 6- Se indicó la hora de inicio de la simulación. En el presente trabajo se seleccionó esta hora de acuerdo al inicio de la jornada de trabajo de cada fábrica: las 6 a.m.
- 7- Se eligió el número de las trayectorias a ejecutar, y su altura: En este trabajo se ejecutaron 3 trayectorias como máximo, comenzando en las alturas 1000, 2000 y 5000 metros sobre el nivel de la superficie. Estas alturas se eligieron para conocer la dispersión a nivel cercano, medio y más alejado de la superficie.
- 8- Se seleccionó el tipo de archivo de salida en el que el modelo brinda los resultados. En este trabajo se eligió la opción de archivo con extensión KMZ.

Esta simulación se realizó para los 276 días que correspondieron al tiempo de funcionamiento de ambas fábricas para el año 2017. El modelo entregó un archivo en PDF y KMZ, con información sobre la variación vertical de las masas de aire a las tres alturas seleccionadas y su transporte durante las siguiente 48 horas para cada uno de los días en los que el modelo se ejecutó.

2.6. Guía de calidad de aire

A los fines de comparar los valores de las concentraciones de contaminantes emitidos por ambas fábricas se tomaron como referencia tres estándares ambientales que regulan la calidad del aire. El primero pertenece a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006);

el segundo a la Fundación Gas Natural Fenosa (FGNF, 2018) de la ciudad de Madrid, España, en conjunto con el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua; y, por último, la Subsecretaría de Ecología de la provincia de La Pampa (“Normas de Protección del Aire Atmosférico” - Decreto N°569/13). La comparación de los datos obtenidos con los estándares fue de utilidad, por un lado, para determinar si las emisiones de los contaminantes que producen ambas fábricas se encuentran dentro de valores normales y por otro, para comparar los niveles de exigencia en cuanto a los valores permisibles de concentraciones atmosféricas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la presente sección se exponen los resultados obtenidos en base a la metodología aplicada en la sección 2. Materiales y Métodos.

3.1. SCREEN View (SCREEN3) y CO₂ equivalente

Esta simulación mostró la variación de las concentraciones de los distintos contaminantes en función de la distancia a la fábrica. Para todos los contaminantes, la disminución exponencial de las concentraciones a medida que se incrementa la distancia desde la chimenea puede observarse en las Figuras 13 y 14 para las dos fábricas estudiadas. Es decir, según Cabrera (2012) y Bayala (2017) se encuentra que las mayores concentraciones se ubican cercanas a las fuentes emisión dado a las condiciones de estabilidad atmosféricas simuladas por este modelo. Estas categorías son D (4) condición Neutra y F (6) Muy Estable. Las categorías anteriormente mencionadas provienen de las tablas propuestas por Pasquill y Griffith (Thé *et al*, 2016). Estas condiciones de estabilidad son las “peores condiciones” bajo las que se generaron los máximos valores de concentración de contaminantes en este trabajo, debido a los valores de velocidad del viento y temperatura ambiente.

Específicamente, se observó el comportamiento en función de la distancia y a diferentes escalas temporales de la concentración de SO₂, NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ y elementos trazas como arsénico, plomo, cadmio, níquel, benceno y benzo(a)pireno.

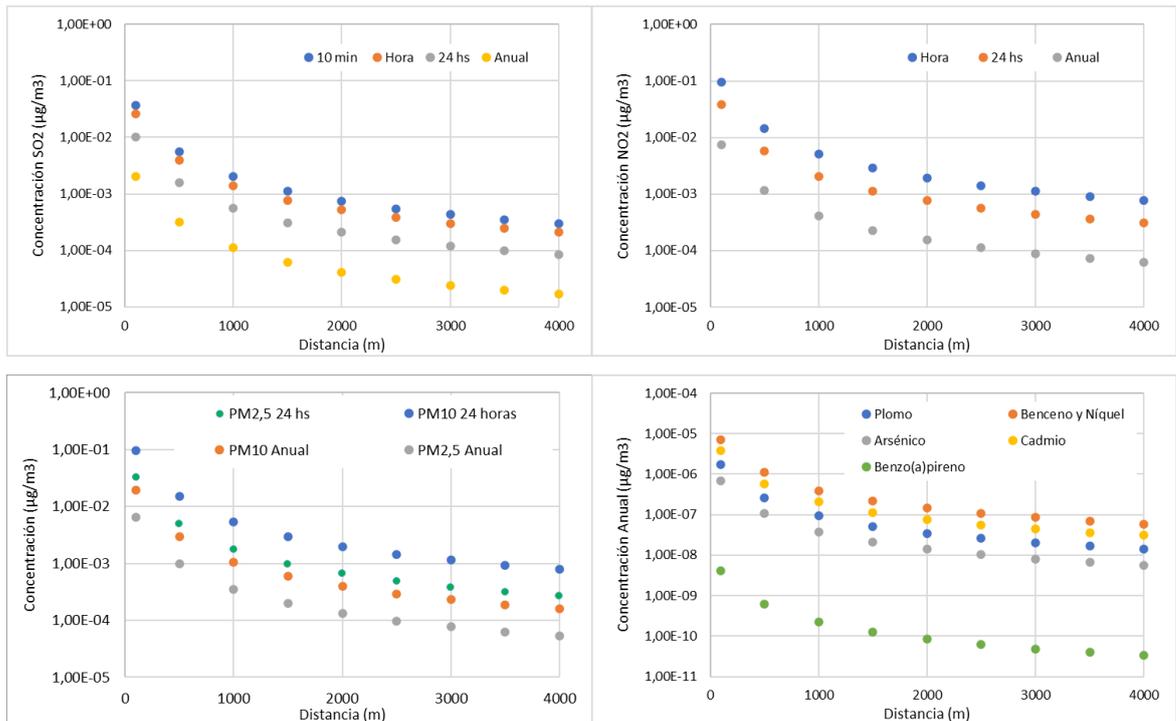


Figura 13. Gráficos de concentración de los contaminantes en función de la distancia desde la chimenea y para distintos periodos de tiempo. Fábrica de alimento balanceado, B° Parque Industrial, Santa Rosa. En la figura de los elementos traza nótese que el benceno y el níquel siguen el mismo comportamiento. Esto se debe a que ambos tienen el mismo factor de emisión (ver Tabla 3).

