

CAPÍTULO 1

Introducción al modelado ambiental

Laura Massolo y German Castagnasso

Resumen: En este capítulo se desarrollará una introducción al tema explicando el uso y la importancia de los modelos de dispersión y distribución de contaminantes en los distintos compartimentos ambientales como así también su relevancia en el estudio de impactos ambientales y análisis de riesgo.

Introducción

El cambio climático ahora es reconocido como una prioridad global y requiere de acciones internacionales para garantizar que nuestro planeta siga siendo habitable, dichas acciones requieren de una apropiada interpretación, seguimiento y predicción, siendo el modelado ambiental una herramienta fundamental para lograrlo.

Actualmente sigue en aumento el número de productos químicos que se desarrollan y vuelcan en la economía global y por consiguiente en el ambiente. Paralelamente los desarrollos tecnológicos nos permiten medir concentraciones ambientales a niveles de picogramos (10^{-12} pg). Los enormes avances en toxicología nos revelan efectos cada vez más detallados de los productos químicos sobre los organismos, lo que nos incluye a los seres humanos en un mismo ambiente. La explosión de la tecnología de la información ha revolucionado el acceso a los datos sobre los sistemas ambientales y las propiedades fisicoquímicas que los definen.

Más que nunca necesitamos modelos que proporcionen una interpretación de la dispersión, distribución y destino químico en nuestro ambiente que nos permitan guiar los esfuerzos en el estudio, la regulación y la remediación.

Las sustancias liberadas al ambiente se dispersan y distribuyen transportadas por el viento o el caudal del río por distintos fenómenos como dispersión, difusión, advección. Según su afinidad con cada compartimento/subcompartimento se reparten según las leyes de la física y la química. También sufren transformaciones químicas (degradación, generación, especiación) con distintas velocidades y pueden bioacumularse.

En función de su afinidad por las distintas fases (aire, agua (superficial - subterránea), suelos, sedimentos, plantas, etc.) los productos químicos se reparten y si se establece la situación de equilibrio termodinámico se pueden definir constantes específicas, o coeficientes de reparto, K , que dependen de la sustancia y las propiedades de las fases. Estos coeficientes de reparto pueden calcularse mediante parámetros termodinámicos de cada sustancia. En tal sentido, K_{AW} se relaciona con

la presión de vapor, la constante de Henry y la solubilidad en agua; K_{ow} con la solubilidad en agua y en octanol, K_{oc} (partición entre agua y suelo o sedimento) con la solubilidad en agua y la afinidad por la fracción de carbono en suelo o sedimentos; K_{OA} con la presión de vapor y la afinidad por octanol.

Los modelos de dispersión y distribución de contaminantes simulan estos repartos y la dispersión en aire con el fin de establecer las máximas concentraciones del contaminante en cuestión en los distintos compartimentos. En tal sentido resultan una herramienta sumamente útil tanto en el ámbito público como privado para evaluaciones de impacto ambiental, análisis de riesgo, elaboración y seguimiento de planes de gestión ambiental, requerimientos regulatorios, entre otros. Dentro de la oferta de modelos disponibles podemos encontrar modelos a escala local, regional y global de distinto grado de complejidad.

Definición del modelado

De manera general, podemos definir a un modelo como una reproducción artificial y simplificada de un sistema complejo bajo análisis, que permite observar y estimar el comportamiento de los componentes de interés en función de los parámetros que lo caracterizan y de los datos que le son incorporados. La razón básica de usar un modelo es que su respuesta es más fácil de obtener y estudiar que la respuesta del sistema real. En tal sentido, los modelos ambientales tienen por objeto la predicción de comportamiento de un contaminante en el ambiente. Son ampliamente utilizados para evaluar el impacto de los contaminantes emitidos por diversas fuentes sobre distintos compartimentos. Para poder realizar una aplicación exitosa de los mismos, es necesario comprender conceptos básicos sobre propiedades fisicoquímicas de los compartimentos, de meteorología, topografía, áreas de sensibilidad como así también las ecuaciones que los gobiernan.

Las administraciones públicas cada vez más utilizan los modelos de dispersión y distribución de contaminantes como herramienta fundamental para la toma de decisiones relacionada con el lineamiento de políticas ambientales, en la definición de objetivos y metas, y en la evaluación de planes, programas o proyectos. En tal sentido, se utilizan para evaluar la viabilidad de los proyectos de instalaciones potencialmente generadoras de contaminantes ambientales, evaluar instalaciones en actividad, otorgar licencias de emisión y establecer las medidas correctoras y/o mitigadoras que sean necesarias. También son utilizados por consultoras privadas y empresas y en numerosos proyectos de investigación y transferencia.

Se puede encontrar información sobre el uso de modelos en la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, Air Quality Dispersion Modeling, 2022), CEMC de la Universidad de Trent, Canada (Trent, 2022), el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires (PBA, 2022). Asimismo, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural perteneciente al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) del Gobierno de España, elaboró un documento donde analiza las limitaciones y fortalezas de diversos softwares para el estudio del transporte y destino de contaminantes en diferentes matrices como suelo, agua (superficial y subterránea) y atmósfera.

Exactitud y complejidad de los modelos

Una exactitud mayor (una descripción del sistema mucho más próxima a la realidad que se intenta explicar/interpretar) exige una complejidad superior. Una mayor complejidad implica una capacidad descriptiva y predictiva mayor, mecanismos más refinados con un incremento en las variables (parámetros), en la cantidad y calidad de datos necesarios. La mayor complejidad está asociada también con un aumento en la incertidumbre total del modelo

Sin embargo, no es posible continuamente ganar en la exactitud aumentando la complejidad de los modelos. Por lo tanto, a no ser que el tiempo y los recursos disponibles sean infinitos, un compromiso en términos de complejidad es necesario para alcanzar un nivel óptimo de incertidumbre.