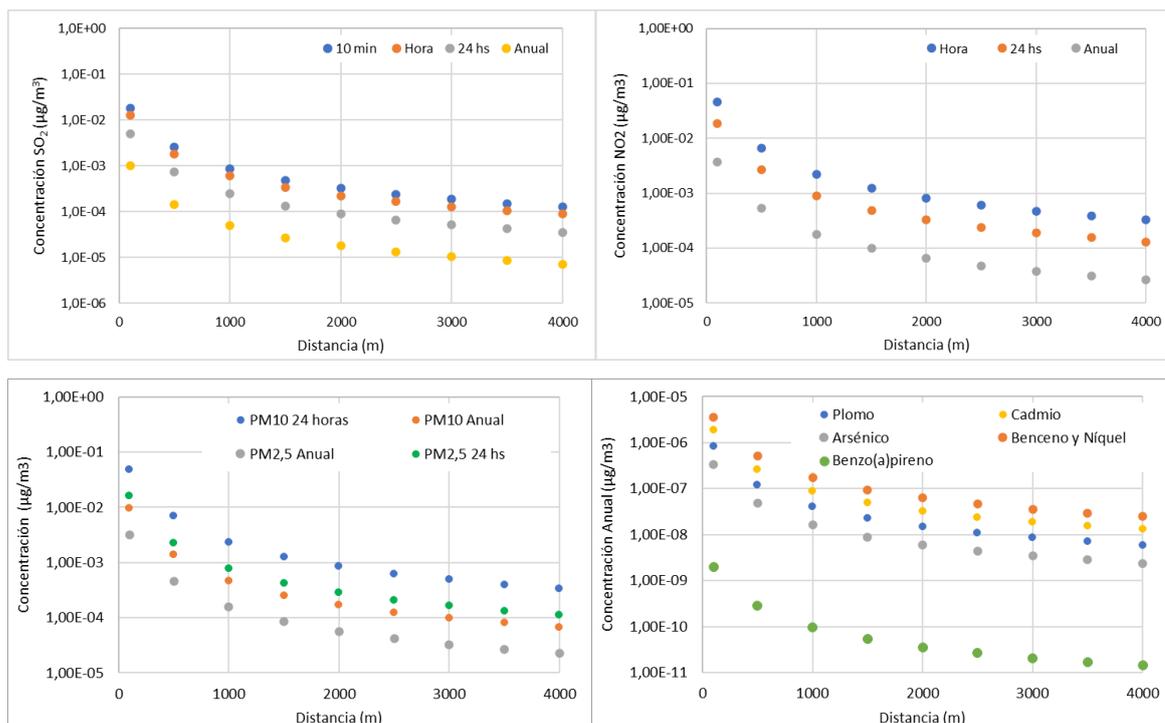


Figura 14. Gráficos de concentración de los contaminantes en función de la distancia desde la chimenea y para distintos periodos de tiempo. Fábrica de columnas de alumbrado urbano, B° Parque Industrial, Santa Rosa. En la figura de los elementos traza nótese que el benceno y el níquel siguen el mismo comportamiento. Esto se debe a que ambos tienen el mismo factor de emisión (ver Tabla 3).

Particularmente, se puede destacar la diferencia en las concentraciones de gases contaminantes entre la fábrica de alimentos balanceados y la fábrica de columnas. Esta primera alcanzó niveles superiores (como se aprecia de la comparación de las Figuras 13 y 14). Las mayores concentraciones encontradas en la fábrica de alimentos balanceados se deben principalmente al mayor consumo de gas natural (aproximadamente el doble según la Tabla 2).

Los valores de las concentraciones en función de la distancia para cada fábrica, ya mostrados en las Figuras 13 y 14, se presentan en las Tablas A y B del anexo.

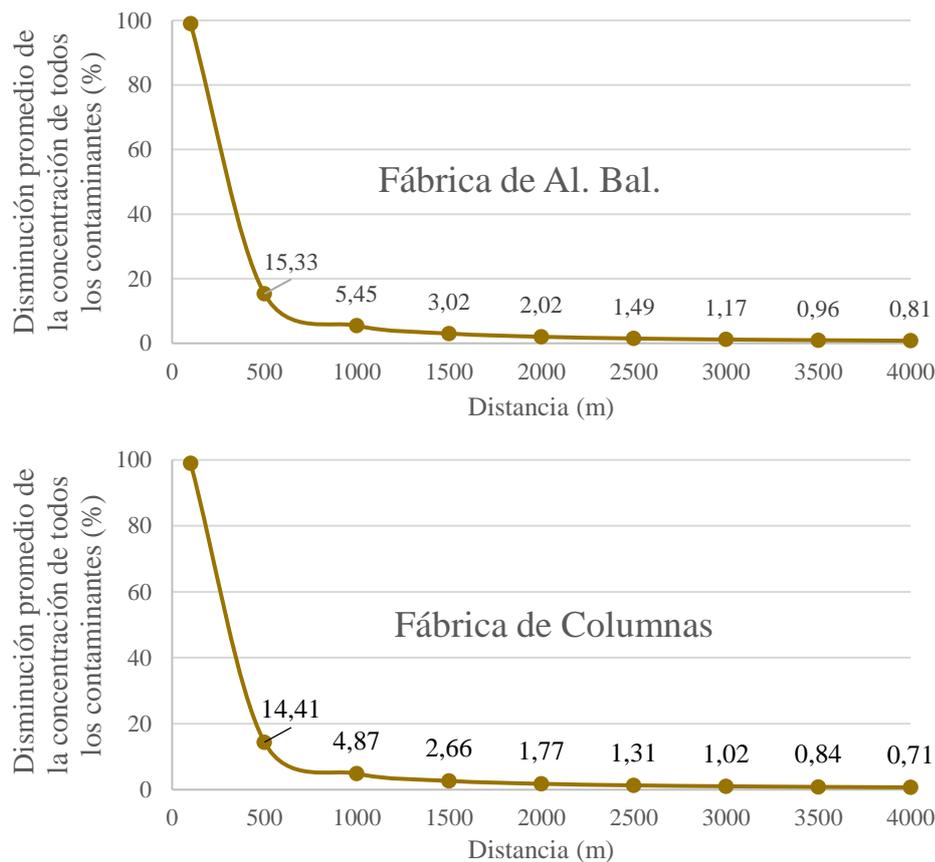


Figura 15. Disminución promedio de los valores de concentración de todos los contaminantes emitidos para ambas fábricas en función de la distancia.

Asimismo, también se debe tener en cuenta la tasa de emisión y la temperatura de salida del gas, la altura y el diámetro interno de las chimeneas de cada caldera. Estas características jugaron un rol importante en la dilución y dispersión de los contaminantes en el aire (Cabrera, 2012). Tal fenómeno puede ser explicado de la siguiente manera: a mayor altura y diámetro interno, menor es la contaminación dado que los contaminantes se dispersan con mayor facilidad y su concentración se reduce por efecto del viento. Entonces, se tiene que la chimenea de la primera fábrica (de alimentos balanceados) tiene 9,5 m de altura y 1,12 m de diámetro interno, mientras que la segunda (de columnas) posee una altura de 6,5 m y un diámetro interno de 0,74 m (según la Tabla 2). Por lo tanto, las mayores dimensiones de la chimenea y la tasa de emisión de gases de la fábrica de alimentos balanceados le permitieron una mejor dispersión de los compuestos emitidos (Figura 15). En general, los valores de concentración de los contaminantes emitidos por ambas fábricas disminuyeron hasta alcanzar aproximadamente sólo un 15 % de su concentración original al alejarse 500 m desde el punto de emisión. Resultados similares se han observado en el trabajo de Tarela *et tal* (2014). Este conjunto de hechos coincide con lo expresado por Wark (1990), quien explica

que los fenómenos de convectividad y turbulencia favorecen la mezcla de los gases emitidos por las chimeneas. Por ende, a mayor altura, mayor será el volumen de contacto de las emisiones con la atmósfera y, finalmente, mayor será su dilución. Entonces tenemos que, gracias al terreno llano sobre el que se ubican ambas industrias, la inexistencia de grandes obstáculos, las condiciones de la chimenea y las circunstancias atmosféricas, existe una muy buena dispersión de sus contaminantes (Cabrera, 2012; Bayala, 2017 y Wark, 1990)

3.1.1. Comparación con otros autores

A continuación, se presenta la Figura 16 con resultados extraídos de 3 trabajos dónde utilizaron el software SCREEN3. Estos son Bayala (2017) que determinó las concentraciones máximas esperables de contaminantes atmosféricos en una fábrica de cemento en Olavarría, Buenos Aires; Cabrera (2012) que demostró la versatilidad del uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en La Calera, V Región de Chile y Tarela *et al* (2014) dónde utilizaron SCREEN3 para un estudio de impacto ambiental en una Planta Térmica de Comodoro Rivadavia, Chubut.

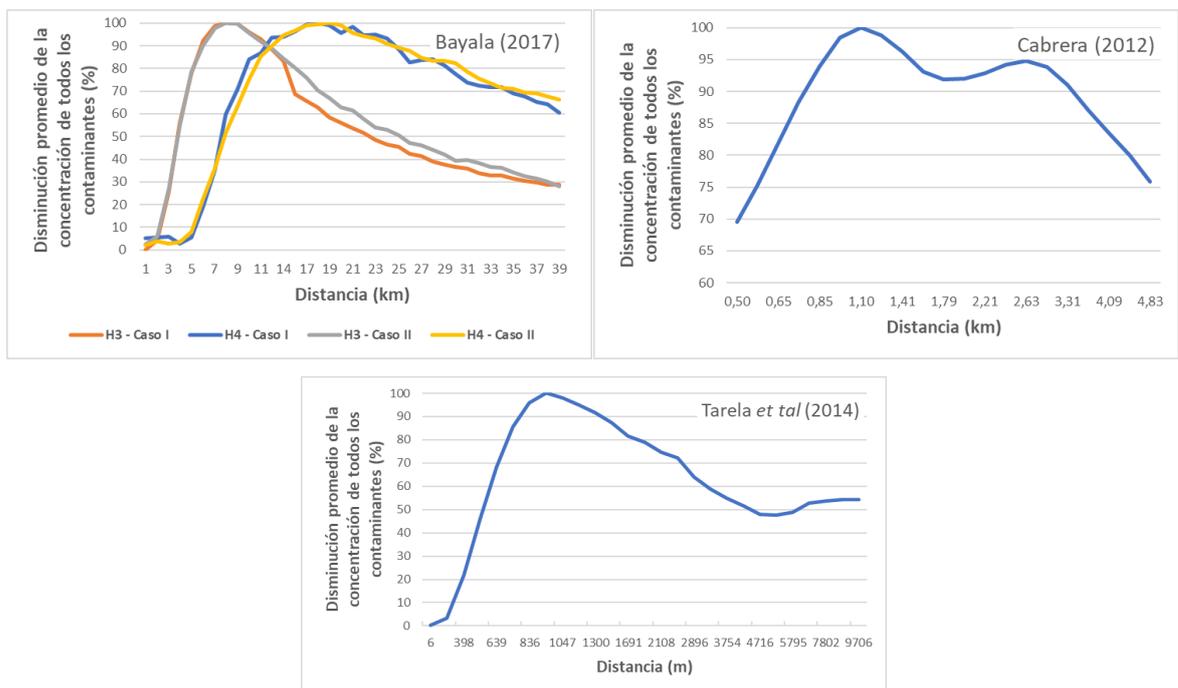


Figura 16. Disminución promedio de los valores de concentración de todos los contaminantes emitidos. Datos extraídos de los trabajos de Bayala (2017), Cabrera (2012) y Tarela *et al* (2014).

Cada trabajo comparó sus resultados con uno o varios estándares de calidad de aire y eligieron diferentes contaminantes atmosféricos. En este caso se realizó el mismo

procedimiento de la Figura 15, se calculó la disminución porcentual de los valores de concentración de cada contaminante y luego, el valor promedio en general en función de la distancia a la fuente de emisión. Las condiciones bajo las que se realizaron los tres trabajos fueron similares a las utilizadas en esta tesis de grado, excepto por Tarela *et al* (2014) dado que la planta de energía térmica se encuentra ubicada en una zona catalogada (según SCREEN3) como 'rural'. Además, se tomaron únicamente aquellos resultados que hayan expresado su valor máximo de concentración bajo una condición de estabilidad atmosférica Neutra (o categoría D según Thé *et al*, 2016) a los fines de realizar una correcta comparación con los obtenidos en esta tesina.

De la comparación de los resultados obtenidos en estos tres trabajos y los alcanzados en la presente tesina puede concluirse en que la dispersión de los contaminantes emitidos sigue un comportamiento similar. Si bien el valor máximo de concentración se ubicó (en estos 3 casos) a más de un kilómetro de distancia de la fuente de emisión, las características de la chimenea, la temperatura y velocidad de los gases, la ubicación con respecto a la población y obstáculos topográficos hace que los contaminantes puedan dispersarse y disminuir su carga en un rango de distancia aceptable.

Cabe destacar que todos los valores de las concentraciones de los contaminantes emitidos estuvieron por debajo de los límites máximos permitidos según las guías de calidad de aire que utilizaron. Aunque también es destacable que Tarela *et al* (2014) utilizó como estándar ambiental el propuesto por la Ley Nacional N° 20284 de "Contaminación Atmosférica" del año 1973 y la Ordenanza 5594/95 de Comodoro Rivadavia que establecen niveles guía muy similares entre ellos, amplios y desactualizados según lo propuesto por la OMS (2006).

3.1.2. Emisiones de CO₂ equivalente

Contaminantes como el CO₂, el CH₄, etc., sólo adquieren importancia a nivel global por su importancia sobre efectos del calentamiento climático global. Por lo tanto, su incidencia sobre la salud humana y el ambiente se da de manera indirecta (FGNF, 2018). Por esta razón se presenta y analiza la Tabla 4 con los valores de esos contaminantes de manera separada del resto de los resultados arrojados por SCREEN View.

Tabla 4. Valores de emisión anual de CO₂ equivalente para dos fábricas del B° Parque Industrial, Santa Rosa, La Pampa para el año 2017.

Fábricas	Kg CO₂ eq	Mt CO₂ eq
Fab. de alimentos balanceados	106177,5	1,06E-04
Fab. de columnas	44974,8	4,49E-05

Según el *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Monitoreo de Medidas de Mitigación* presentado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS, 2019), el Sector Energía de la Provincia de La Pampa emitió 1,799 MtCO₂eq. Por lo tanto, si tomamos como referencia los valores de la Tabla 4, estas dos empresas en su conjunto sólo representaron el 8,4E-03% de las emisiones.

3.2. HYSPLIT

El modelo HYSPLIT se ejecutó para todos los días laborales del año 2017. Se simularon las trayectorias de las masas de aire a lo largo de ese año dado que durante el mismo se realizaron las encuestas a los encargados de ambas fábricas.

A modo de ejemplo, la Figura 17 muestra el resultado de las trayectorias de las masas de aire para el día 2 de enero, a las tres alturas de trabajo seleccionadas. El modelo permite visualizar no sólo la dirección de las masas de aire desde el punto de origen una vez transcurrido determinado tiempo, sino también a qué altura sobre la superficie se encontrará dicha masa de aire.

Es importante tener en cuenta que, para analizar cuál fue el nivel de influencia de las emisiones de las fábricas, el modelo se configuró (como se aclaró en la sección 2.5.2 HYSPLIT) para que se determinara la trayectoria de una masa de aire con un tiempo de recorrido de 48 horas después, a partir de un punto de coordenada y fecha determinada. Entonces, si se observa la trayectoria indicada en color rojo en la Figura 17, por ejemplo, la masa de aire que a las 6:00 a.m. del 2 de enero de 2017 se encontraba sobre el Barrio Parque Industrial (ver Sección 2.5.2) a 1000 m sobre la superficie, transcurridas 48 horas después se había desplazado a 6000 m de altura sobre la superficie. Cada trayectoria tiene un indicador (triangular en el caso de la línea roja) que marca el momento en el que se cumplen las 24 horas de su recorrido (este valor es configurable). Así, por ejemplo, desde el origen de la trayectoria indicada en color rojo hasta que aparece la primera marca, la masa de aire se elevó 500 m, es decir, hasta los 1500 m. Una vez transcurridas 48 horas y habiendo

ingresado al Océano Atlántico, esta masa de aire ha alcanzado una altura de aproximadamente 6000 m sobre la superficie.

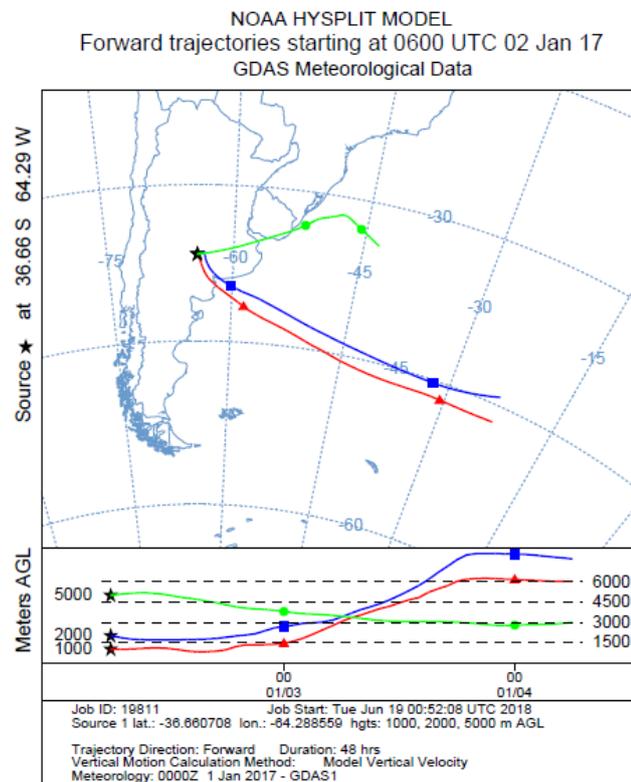


Figura 17. Simulación de la trayectoria de masas de aire para tres alturas diferentes con el modelo de dispersión de masas de aire HYSPLIT, partiendo de la coordenada -36.660708 - 64.288559 para el 2 de enero de 2017.