Selección y desarrollo del modelo

A partir de la elaboración del modelo conceptual (reconocimiento y análisis del problema o situación en estudio) se desarrolla o selecciona el “modelo apropiado” que mejor represente al modelo conceptual. Elaborar un modelo de un sistema en estudio es un modo habitual en las ciencias exactas y naturales para parametrizar y explicar su funcionamiento. Es decir, establecer las relaciones y procesos que allí se dan en términos cuantitativos, y a partir de éstos, establecer una formulación matemática que permita extrapolar esta explicación en el tiempo y el espacio, en distintas condiciones operativas y de este modo conocer cuál puede ser su comportamiento en diversos escenarios de interés.

Se debe seleccionar un conjunto de supuestos que sea lo suficientemente detallada para resultar útil y fiel descriptor de la realidad mientras que evite una descripción tan compleja que resulte difícil de interpretar. Debe haber un compromiso entre la complejidad de los datos de entrada, el costo computacional, el nivel descriptivo y la incertidumbre de los resultados. Por lo tanto, se recomienda utilizar sólo el detalle mínimo necesario considerando los procesos relevantes que controlan la distribución del contaminante y que permita describir cuantitativamente su destino final con un error menor al aceptado.

Objetivos del modelado ambiental

- Ganar un mejor entendimiento de los procesos ambientales
- Determinar concentraciones de sustancias químicas en los diversos compartimentos de un ecosistema, para usar en evaluación de exposición, impactos y riesgos
- Predecir concentraciones ambientales futuras
- Satisfacer requerimientos regulatorios relacionados a emisiones, descargas y transferencia
- Usar hipótesis de testeo relacionadas a procesos, alternativas de control de contaminantes
- Generar datos para pos-procesamiento: comunicación, visualización y animación

Variables a considerar en la elaboración del modelo conceptual

El alcance del modelo conceptual debe ser aquel que se ajuste mejor a las necesidades del proyecto sin consumir recursos innecesariamente. Si resulta muy simplificado pierde robustez, derivando en un riesgo sobreestimado o subestimado, y la necesidad de repetir el proceso. Por otro lado, un modelo conceptual demasiado complejo puede exigir datos difíciles de procesar y consume más recursos. Por lo tanto, es importante reconocer las distintas variables involucradas con las fuentes de contaminación, los vectores y los receptores de mayor relevancia como así también identificar aquellas variables que pueden considerarse despreciables para nuestro sistema. En la figura 1.1 podemos ver algunos ejemplos de las variables mencionadas.

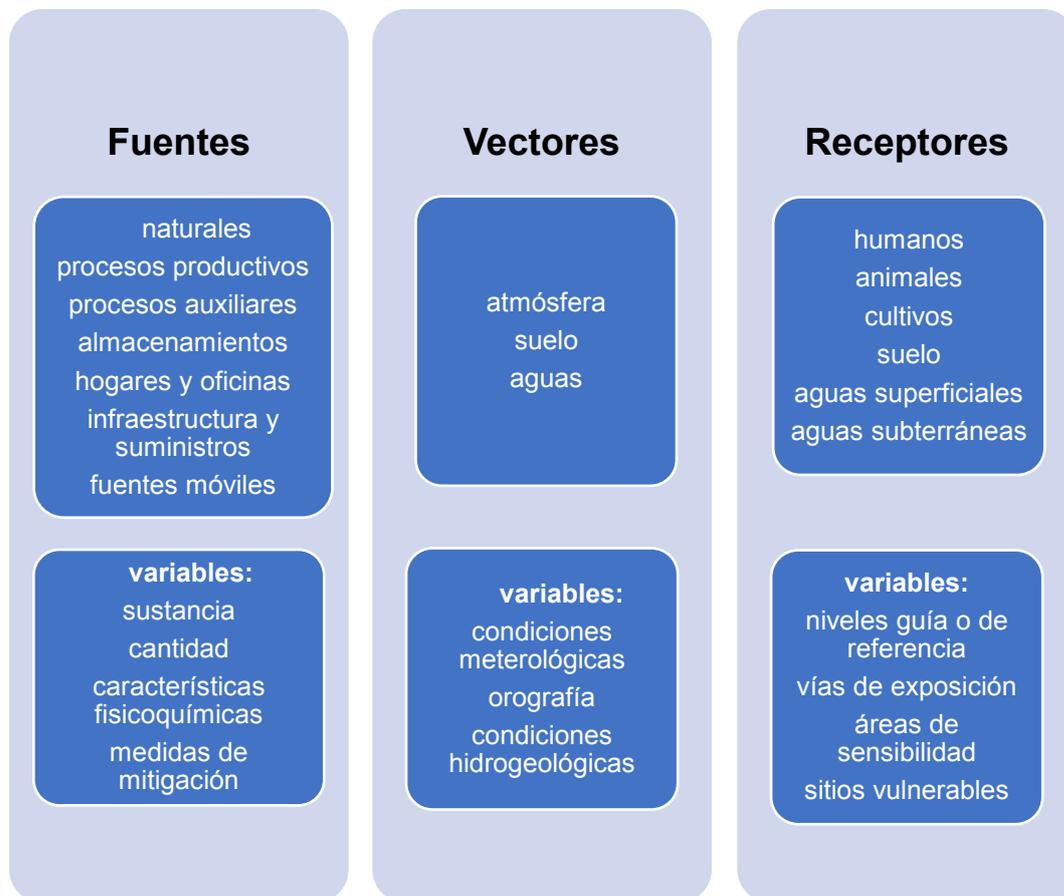


Figura 1.1: Ejemplo de fuentes, vectores y receptores y sus variables involucradas

Selección del modelo apropiado

La oferta de modelos que se puede encontrar en el mercado actual es muy numerosa y variada en cuanto a su tipología. Por lo tanto, su elección es un compromiso entre la complejidad de los datos de entrada, el costo computacional, el nivel descriptivo y la incertidumbre de los resultados.

Una clasificación simple en cuanto a grado de complejidad y formulación matemática es agruparlos en analíticos y numéricos, siendo estos últimos más precisos y de mayor complejidad.

En muchos casos, la ausencia o dificultad de obtención de los datos de entrada es el criterio básico de decisión para el uso de modelos analíticos sencillos ya que de nada sirve usar un modelo más sofisticado si no tenemos datos para su alimentación y debemos realizar demasiadas suposiciones que nos llevarán indefectiblemente a cometer errores.

A continuación, haremos una breve descripción de ambos tipos de modelos:

Modelos analíticos

Este tipo de modelos son útiles para una primera aproximación al problema enfocado a la toma de decisiones. Generalmente las ecuaciones consideradas permiten la obtención de un resultado de manera simple y rápida. Permiten simulaciones de una dimensión o dos dimensiones y son, razonablemente exigentes en cuanto a la necesidad de datos de entrada. Aunque son modelos fáciles de usar y que no requieren de paquetes de datos de entrada complejos, éstos se basan en hipótesis de partida, en ocasiones, muy simplificadas. No se aconsejan para condiciones atmosféricas muy estables, terrenos complejos, mezclas de compuestos con reacciones químicas. En la tabla 1.1 se muestran ventajas y desventajas del uso de este tipo de modelos.

MODELOS ANALÍTICOS	
ventajas	desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • fórmulas sencillas • cálculos rápidos • uso libre o económicos • uso intuitivo • entorno amigable 	<ul style="list-style-type: none"> • solo aplicable a sistemas sencillos • la mayoría incluyen muchas suposiciones • no necesitan gran cantidad de datos de alimentación • resultados conservadores

Tabla 1.1: ventajas y desventajas de los modelos analíticos

Modelos numéricos

Los modelos numéricos suelen utilizarse para modelos conceptuales complejos. Surgen de la resolución de las ecuaciones gobernantes mediante el uso de métodos numéricos tales como

diferencias finitas, elementos y volúmenes finitos. Requieren la adquisición específica de un gran conjunto de datos de entrada complejos en cuanto a facilidad de obtención o procesamiento previo, con una amplia cobertura espacial y temporal de los distintos procesos que tienen lugar. Permiten simulaciones en tres dimensiones (3D).

Estos modelos dan un resultado más ajustado a la realidad que los modelos analíticos, pero son más complicados y requieren más tiempo para su correcta aplicación. Requieren de un análisis más exhaustivo en la fase inicial de desarrollo del modelo conceptual, que generalmente requiere de un usuario experto. En la tabla 1.2 se muestran ventajas y desventajas del uso de este tipo de modelos.

MODELOS NUMÉRICOS	
ventajas	desventajas
<ul style="list-style-type: none"> •aplicables a sistemas complejos •resultados con alto grado de confianza 	<ul style="list-style-type: none"> •requieren gran cantidad de datos de entrada •generalmente requieren licencia para su uso •requieren datos y conocimiento de climatología, topografía hidrogeología, entre otros •el proceso no es muy intuitivo por lo cual requieren operadores calificados •la confiabilidad de los resultados dependen de los datos de entrada

Tabla 1.2: ventajas y desventajas de los modelos numéricos.

Enfoques de modelado

Modelos multimediales

Los modelos multimediales son desarrollos basados en el concepto de fugacidad, un criterio de equilibrio que ha demostrado ser un método muy conveniente y elegante para calcular la partición del equilibrio de un compuesto químico entre distintos compartimientos ambientales o multimedia de un entorno. Se ha utilizado ampliamente y con éxito en los cálculos de procesamiento del destino de productos químicos en el ambiente.

En la propuesta de los modelos multimediales el ambiente es considerado conformado por compartimientos homogéneos (subsistemas, fases) que intercambian materia y energía entre sí, dando lugar a 4 modelos básicos de complejidad creciente, en función de las propiedades consideradas en cada compartimento y sus interfases, el tipo de interacción que regula el intercambio (equilibrio/estado estacionario / estado no estacionario) y si se trata de un sistema abierto o cerrado. Figura 1.2