Representaciones análogas a la mostrada en la Figura 17 se obtuvieron para todos los días laborales de 2017. Para facilitar el análisis de las trayectorias se construyeron rosas de los vientos teniendo en cuenta 8 direcciones (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO) y se agruparon por estaciones, lo que permitió visualizar la variabilidad estacional en la dirección de las trayectorias. Como resultado, a continuación, se muestran las direcciones a las que se dirigen mayoritariamente las masas de aire a las tres alturas sobre el nivel del suelo con las que se trabajó, como así también el porcentaje de ocurrencia de las trayectorias.

Verano

- **1000 metros:** SE (27%) y S (21,5%)
- **2000 metros:** NE (29%) y SE (29%)
- **5000 metros:** E (45%) y NE (31%)

Otoño

- **1000 metros:** SE (28%), S (23%), SO (20%), y NE (20%)
- **2000 metros:** NE (32%) y SE (24%)
- **5000 metros:** SE (33%) y E (29%)

Invierno

- **1000 metros:** SE (22%) y NE (22%)
- **2000 metros:** NE (33%) y SE (29%)
- **5000 metros:** SE (50%)

Primavera

- **1000 metros:** SE (26%) y NE (22%)
- **2000 metros:** NE (43%)
- **5000 metros:** NE (36%), E (30%) y SE (29%)

Anual

- **1000 metros:** SE (33%), E (29%) y NE (28%)
- **2000 metros:** NE (35%)
- **5000 metros:** NE (33%), E (29%) y SE (28%)

Para facilitar la visualización de los resultados obtenidos se construyeron cinco rosas de los vientos: cuatro de ellas agrupando la dirección de las trayectorias de cada una de las estaciones del año (Figura 18) y una última agrupando la dirección de las trayectorias simuladas a lo largo de todo el año (Figura 19).

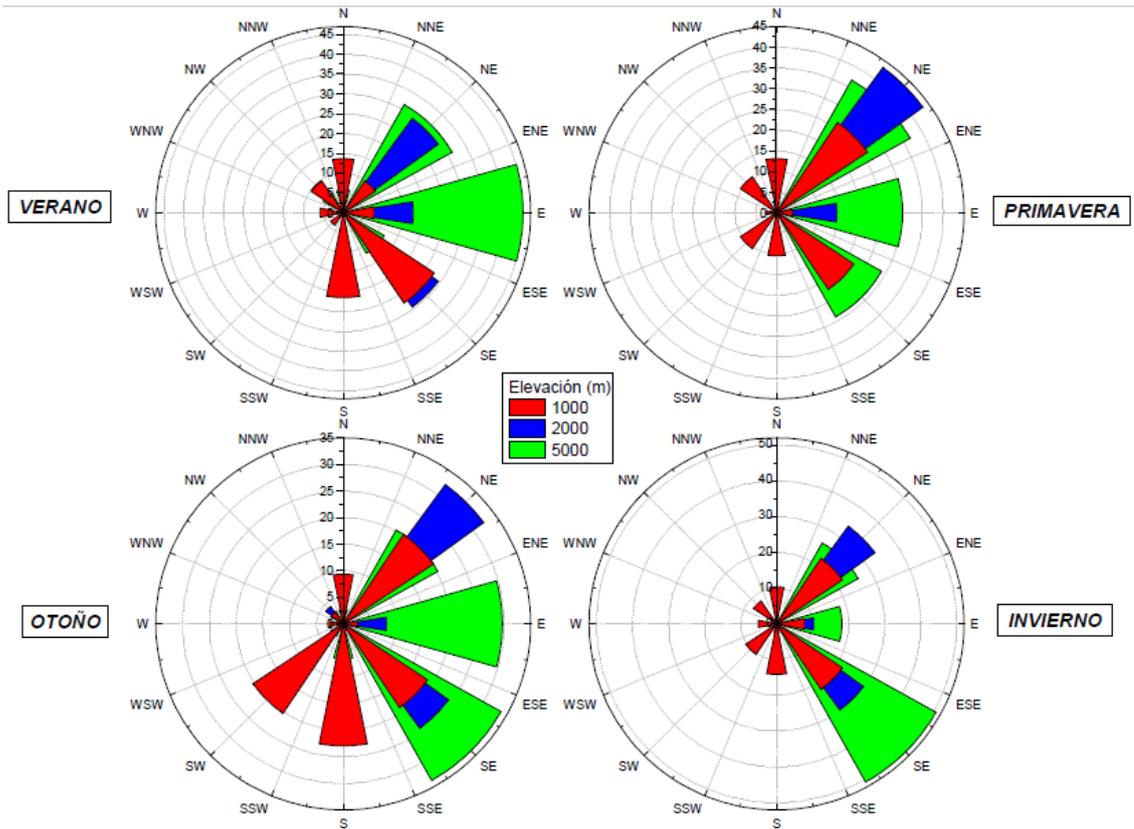


Figura 18. Rosas de los vientos de las masas de aire para las tres alturas de trabajo durante las 4 estaciones del año 2017 en las coordenadas -36.660708 -64.288559 (B° Parque Industrial).

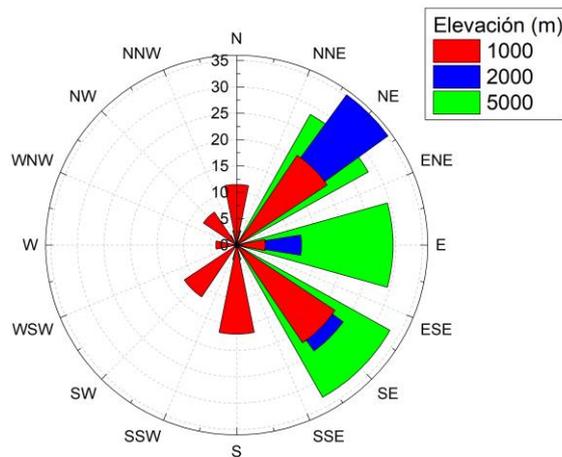


Figura 19. Rosa de los vientos de las masas de aire para las tres alturas de trabajo durante el año 2017 en las coordenadas -36.660708 -64.288559 (B° Parque Industrial).

En la Figura 18 puede observarse que para todas las estaciones del año la dirección predominante de los vientos mostró una notable diferencia entre las 3 alturas. Sin embargo,

no hubo grandes variaciones para una misma altura durante el transcurso del año (Figura 19). Por ejemplo, si se toma en cuenta la altura de 1000 metros, se observa que la dirección SE se encuentra presente durante todo el año con ligeras variaciones hacia el S, SO y NE. A los 2000 metros las direcciones NE y SE son las que prevalecen. Y, por último, a los 5000 metros hay una distribución bastante homogénea hacia SE, E y NE.

Puede suponerse que la variación tanto en dirección como en frecuencia a lo largo del año responde a las características del clima regional, el calentamiento diferencial de la Tierra que produce diferenciales de presión atmosférica, el efecto Coriolis y las características topográficas y morfológicas del terreno. Esto se observa claramente cuando se comparan las direcciones de las masas de aire en las diferentes alturas: a medida que se alejan de la superficie, los vientos se ven menos influenciados por factores locales, tales como la rugosidad del suelo y, en efecto, su variación entre los puntos cardinales se atenúa porque empiezan a tener más influencia las variables implicadas en la circulación global de la atmósfera.

Puntualmente, el hecho de que las fábricas se encuentren ubicadas sobre un terreno llano favorece la dispersión de los contaminantes al no encontrarse con elementos como elevaciones o depresiones pronunciadas (por ejemplo, valles rodeados de sierras o montañas) que encaucen u obstruyan la circulación de los efluentes emitidos por las chimeneas, provocando que se acumulen en la zona (CORNARE, 2016; Galindo, 1999). Esto sumado al efecto del viento, nos da indicios de que la zona de estudio provee las condiciones propicias para una buena dispersión de los contaminantes.

3.3. Guía de calidad de aire

La Tabla 5 muestra los niveles máximos admisibles de emisiones atmosféricas de tres organismos: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Fundación de Gas Natural FENOSA de España y el Decreto Provincial N° 569/13 emitido en La Pampa. Algunos límites dispuestos por la OMS fueron adoptados por FENOSA. A los fines comparativos, las estimaciones de las concentraciones máximas de cada contaminante obtenidas en el presente trabajo a partir de los 100 metros de distancia desde la chimenea se presentan en la Tabla 6. Una de las principales observaciones es que las concentraciones de las emisiones máxima promedio producidas en el año 2017 para cada fábrica no superaron en ningún caso los niveles de las guías de calidad aire. La razón de esto se desprende de lo expuesto en la sección 3.1. SCREEN View (SCREEN3) y CO₂ equivalente y 3.2. HYSPLIT. En resumen, el volumen de consumo de gas natural, las características de la chimenea, el régimen de

funcionamiento, la temperatura de salida y velocidad de salida de los gases y la ubicación sobre terreno llano sin obstrucciones propician las condiciones para que, en este trabajo, teniendo en cuenta el consumo de gas natural anual, los resultados reflejen que ambas fabricas no excedieron los límites propuestos por los estándares ambientales elegidos como guías de calidad del aire.

Se refiere con ‘régimen de funcionamiento’ a que las calderas de ambas fábricas no se encuentran produciendo vapor durante toda la jornada de trabajo. El vapor sólo interviene en ciertas partes de los procesos de fabricación y las máquinas en la mayoría de los casos sólo entran en funcionamiento cuando la presión de trabajo cae por debajo de los rangos requeridos para mantener el caudal de vapor de agua óptimo.

Tabla 5. Valores de concentración máxima admisible de emisiones de contaminantes atmosféricos. Datos recopilados de tres fuentes: OMS (2006), FENOSA (2018) y el Decreto Provincial N° 569/13 de La Pampa.

Valores guía de calidad de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Periodo	OMS (2006)	Fenosa (2018)	Decreto N° 569/13
SO₂	10 min	500		
	1 hora		350	
	24 horas	20	125	337,96
	Anual			74,07
NO₂	1 hora	200	200	370,37
	24 horas	40	40	
	Anual			92,59
PM_{2.5}	24 horas	25		60,19
	Anual	10	25	13,89
PM₁₀	24 horas	50	50	138,89
	Anual	10	40	46,30
Plomo	Anual		0,5	
Benceno	Anual		5	
Arsénico	Anual		6E-03	
Cadmio	Anual		5E-03	
Níquel	Anual		2E-02	
Benzo(a)pireno	Anual		1E-03	

Tabla 6. Valores de concentración máxima para ambas fábricas en distintos periodos de tiempo. Fábrica de alimentos balanceados (A) y columnas de alumbrado público (B).

Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10 min		1 hora		24 horas		Anual	
	A	B	A	B	A	B	A	B
SO₂	3,68E-02	1,80E-02	2,57E-02	1,30E-02	1,03E-02	5,04E-03	2,06E-03	1,01E-03
NO₂			9,45E-02	4,61E-02	3,78E-02	1,84E-02	7,66E-03	3,69E-03
PM_{2.5}					3,25E-02	1,59E-02	6,52E-03	3,19E-03
PM₁₀					9,78E-02	4,78E-02	1,96E-02	9,57E-03
Plomo							1,72E-06	8,39E-07
Benceno							7,21E-06	3,53E-06
Arsénico							6,87E-07	3,36E-07
Cadmio							3,78E-06	1,84E-06
Níquel							7,21E-06	3,53E-06
Benzo(a)pireno							4,12E-09	2,02E-09

En la Figura 20 se presenta la ubicación de los barrios más próximos al B° Parque Industrial. Si bien, las fábricas no excedieron los estándares de calidad de aire, es importante visualizar que porción de la población podría haber sido afectada por sus emisiones. Esta estimación, se realiza teniendo en cuenta que este trabajo se basa en proyecciones obtenidas a través de modelos de dispersión con datos tomados de encuestas realizadas a los encargados de las fábricas. Los barrios que podrían verse afectados son: 1- Parque Industrial, 2- Escondido, 3- Néstor Kirchner y otros, 4- Escalante Sur, 5- FONAVI 25 y 6- Sur.

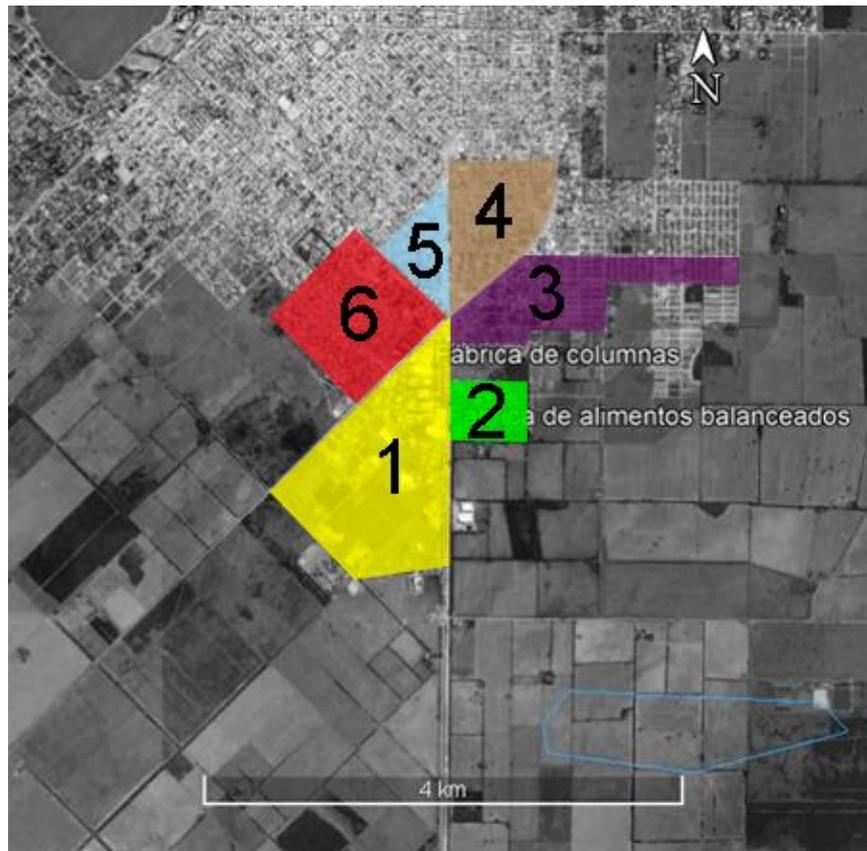


Figura 20. Imagen satelital de los barrios aledaños al Parque Industrial. 1- Parque Industrial, 2- Escondido, 3- Néstor Kirchner y otros, 4- Escalante Sur, 5- FONAVI 25 y 6- Sur. Fuente: Google Earth.