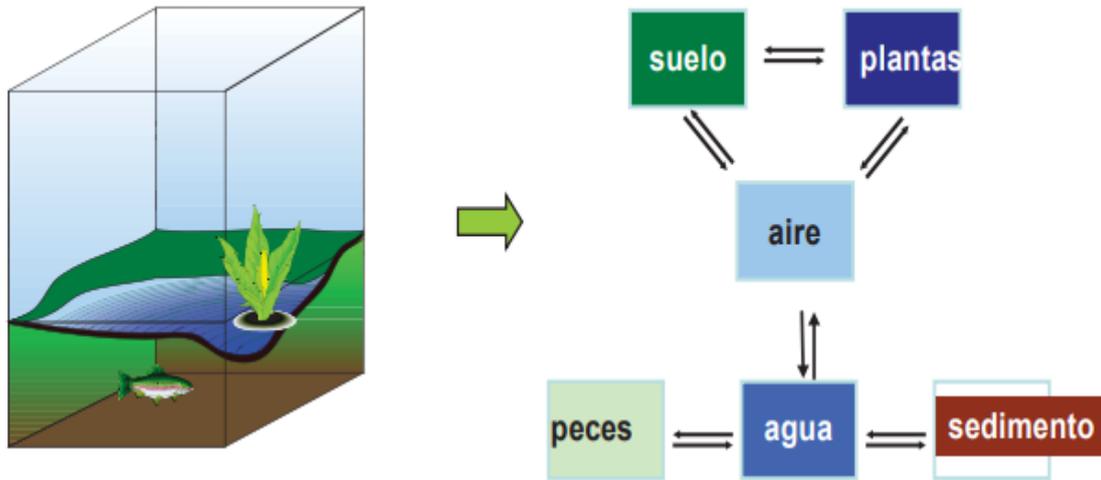


Figura 1.2 Esquema de seis compartimentos simples en equilibrio, con las interacciones entre ellos.

La fase puede ser continua (aire, agua) o partículas que no están en contacto, pero residentes en una misma fase: material particulado (aerosoles), o la biota en el agua. Las fases pueden ser químicamente similares, pero diferentes físicamente, por ejemplo, la troposfera o inferior de la atmósfera, y la estratosfera o en la alta atmósfera. Es conveniente agrupar a toda la biota junta dentro de cada fase. Si los compartimentos están en contacto la sustancia química puede migrar entre ellos (aire y agua), en otros que no están en contacto (aire-sedimentos), la transferencia directa no es posible. Algunas fases son accesibles en poco tiempo a la migración de sustancias químicas (aguas superficiales), pero otros sólo son accesibles lentamente (el profundo lago o aguas oceánicas), o efectivamente no del todo (por ejemplo, suelo, profundo o roca) (Massolo, 2015).

Para estimar la distribución de un contaminante liberado en el ambiente entre compartimentos del ecosistema (compartimentalización) debe considerarse:

- Sus parámetros fisicoquímicos específicos que le otorgan mayor o menor afinidad por los distintos compartimentos (aire, agua, suelo, biota) y su concentración o flujo másico de ingreso y de egreso (incluyendo pérdida por degradación, adsorción, complejación, etc.).
- Las dimensiones de los compartimentos en estudios y los valores de las propiedades que determinan la distribución del contaminante en cuestión.
- Todo ellos integrado e enlazado mediante formulaciones matemáticas coherentes y asociadas, de manera de constituir un modelo descriptivo.

Actualmente las simulaciones matemáticas del destino químico son más precisas, completas y confiables. Se ha demostrado que son consistentes con los datos de monitoreo ambiental y han ganado mayor credibilidad como herramientas de apoyo a la toma de decisiones a nivel de gestión. Sin duda, esta tendencia continuará, especialmente a medida que los jóvenes científicos y licenciados ambientales tomen las riendas de la ciencia ambiental y continúen desarrollando nuevos modelos de multimediales.

En este libro, exploraremos el concepto de fugacidad y las ecuaciones que nos permitan explicar y deducir el destino ambiental de distintos productos químicos en el Aire, Agua, Suelo y Sedimentos y los sub-compartimentos asociados, analizaremos los distintos enfoques y presentaremos los principales desarrollos de software en la materia.

Se recomienda al lector realizar un repaso de los principales conceptos asociados a fugacidad descriptos en el capítulo 6 del libro de cátedra Introducción a las herramientas de gestión ambiental (Massolo, 2015).

Modelos de calidad del aire

Los modelos de calidad del aire utilizan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan los contaminantes atmosféricos a medida que se dispersan y reaccionan en el aire. Se basan principalmente en la ejecución de una serie de datos de entradas como ser los registros meteorológicos, información sobre las fuentes de estudio, tasas de emisión y altura de chimenea. Estos modelos están diseñados para caracterizar los contaminantes primarios que se emiten directamente a la atmósfera y, en algunos casos, los contaminantes secundarios que se forman como resultado de reacciones químicas complejas dentro de la atmósfera (US-EPA, 2022).

Los modelos de calidad de aire son utilizados como herramientas para la gestión de la calidad del aire desde el punto de vista regulatorio, dado que son ampliamente utilizados por las agencias ambientales encargadas de identificar las fuentes de contaminación, controlar la emisión atmosférica y ayudar en el diseño de estrategias efectivas para reducir los contaminantes atmosféricos perjudiciales para la salud y el ambiente. Por ejemplo, estos modelos se pueden usar durante el proceso de obtención de licencias ambientales de habilitación para industrias, para verificar que una nueva fuente no exceda los estándares de calidad del aire ambiental o, si es necesario, determinar los requisitos de control adicionales apropiados sobre un generador. Por ejemplo, puede nombrarse el proceso de obtención de la Licencia de Emisiones Gaseosas a la atmósfera (LEGA) que todo generador de emisiones debe solicitar en la provincia de Bs As, cuya autoridad de aplicación es el Ministerio de Ambiente.

Además, los modelos de calidad del aire también se pueden utilizar para predecir futuras concentraciones de contaminantes de múltiples fuentes de generación después de la implementación de un nuevo programa regulatorio, a fin de estimar la efectividad del programa para reducir las exposiciones dañinas para la población y el ambiente.

Los modelos de calidad del aire más utilizados se pueden agrupar como:

Modelos de dispersión

Son modelos que generalmente se usan en el proceso de obtención de Licencias ambientales para estimar la concentración de contaminantes en receptores específicos a nivel del suelo que rodean una fuente de particular.