Por un lado, en verano las direcciones predominantes hacia las que se dirigen las trayectorias son SE y S, lo cual nos indica que es el momento del año en el cual los barrios aledaños resultan menos afectados por las emisiones de las fábricas, puesto que ninguno de los barrios aledaños mostrados en la Figura 20 se encuentra en dirección SE y S respecto al Parque Industrial. En primavera e invierno, las masas de aire van en dirección NE y SE, siendo la primera la que afecta al B° Escondido y B° Néstor Kirchner y otros (Figura 20). Por otro lado, en otoño la mayor ocurrencia de vientos se da en las direcciones SE, S, SO y NE, de estas 4 sólo se toma en cuenta la última dirección como aquella que afecta a los barrios aledaños al Parque Industrial dado que hacia el sur no hay asentamientos barriales. En resumen, anualmente prevalecen las direcciones SE, E y NE, esto determina que la mayor parte del año los barrios mayormente afectados son los mencionados anteriormente: B° Escondido y B° Néstor Kirchner y otros. Sin embargo, no se descarta que esporádicamente los otros barrios se vean afectados por otras corrientes de aire que circulan con menor frecuencia durante el año.

3.4. Ubicación estratégica

El ordenamiento territorial no es otra cosa más que la proyección en el espacio de las políticas sociales, ambientales y económicas, lo cual es un reflejo de los conflictos sociales de cada asentamiento urbano, como mencionan Gómez y Valdivieso (1994).

Santa Rosa no es la excepción a esto. El crecimiento que tuvo en la última década ha llevado a desarrollar nuevos barrios en zonas aledañas al B° Parque Industrial. Esto sin duda y en base a los resultados expuestos anteriormente, demuestra que se ha solucionado sólo una parte de las necesidades, la habitacional, pero genera incertidumbre sobre cuál es el grado de afectación de esta población a causa de las emisiones producidas por estas dos fábricas. Si bien, en general, ambas poseen buena dispersión atmosférica de sus contaminantes, cabe la posibilidad de que estas personas a lo largo de sus años de vida contraigan algún tipo de enfermedad o malestar físico, agudo o crónico, provocado por el ambiente en el que viven, en conjunto con otros factores propios de la vida cotidiana de cada uno. La sola presencia de material particulado en el aire causa efectos negativos en la salud. Hay estudios que evidencian la asociación de sus efectos sobre la salud, pero incluso dentro de estos aun no llegan a un consenso sobre cuál es el valor umbral a partir del cual el humano se encuentra fuera de peligro (Anderson, 2004 y OMS, 2005).

Por estos motivos, es necesario plantear estrategias para la ubicación de futuras industrias que produzcan algún tipo de emisión nociva. Básicamente, se propone tomar en cuenta el Código de Planeamiento Urbano de Santa Rosa dónde en su apartado “Localización de actividades industriales y servicios”, requiere especificar la magnitud, tipo de actividad y grado de molestia (MSR, 2017). Y a esto sumarle una proyección de la carga contaminante que se emitiría al ambiente en función del funcionamiento de cada proyecto (ésta puede realizarse con la utilización de modelos de dispersión) y en conjunto con el modelado de las corrientes de aire predominantes, definir el lugar más conveniente para su instalación. Por ejemplo, la instalación de una fábrica con características similares a la de producción de alimento balanceado sería viable ubicarla al NE o SE de la ciudad, proponiendo a su vez, la utilización de tecnologías apropiadas para la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos.

4. CONCLUSIONES

- En general, las concentraciones de los contaminantes emitidos durante el 2017 para cada fábrica no excedieron los niveles guía de calidad de aire propuestos por OMS (2006), FENOSA (2018) y el Decreto Provincial N° 569/13 de La Pampa debido a las características estructurales de las chimeneas (como la altura y diámetro), los niveles de consumo de gas natural y tiempo de funcionamiento de las calderas debido al tipo de actividades que llevaron a cabo.
- La dirección predominante de los vientos ubicados a 1000 metros sobre la superficie fue NE, E y S y éstos varían estacionalmente.
- Es importante realizar una salvedad al momento de hablar sobre cuales barrios han recibido las emisiones producidas por estas dos fábricas. Este estudio fue llevado a cabo con datos obtenidos mediante encuestas realizadas a las empresas y con la ejecución de dos modelos de dispersión, SCREEN3 y HYSPLIT. Esto implica que los resultados obtenidos plantean un escenario dónde en al menos una estación del año 2017, alguno de los barrios aledaños podría haber sido afectado por las emisiones. Los barrios que podrían haber recibido la mayoría de sus emisiones durante 2017 fueron el B° Escondido y B° Néstor Kirchner y otros.
- En el momento en el que se desarrolló el barrio Parque Industrial y en el que, tiempo después, se instalaron estas fábricas analizadas, existía poca probabilidad de afectar a la salud de la población porque los barrios se encontraban mucho más alejados. Hoy, la realidad es otra, dado que el crecimiento demográfico de la ciudad ha llevado a construir barrios en las cercanías de este polo industrial urbano. En este sentido, los resultados de esta tesina muestran que la ubicación de este tipo de industrias con estas características en el Parque Industrial aportaría al ambiente una cantidad ínfima de contaminantes atmosféricos según los estándares de calidad de aire utilizados. Sin embargo, no se debería descartar el efecto negativo directo que produce el material particulado PM10, PM2.5 y otros compuestos sobre la salud humana aun en concentraciones mucho más bajas (Anderson, 2004 y OMS, 2005).
- También debe considerarse que los valores de concentración de contaminantes informados en este trabajo se obtuvieron suponiendo las peores condiciones atmosféricas que brindarían las máximas concentraciones de emisiones industriales. Independientemente del efecto sobre los barrios aledaños, los resultados mostraron que los contaminantes emitidos por ambas fábricas tienen una muy buena dispersión. Los

factores que favorecieron este hecho fueron las condiciones topográficas y morfológicas del terreno, la estabilidad atmosférica y las condiciones estructurales y de funcionamiento de las calderas y las condiciones de la chimenea.

- En relación a lo anterior y teniendo en cuenta el tercer objetivo específico de esta tesina, la estrategia general para prevenir y mitigar la polución de este tipo de actividades sería aprovechar la excelente capacidad de dispersión de los contaminantes que ofrece la geografía de la zona y ubicar a las futuras empresas, que produzcan emisiones atmosféricas, en función de la dirección de los vientos predominantes que menos afecten a la población circundante. En el caso analizado, se presentó que la mayoría de los efluentes se distribuían entre los cuadrantes NE y SE. Por lo tanto, esta área de la ciudad sería la más propicia para este tipo de instalaciones, siempre y cuando las demás regulaciones legales y ambientales así lo permitieran.
- En cuanto a las emisiones de CO₂ equivalente, aunque ambas fábricas presentaron valores muy bajos, es importante tener en cuenta el impacto de este gas sobre el clima global, dado que es uno de los principales compuestos que intervienen en el efecto invernadero.
- El presente trabajo muestra la importancia de la utilización de los factores de emisión y los modelos de dispersión atmosférica en los estudios de calidad ambiental. Asimismo, resalta la necesidad de implementar estas herramientas y complementarlas con la información de las guías de calidad de aire a los fines de planificar la ubicación de polos industriales y de fábricas para que sus emisiones no afecten a la población. El cuidado del ambiente es un trabajo de carácter interdisciplinario. Dónde no solo deben plasmarse análisis cuantitativos de contaminantes, sino también debe acompañarse de estudios de modelado y planteamiento de escenario, desarrollo urbanístico, políticas ambientales y marcos legislativos acordes, en los que se reglamente y determine cada cuanto y cómo se debe realizar la evaluación de calidad del aire, cómo informarlo y cómo proceder ante cualquier caso. El fin es mejorar la calidad de vida de la población en general y brindar herramientas más y mejores para los actuales y futuros profesionales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Air Resource Laboratory (ARL, 2019). *HYSPLIT*. U.S. Department of Commerce. Washington, DC. Recuperado de <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/hysplit/>
- AlRafea, K., Elkamel, A. y Abdul-Wahab, S. A. (2016). *Cost-analysis of health impacts associated with emissions from combined cycle power plant*. Journal of Cleaner Production, *volumen (139)*, 1408-1424. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.001
- Anderson H.R. (2004). *Meta-analysis of time series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3)*. Report of a WHO task group. Disponible en: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/74731/e82792.pdf
- Barragán, H. L. (2010). *Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales: la crisis de la sustentabilidad*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2010.524 p.; ISBN 978-950-34-0698-4
- Barriga, A. y Auhing, L. (2005). *Sistematización de Procedimiento para Dimensionamiento de Chimeneas en Sistemas de Combustión Industrial: Caso de Estudio de Dispersión al entorno de Contaminantes de la Estela*. Revista Tecnológica ESPOL, *volume (18)*, 93-99. ISSN: 0257-1749
- Battista, G. (2017). *Analysis of the Air Pollution Sources in the city of Rome (Italy)*. Energy Procedia, *volumen (126)*, 392-397. doi: 10.1016/j.egypro.2017.08.271
- Bayala, M. P. (2017). *Concentraciones máximas esperables de contaminantes atmosféricos en una fábrica de cemento*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Bertonatti, C. y Corcuera, J. (2000). *Situación Ambiental Argentina 2000*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires.
- Bolaño, B. R. (2009). *Contaminación atmosférica producida por fuentes móviles en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa*. Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa, Argentina.
- Burgui, Mario. (2008). *Medio ambiente y calidad de vida*. Cuadernos de bioética, ISSN 1132-1989, Vol. 19, N° 66, 2008, pags. 293-317. 19.
- Cano, E. (1980). *Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Gobierno de La Pampa, Universidad Nacional de La Pampa y Subsecretaría de Cultura. Primera edición. Buenos Aires, Argentina. 493 páginas.
- Cabrera Fernández A. J., (2012). *Aplicación de un modelo de dispersión atmosférica*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.

- Cincinelli, A. y Katsoiannis, A. (2016). *Atmospheric pollution in city centres and urban environments. The impact of scientific, regulatory and industrial progress*. Science of The Total Environment, volumen (579), 1057-1058. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.057
- Clean Air Institute (CAI, 2012). *LA CALIDAD DEL AIRE EN LATINO AMERICA: Una visión panorámica*. Recuperado de <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (CEPAL, 2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813_es.pdf
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE, 2016). *Estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la jurisdicción de Cornare: informe general*. Medellín, Colombia.
- Crespo, E. (2008). *Técnicas de Muestreo*. Módulo: Contaminación Atmosférica. Escuela de Organización Industrial. Recuperado de <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45769.pdf>
- Draxler, R. R. y Rolph, G. D. (2003). *HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY*. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. Recuperado de <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.
- Diez S.; Fonseca J, M. y Britch J. (2011). Mapa de riesgos a la salud humana considerando la dispersión de material particulado PM10: un caso de estudio. En S. Enrique Puliafito (Ed.), *Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina* pp (191-200). Universidad Tecnológica Nacional.
- Environmental Protection Agency (EPA, 2013). *Recommended Procedures for Development of Emissions Factors and Use of the WebFire Database*. Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/efpac/procedures/procedures81213.pdf>
- Figueruelo J. E. y Marino Dávila, M. M. (2004). *Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales.*, Editorial Reverté, España, 2004.
- Finlayson-Pitts, B. J. y Pitts, J. N. Jr. (2000). *Chemistry of the upper and the lower atmosphere: theory, experiments, and applications*. Editorial Academic Press, (pp. 969).
- Fundación Gas Natural Fenosa (FGNF, 2018). *La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial*. Madrid, España.

- Galindo García, I. F. (1999). *Librería de software de procedimientos meteorológicos para modelos de dispersión de contaminantes*. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo, Cuernavaca, México.
- Gómez Orea, D. y Valdivieso T. (1994). *Ordenación del Territorio: Una Aproximación desde el medio físico*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Ed. Agrícola Española. SA. 238 p. Madrid. España.
- Gómez, V. M. y Sabeh, E. N. (2000). *Calidad de Vida. Evolución del concepto y su influencia en la investigación y la práctica*. Integra: boletín de noticias del Instituto Universitario de Integración en la Comunidad, volumen (3), 1-4. Recuperado de <https://parquedelavida.co/index.php/publicaciones/banco-de-conocimiento/item/121-calidad-de-vida-evolucion-del-concepto-y-su-influencia-en-la-investigacion-y-la-practica-maria-gomez-vela-espana-2005>
- Gómez, V. T. (2008). *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la elaboración de planes de acción locales para mejorar la calidad del aire y estudios de impacto ambiental: estudio de caso*. Madrid. Cumbre del desarrollo sostenible, 9no Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Haberlein, R. A. (1998). *CFA Emission Models for the Reinforced Plastics Industries*. Annapolis, Maryland: Two Fisk Circle. Recuperado de https://www3.epa.gov/ttnchie1/efdocs/cfa_rpt3.pdf
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].
- Lagos Villar, G. (2017). *Estudio de modelos de dispersión y su aplicación al control industrial*. Universidad de Alcalá. Madrid.
- Liu, B., Wagner, L. E., Ning, D., Qu, J. (2017). *Estimation of wind erosion from construction of a railway in arid Northwest China*. International Soil and Water Conservation Research, volumen (5), 102-108. doi: 10.1016/j.iswcr.2017.04.005
- Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires (MAPBA, 2018). *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*. Recuperado de

https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huel_la_de_Carbono.pdf

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS, 2017). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina*. ISBN 978-987-1560-73-8
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS, 2019). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Monitoreo de Medidas de Mitigación*. Desagregación Provincial. Serie 2010 - 2016. Recuperado de <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/resultados>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del Gobierno de Colombia (MAyDSGC, 2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (MAyDS, 2016). *Informe del estado del ambiente*. Recuperado de http://ambiente.gob.ar/wp-content/uploads/MAYDS_IEA_2016_baja.pdf
- Ministry of the Environment and Climate Change's Public Information Centre. (MECCPIC, 2017). *Air dispersion modelling guideline for ontario [guideline a-11]*. Toronto, Canada.
- Municipalidad de Santa Rosa. (MSR, 2017). *Código Urbanístico. Secretaría de Obras, Servicios Públicos y Planeamiento Urbano*. Municipalidad de Santa Rosa. Santa Rosa. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1jIg_g26u7ved-fzRCBI0IXCKObuojta/view
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2017). *Global Climate Report - Annual 2017*. Recuperado de <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713/supplemental/page-5>
- Olaguer, E. P. (2016). *Atmospheric Impacts of the Oil and Gas Industry*. Editorial Academic Press, (pp. 336).
- Olaguer, E. P. (2017). *Emission Inventories*. En E. Thompson. (Ed.), *Atmospheric Impacts of the Oil and Gas Industry* (pp. 67-76). doi: [10.1016/B978-0-12-801883-5.00014-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801883-5.00014-0)
- Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005). *Particulate matter air pollution: how it harms health*. World Health Organization. Disponible en: <http://www.chaseireland.org/Documents/WHOParticulateMatter.pdf>

- Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. (OMS, 2016). *Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks*. Francia.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018). *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero - N°14: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2017*. Recuperado de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5463
- Pilla, F. y Broderick, B. (2015). *A GIS model for personal exposure to PM10 for Dublin commuters*. *Sustainable Cities and Society, volumen (15), 1-10*. doi: 10.1016/j.scs.2014.10.005
- Rubio, Y. L. (2008). *Diagnóstico ambiental de la ciudad de santa rosa, la pampa: base para un ordenamiento territorial*. Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa, Argentina.
- Sastoque, Y. V. (2007). *Análisis comparativo de diferentes modelos para los coeficientes de dispersión atmosférica y su efecto en el cálculo de dosis. Caso de aplicación: reactor experimental RA-6*. Universidad Nacional de Cuyo. Instituto Balseiro. San Carlos de Bariloche.
- Secretaría General de Ambiente y Desarrollo Sostenible (SGAyDS, 2019). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*.
- Skromulis, A., Breidaks, J. y Teirumneiks, E. (2017). *Effect of atmospheric pollution on air ion concentration*. *Energy Procedia, volumen (113), 231-237*. doi: 10.1016/j.egypro.2017.04.059
- Song, C., Wu, L., Xie, Y., He, J., Chen, X., Wang, T., Lin, Y., Jin, T., Wang, A., Liu, Y., Dai, Q., Liu, B., Wang, Y. y Mao, H. (2017). *Air pollution in China: Status and spatiotemporal variations*. *Environmental Pollution, volumen (227), 334-347*. doi: 10.1016/j.envpol.2017.04.075
- Tarela P. A y Perone E. A. (2014). *Estudio de impacto ambiental atmosférico*. CT Patagonia, Comodoro Rivadavia.