Estos modelos utilizan formulaciones matemáticas para caracterizar los procesos atmosféricos que dispersan un contaminante emitido por una fuente. Con base en las entradas de emisiones y registros **meteorológicos**, se puede usar un modelo de dispersión para predecir las concentraciones en ubicaciones seleccionadas de receptores a favor del viento. Estos modelos de calidad del aire se utilizan para determinar el cumplimiento de los Estándares Calidad del Aire Ambiental que en el caso de la Provincia de Bs As se encuentran regulados en la Tabla A del Decreto 1074/18 además de otros requisitos normativos, como la Revisión de Nuevas Fuentes de generación. Muchas agencias ambientales a nivel mundial eligen esta estrategia de gestión siendo la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. una de las que más desarrollo han realizado al respecto.

El modelo de dispersión de aire preferido por la EPA de EE. UU y utilizado por muchas agencias ambientales es el denominado AERMOD. El desarrollo de AERMOD comenzó en 1991, basado en las indicaciones de AERMIC (Comité de mejora del modelo regulatorio de la Sociedad Meteorológica Estadounidense / Agencia de Protección Ambiental) que delineó una nueva base para los modelos de calidad del aire en estado estacionario para ser utilizados con fines regulatorios. A partir de diciembre de 2007, AERMOD ha reemplazado a ISC3 entre los modelos recomendados por la EPA de EE. UU. para modelar el impacto de fuentes industriales a nivel del suelo y elevadas en terrenos planos o moderadamente complejos.

Modelos fotoquímicos

Son modelos que se utilizan normalmente en evaluaciones regulatorias o de políticas públicas para simular los impactos de todas las fuentes al estimar las concentraciones de contaminantes y la deposición de estos, considerando a los mismos tanto como inertes o químicamente reactivos en grandes escalas espaciales.

Los modelos fotoquímicos de calidad del aire se han convertido en herramientas ampliamente reconocidas y utilizadas de forma rutinaria para el análisis a nivel regulatorio y para demostrar el grado de cumplimiento mediante la evaluación de la eficacia de las estrategias de control. Estos modelos fotoquímicos son modelos de calidad del aire a gran escala que simulan los cambios en las concentraciones de contaminantes en la atmósfera utilizando un conjunto de ecuaciones matemáticas que caracterizan los procesos químicos y físicos en la atmósfera. Estos modelos se aplican en múltiples escalas espaciales como ser la local, regional, nacional y global.

Hay dos tipos de modelos fotoquímicos de la calidad del aire que se usan comúnmente en las evaluaciones: el modelo de trayectoria lagrangiana que emplea un marco de referencia móvil y el modelo de cuadrícula euleriana que usa un sistema de coordenadas fijo con respecto al suelo.

Los esfuerzos de modelado de generaciones anteriores a menudo adoptaron el enfoque de Lagrange para simular la formación de contaminantes debido a su simplicidad computacional. Sin embargo, la desventaja del enfoque lagrangiano es que los procesos físicos que puede describir son algo incompletos. La mayoría de los modelos fotoquímicos operativos actuales de la calidad del aire han adoptado el modelo de cuadrícula Euleriana tridimensional principalmente

debido a su capacidad para caracterizar mejor y más completamente los procesos físicos en la atmósfera y predecir las concentraciones de especies en todo el dominio del modelo.

Modelos de receptores

Los modelos de receptores son procedimientos matemáticos o estadísticos para identificar y cuantificar las fuentes de contaminantes del aire en una ubicación receptora. A diferencia de los modelos fotoquímicos y de dispersión de la calidad del aire, los modelos de receptores no utilizan emisiones de contaminantes, datos meteorológicos ni mecanismos de transformación química para estimar la contribución de las fuentes a las concentraciones en los receptores.

Los modelos de receptores utilizan las características químicas y físicas de los gases y partículas medidos en la fuente y el receptor para identificar la presencia y cuantificar las contribuciones de la fuente a las concentraciones del receptor. Por lo tanto, estos modelos son un complemento natural de otros modelos de calidad del aire y se utilizan como parte de los esfuerzos regulatorios para identificar las fuentes que contribuyen a los problemas de calidad del aire.

Otros modelos

Uno de los modelos actualmente utilizado de manera gubernamental para el control de la calidad de aire es el denominado CMAQ desarrollado y operado por la EPA de los EEUU cuya sigla se denomina como Sistema de modelado de la calidad del aire comunitario a multiescala.

El CMAQ permite representar de manera integral los procesos más importantes que afectan la calidad del aire y la química atmosférica. Consta de un conjunto de programas para realizar simulaciones de modelos de calidad del aire, combinando el conocimiento actual en ciencia atmosférica, técnicas de computación multiprocesador y un marco de código abierto para brindar estimaciones rápidas y técnicamente sólidas para los compuestos ozono, material particulado, compuestos químicos y predicciones de los procesos de deposición ácida. (Brewer, 2005)

Las simulaciones incluyen como datos de entrada las emisiones provenientes de una amplia gama de fuentes, así como el transporte por el viento y la deposición por eventos de precipitación. El Sistema CMAQ utiliza una extensa base de datos de reacciones químicas atmosféricas para predecir la concentración de compuestos químicos y la pérdida de contaminantes a medida que son transportados por el viento desde sus fuentes de emisión. Además de las especies en fase gaseosa, muchos contaminantes existen parcial o totalmente en forma de partículas en el aire, lo que les da el potencial de interactuar con la radiación solar entrante y las nubes cuyas dinámicas son especialmente complejas (Carlton, 2008).

Un gran desafío para modelos como CMAQ es capturar la variabilidad en las emisiones provocadas por el hombre y los patrones climáticos de un área, región o para todo el mundo. Además de las variaciones en el espacio, los métodos CMAQ tienen que lidiar con las emisiones y los cambios climáticos que ocurren durante décadas, a lo largo de las estaciones e incluso en el transcurso de un día (Ervens, 2015).

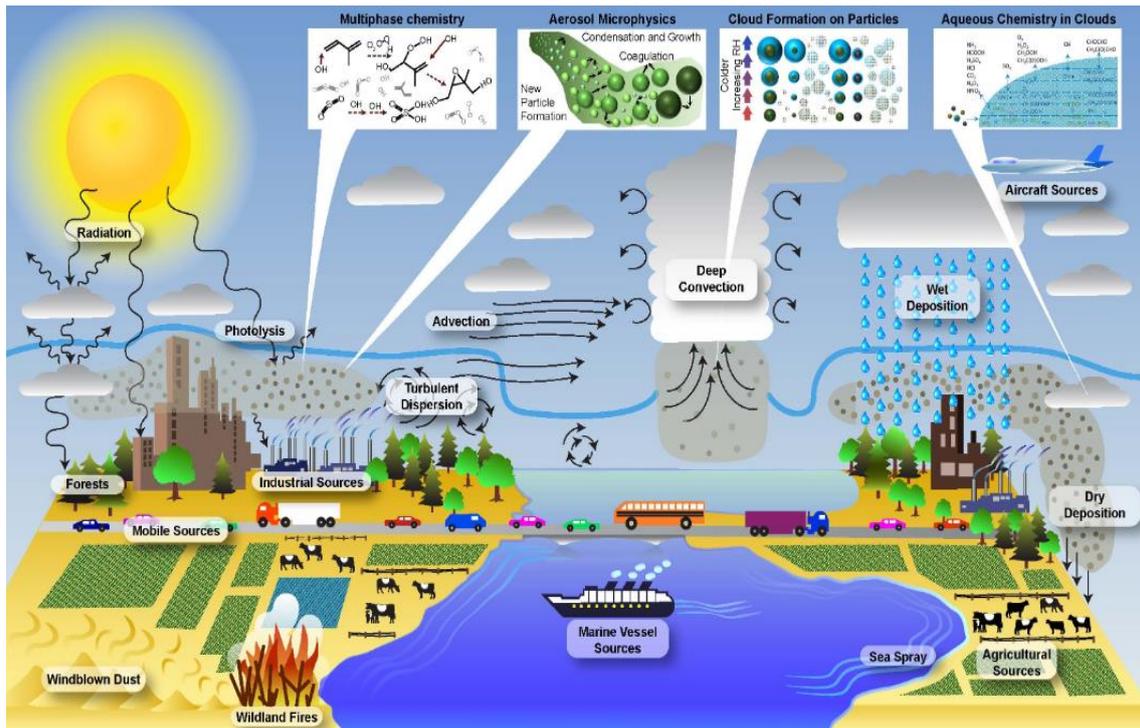


Figura 1.3 Descripción general de los procesos contemplados en el modelo CMAQ Fuente USEPA

El sistema CMAQ simula la química de los contaminantes transportados por el aire con un enfoque semiintegrado. Las reacciones químicas pueden ocurrir completamente en fase gaseosa, completamente en fase de partículas o involucrando compuestos en fase gaseosa en superficies de partículas; los impactos netos de todos estos tipos de reacciones se calculan simultáneamente. Al mismo tiempo, se calculan los efectos de las precipitaciones y la evaporación de compuestos entre la fase gaseosa y cualquier partícula existente. (Hansen, 2003). El papel de las nubes en la química atmosférica también se calcula en forma paralela, ya que la oxidación de parcelas de aire nublado puede producir grandes cantidades de masa de partículas, especialmente a partir de compuestos con azufre o compuestos orgánicos. (Philip, 2014). Los principales módulos de cálculo se pueden resumir como:

- Fotólisis
- Química multifase.
- Microfísica de partículas en el aire.
- Procesos químicos transmitidos por las nubes.

A continuación, ejemplos de salidas graficas para Ozono (Figura 1.4) y PM2.5 (Figura 1.5) pronosticada por CMAQ para los EE. UU.: (SCAM USEPA, 2022)