- Thé J. L., Thé C. L., Johnson M. A. (2016). *SCREEN View. Screening Air Dispersion Model (SCREEN3). User's Guide.*. Lakes Environmental Software. Ontario, Canadá. Recuperado de https://www.weblakes.com/products/screen/resources/lakes_screen_view_user_guide.pdf
- Turner, D. B. (1949). *Workbook of Atmospheric Diffusion Estimates*. Department of Commerce. U.S. PHS Air Pollution in Donora, Pa, Bulletin 306, Cincinnati: Public Health Service. Springfield: VA, US.
- U.S. Environmental Protection Agency. (EPA, 1995). *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised. EPA-450/R-92-019*. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- U.S. Environmental Protection Agency. (EPA, 1995a). *Emissions factors & AP-42, Compilation of Air Pollutant emission factors (Quinta ed.)*. Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina.
- U.S. Environmental Protection Agency. (EPA, 1995b). *User's guide for the industrial source complex (isc3) dispersion models*. Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina 27711.
- Van Leuken, J. P. G., Swart, A. N., Havelaar, A. H., Van Pul, A., Van der Hoek, W. y Heederik, D. (2016). Atmospheric dispersion modelling of bioaerosols that are pathogenic to humans and livestock – A review to inform risk assessment studies. *Microbial Risk Analysis, volume (1), 19-39*. doi: 10.1016/j.mran.2015.07.002
- Velásquez Jofré H. H. (2007). *Diseño y cálculo de chimeneas para calderas de calefacción*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil. Valdivia, Chile.
- Viglizzo, E. y Carreño, L. (2001). *Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes en Argentina*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Viglizzo, E. y Jobbágy, E. G. (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Wark, K. (1990). *Contaminación del Aire: Origen y Control*. Limusa S.A. México.

6. ANEXO

Tabla A. Valores de concentración (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en función de la distancia desde la chimenea, de diferentes contaminantes emitidos por la fábrica de alimento balanceado. Los valores fueron estimados con el modelo SCREEN3.

Distancia (m)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	10 min	1 hora	24 horas	Anual	1 hora	24 horas	Anual	24 horas	Anual
100	4,29E-03	2,57E-02	0,62	170,44	9,45E-02	2,27	625,70	5,87	1618,91
500	6,58E-04	3,95E-03	9,47E-02	26,13	1,45E-02	0,35	95,92	0,90	248,20
1000	2,34E-04	1,40E-03	3,37E-02	9,29	5,15E-03	0,12	34,13	0,32	88,30
1500	1,30E-04	7,78E-04	1,87E-02	5,15	2,86E-03	6,85E-02	18,92	0,18	48,94
2000	8,67E-05	5,20E-04	1,25E-02	3,44	1,91E-03	4,58E-02	12,65	0,12	32,71
2500	6,40E-05	3,84E-04	9,22E-03	2,54	1,41E-03	3,39E-02	9,35	8,76E-02	24,17
3000	5,04E-05	3,02E-04	7,25E-03	2,00	1,11E-03	2,66E-02	7,35	6,89E-02	19,00
3500	4,13E-05	2,48E-04	5,94E-03	1,64	9,09E-04	2,18E-02	6,02	5,64E-02	15,58
4000	3,49E-05	2,09E-04	5,02E-03	1,39	7,68E-04	1,84E-02	5,09	4,77E-02	13,16

Distancia (m)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzo(a) pireno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Níquel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arsénico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cadmio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	24 horas	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual
100	1,96	540,12	0,14	0,60	5,69E-02	0,31	0,60	3,41E-04
500	0,30	82,80	2,18E-02	9,15E-02	8,72E-03	4,80E-02	9,15E-02	5,23E-05
1000	0,11	29,46	7,77E-03	3,26E-02	3,10E-03	1,71E-02	3,26E-02	1,86E-05
1500	5,92E-02	16,33	4,31E-03	1,81E-02	1,72E-03	9,46E-03	1,81E-02	1,03E-05
2000	3,96E-02	10,92	2,88E-03	1,21E-02	1,15E-03	6,32E-03	1,21E-02	6,89E-06
2500	2,92E-02	8,07	2,13E-03	8,92E-03	8,50E-04	4,67E-03	8,92E-03	5,09E-06
3000	2,30E-02	6,34	1,67E-03	7,01E-03	6,68E-04	3,67E-03	7,01E-03	4,00E-06
3500	1,88E-02	5,20	1,37E-03	5,75E-03	5,48E-04	3,01E-03	5,75E-03	3,28E-06
4000	1,59E-02	4,39	1,16E-03	4,85E-03	4,63E-04	2,54E-03	4,85E-03	2,77E-06

Tabla B. Valores de concentración (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en función de la distancia desde la chimenea, de diferentes contaminantes emitidos por la fábrica de columnas de alumbrado público. Los valores fueron estimados con el modelo SCREEN3.

Distancia (m)	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	10 min	1 hora	24 horas	Anual	1 hora	24 horas	Anual	24 horas	Anual
100	2,1E-03	1,3E-02	0,30	83,46	4,61E-02	1,11	305,37	2,87	792,23
500	3,0E-04	1,8E-03	4,36E-02	12,02	6,64E-03	0,16	44,00	0,41	114,13
1000	1,0E-04	6,1E-04	1,47E-02	4,06	2,24E-03	5,38E-02	14,86	0,14	38,55
1500	5,6E-05	3,4E-04	8,05E-03	2,22	1,23E-03	2,95E-02	8,13	7,65E-02	21,11
2000	3,7E-05	2,2E-04	5,36E-03	1,48	8,17E-04	1,96E-02	5,41	5,09E-02	14,04
2500	2,7E-05	1,6E-04	3,95E-03	1,09	6,02E-04	1,44E-02	3,99	3,75E-02	10,34
3000	2,2E-05	1,3E-04	3,10E-03	0,86	4,72E-04	1,13E-02	3,13	2,94E-02	8,11
3500	1,8E-05	1,1E-04	2,54E-03	0,70	3,87E-04	9,28E-03	2,56	2,41E-02	6,64
4000	1,5E-05	8,9E-05	2,14E-03	0,59	3,27E-04	7,84E-03	2,16	2,03E-02	5,61

Distancia (m)	$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzo(a) pireno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Níquel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arsénico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cadmio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	24 horas	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual	Anual
100	0,96	264,03	6,95E-02	0,29	2,78E-02	0,15	0,29	1,67E-04
500	0,14	38,04	1,00E-02	4,21E-02	4,01E-03	2,20E-02	4,21E-02	2,41E-05
1000	0,05	12,85	3,38E-03	1,42E-02	1,35E-03	7,43E-03	1,42E-02	8,13E-06
1500	0,03	7,03	1,85E-03	7,78E-03	7,42E-04	4,07E-03	7,78E-03	4,45E-06
2000	1,69E-02	4,68	1,23E-03	5,17E-03	4,93E-04	2,71E-03	5,17E-03	2,96E-06
2500	1,25E-02	3,45	9,07E-04	3,81E-03	3,64E-04	1,99E-03	3,81E-03	2,18E-06
3000	9,80E-03	2,71	7,12E-04	2,99E-03	2,85E-04	1,56E-03	2,99E-03	1,71E-06
3500	8,03E-03	2,22	5,83E-04	2,45E-03	2,34E-04	1,28E-03	2,45E-03	1,40E-06
4000	6,78E-03	1,87	4,92E-04	2,07E-03	1,97E-04	1,08E-03	2,07E-03	1,18E-06