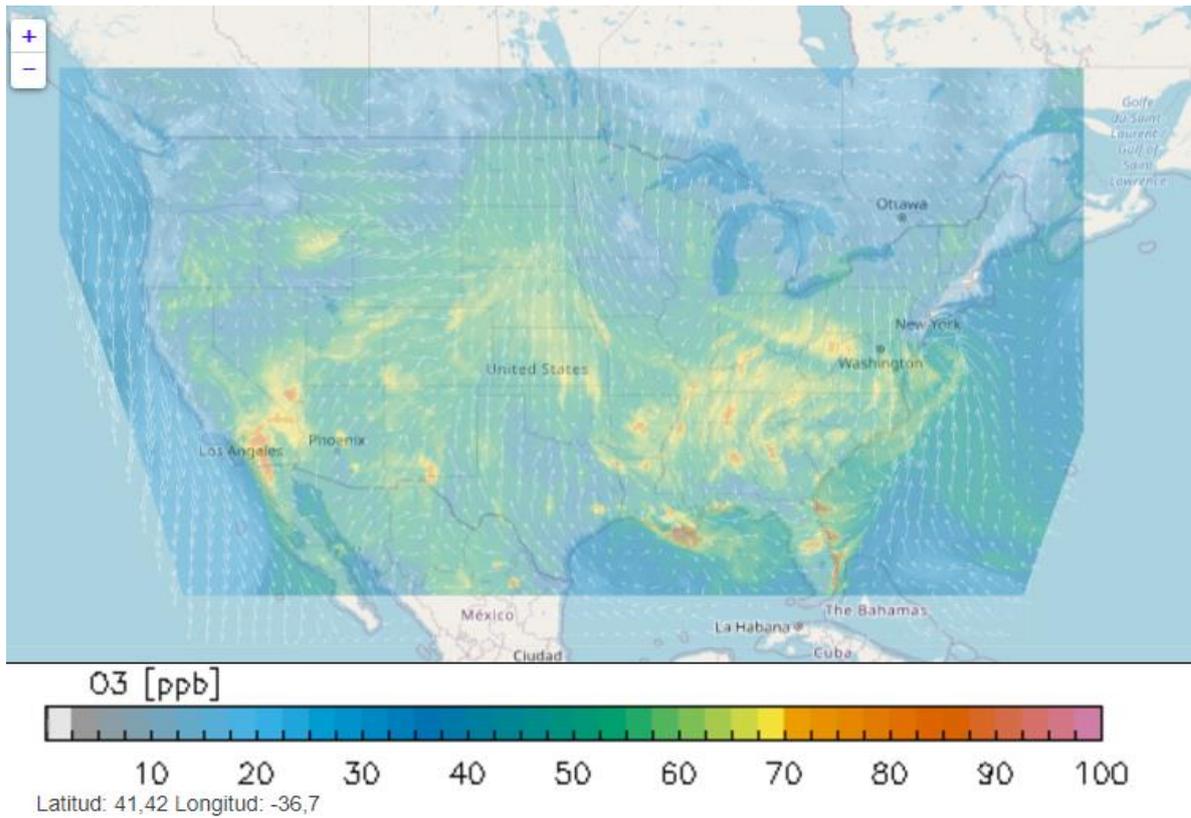


Figura 1.4: La siguiente imagen predeterminada muestra el ozono pronosticado por el modelo entre junio y agosto de 2012 para los Estados Unidos. Luego, los vientos transportan el ozono desde las fuentes de contaminación hasta los lugares a favor del viento. Las flechas blancas representan la dirección y la velocidad del viento en la superficie pronosticadas por el modelo.

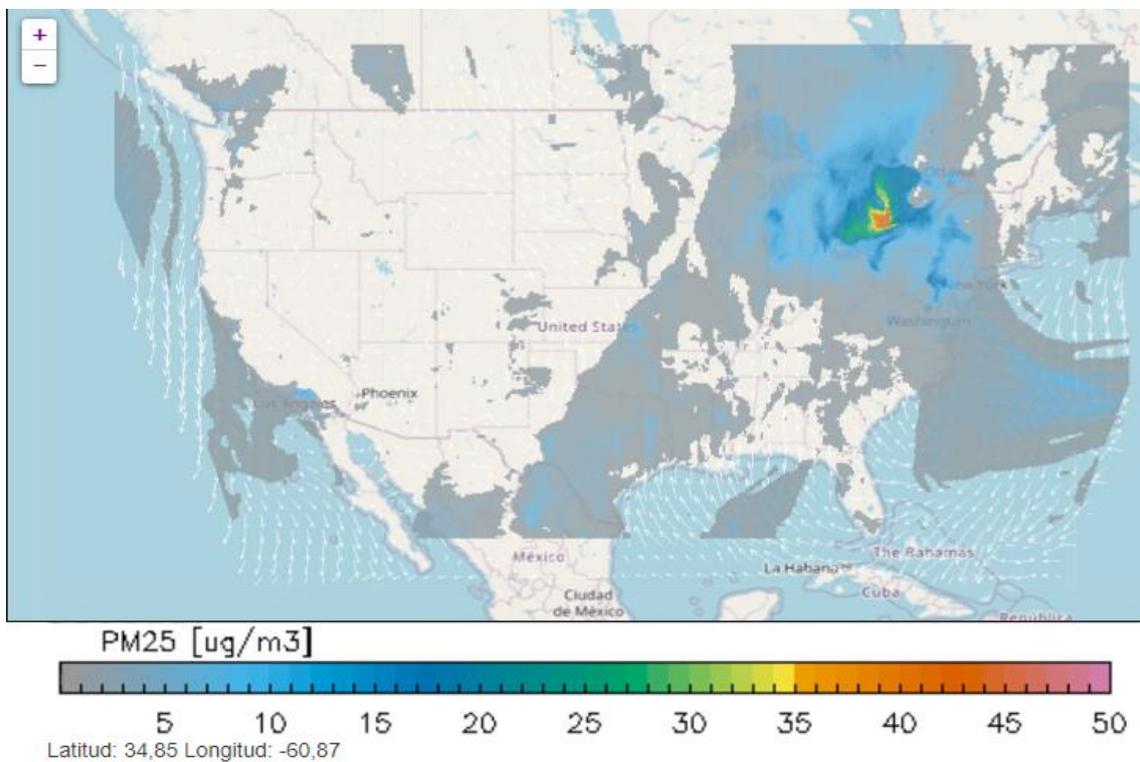


Figura 1.5: La siguiente figura muestra una instantánea pronosticada por el modelo entre junio y agosto de 2012 para la concentración de PM-2.5.

Enfoque para el modelo de calidad del aire de próxima generación

El futuro de los modelos globales de calidad del aire a múltiples escalas, son los enfoques de modelos meteorológicos que incluyen el refinamiento de malla sin fisuras desde escalas globales a locales. Estas estructuras de malla son ideales para el modelado de la calidad del aire, ya que cubren todo el mundo con una malla gruesa, pero pueden resolver áreas de interés a escala regional con una malla mucho más fina. O, un refinamiento adicional a una región local como una ciudad específica o incluso varios centros urbanos donde la calidad del aire sigue siendo un problema de salud. (Pleim J., 2018)

Entre Los modelos de calidad del aire de próxima generación, podemos nombrar al modelo de predicción a través de escalas (MPAS) el cual proporciona una malla de cuadrícula meteorológica computacional. El componente de calidad del aire está en proceso de rediseño del modelo 3D CMAQ actual a un modelo de columna 1D (dimensión vertical solamente) donde MPAS manejará el transporte horizontal de concentraciones químicas. Este diseño resultará en flexibilidad, eficiencia y consistencia (Bullock Jr., 2018) Figura 1.6.

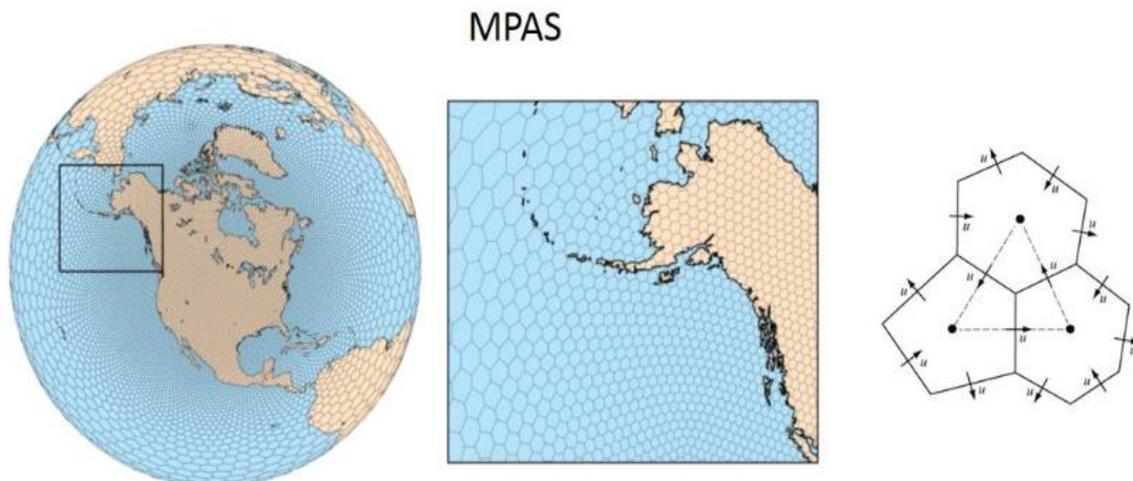


Figura 1.6 Transición de celdas de cuadrícula grandes a escala global a celdas finas a escala urbana

La transición de celdas de cuadrícula grandes a escala global a celdas finas a escala urbana y cercana a la urbana se observa de derecha a izquierda. El tamaño de las celdas de la cuadrícula puede cambiar drásticamente, aunque sin problemas, a lo largo de cientos de kilómetros (centro). Los ángulos, las longitudes de los lados e incluso el número de lados de cada celda de la cuadrícula es variable en toda la cuadrícula del modelo.

Bibliografía

Brewer, P. y. (2005). Trends in speciated fine particulate matter and visibility across monitoring networks in the southeastern United States. *ournal of Air & Waste Management*.

- Bullock Jr., O. F. (2018). Adding four-dimensional data assimilation by analysis nudging to the Model for Prediction Across Scales – Atmosphere (version 4.0). *Geosci. Model Dev.*, 11, 2897–2922, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2897-2018>, 2018.
- Carlton, A. T. (2008). CMAQ model performance enhanced when in-cloud secondary organic aerosol is included: comparisons of organic carbon predictions with measurements. *Environmental Science & Technology*, 42, 8798–8802. doi: 10.1021/es801192n.
- CFR US. (2022). PARTE 51 - REQUISITOS PARA LA ELABORACIÓN, ADOPCIÓN Y PRESENTACIÓN DE PLANES DE IMPLEMENTACIÓN. Obtenido de <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C/part-51>
- Ervens, B. (2015). Modeling the processing of aerosol and trace gases in clouds and fogs. *Chemical Reviews*.
- Hansen, D. E. (2003). The southeastern aerosol research and characterization study: Part 1 – overview. *Journal of Air & Waste Management*, 53, 1460–1471. doi: 10.1080/10473289.2003.10466318.
- Massolo, L. A. (2015). *Introducción a las herramientas de Gestión Ambiental*. SEDICI UNLP.
- PBA. (3 de agosto de 2022). *Normativas ambientales*. Obtenido de Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires: <https://www.ambiente.gba.gob.ar/normativas-provinciales>
- Philip, S. M.-H. (2014). Global chemical composition of ambient fine particulate matter for exposure assessment. *Environmental Science & Technology*, 48(22), 13060–13068. doi: 10.1021/es502965b.
- Pleim J., W. D. (2018). The New Generation of Air Quality Modeling Systems. *EM*.
- SCAM USEPA. (2022). *Animación de las concentraciones de contaminantes pronosticadas por CMAQ en EE. UU.* Obtenido de https://ofmpub.epa.gov/rsig/rsigserver?cmaq_application/public/singlecmaq.html#
- Trent, U. (3 de agosto de 2022). *Canadian Environmental Centre*. Obtenido de Trent University: <https://www.trentu.ca/cemc/>
- USEPA. (23 de julio de 2022). *Air Quality Dispersion Modeling*. Obtenido de Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM): <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling>
- US-EPA. (2022). *Centro de Soporte para el Modelado Atmosférico Regulatorio*. Obtenido de <https://www.epa.gov/scram/air-quality-models>