

# Estimación cualitativa de la incertidumbre para el inventario de contaminantes tóxicos del aire del gran área metropolitana en el 2007

JAVIER E. RODRÍGUEZ-YÁÑEZ (ORCID 0000-0001-5539-3153)

Profesor-Investigador, Universidad Estatal a Distancia, Laboratorio de Ecología Urbana, Vicerrectoría de Investigación, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, e-mail: jrodriguez@uned.ac.cr

Recibido: 11 de marzo de 2018

Aceptado: 05 de abril de 2018

## RESUMEN

Los inventarios de contaminantes presentan un modelo general de cálculo, o estimación, asociado a la relación entre los datos de información obtenidos y los factores utilizados. Estos plantean, por sus características, niveles de incertidumbre asociados a dicho cálculo. La evaluación de las incertidumbres en inventarios es una temática abordada desde distintos aspectos dependiendo de la calidad de los datos, factores utilizados y estimaciones realizadas. El planteo de una estimación cualitativa permite, independientemente de la información utilizada, caracterizar las fortalezas y debilidades de las estimaciones realizadas. Se desarrolla una metodología básica para dicha estimación y se aplica la misma al Inventario de Contaminantes Tóxicos del Aire en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica en el 2007, planteándose los resultados para este caso particular.

**Palabras clave:** Inventarios; Incertidumbre Cualitativa; Estimación; Contaminantes.

## ABSTRACT

### Qualitative estimates of the uncertainty for the inventory of toxic air pollutants in the grand metropolitan area in 2007.

Inventories of contaminants present a general model, or estimating, associated with the relationship between the data and information obtained factors used. These arise, for its characteristics, levels of uncertainty associated with this calculation. The evaluation of uncertainties in inventories is a theme approached from different aspects depending on the quality of the data used and estimates made factors. The premise allows for a qualitative estimation, regardless of the information used to characterize the strengths and weaknesses of the estimates. We develop a basic methodology for this estimate and apply it to the Inventory of Toxic Air Pollutants in the Greater

Metropolitan Area of Costa Rica in 2007, considering the results for this particular case.

**Key words:** Inventories; Qualitative uncertainty; Estimation; Pollutants.

## INTRODUCCIÓN

Los inventarios son metodologías de cálculo y estimación de la situación respecto a un problema específico, en un momento dado. En el caso de inventarios de contaminantes, la evaluación pretende estimar los niveles de emisión a que se puede estar expuesto en un lugar y tiempo especificado (Chacón, Montenegro, & Sasa, 2009; Instituto Nacional de Ecología, 2007; Secretaria de Medio Ambiente y Gobierno del Distrito Federal, 2008; Dirección de Gestión e Información Ambiental, 1997; Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones, 2016).

Dichas evaluaciones surgen de relaciones entre datos de información y los factores de estimación disponibles según el tipo de contaminante y proceso asociado a su emisión.

Teniendo en general el formato:

$$A (\%)*F (\text{kg}/\%) = E (\text{kg}) \quad (1)$$

Dónde:

A = actividad que genera la emisión (en unidades dependientes de la emisión, ej. t o %)

F = factor de emisión en unidades masa por unidad de actividad (ej. g/t o kg/%)

E = emisión en unidades de masa (ej. en kg, t)

Dicho proceso de cálculo implica en alguna medida una aproximación a un valor real, que dependerá de las características tanto de la Actividad como del Factor utilizado. Siendo afectadas por múltiples factores asociados a distintos tipos de error (sistemáticos y aleatorios)

La incertidumbre en dicho valor final de Emisión está generada a partir de estas consideraciones, teniendo los sesgos propios de la información de la actividad y de los factores disponibles para el cálculo de dichas emisiones. La misma genera una valoración de la confianza que se puede tener respecto a la estimación realizada, así como las necesidades de mejora en la información o de los factores utilizados.

Las dificultades en el cálculo de emisiones están asociadas a la gran cantidad de información necesaria, la disponibilidad de un buen nivel de detalle y las condiciones o posibilidades de procesamiento, que condicionan sus características. Esto plantea en general que deban realizarse algún tipo de aproximaciones o ponderaciones a los valores globales en virtud de la información obtenida (Salinas, 2007; Dirección General de Normas, 2001; Dirección de Gestión e Información Ambiental, 1997; Muller, 2002; Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, 2009).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como referencia los valores obtenidos para las emisiones antropogénicas en el primer Inventario de Contaminantes Tóxicos del Aire para el Gran Área Metropolitana de Costa Rica en el 2007 (ITA). Se obtuvieron emisiones para 84 compuestos tóxicos, considerando 88 categorías, asociadas a fuentes puntuales (40), fuentes de área (39) y fuentes móviles (9) (Secretaría de Medio Ambiente y Gobierno del Distrito Federal, 2010; US-EPA, 2016; Herrera, Rojas, Rodríguez, Rojas & Rodríguez, 2011; Rodríguez Yáñez, 2012; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013).

Como metodología general se consideran inicialmente los aspectos definidos en el Manual de Control y Aseguramiento de la Calidad, del Programa de Mejoramiento de los Inventarios

de Emisiones de la United States Environmental Protection Agency (US EPA), así como en las Directrices y Orientación del Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, propuesta por el IPCC (US-EPA, 2016; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001; Watson, Cooper, & Huntzicker, 1984; Herrera, Rojas, Rodríguez, Rojas & Rodríguez, 2011; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013).

De manera general, se utilizó el método TIER 1 para combinar incertidumbres, basado en la propagación de errores. Es un método de combinación de varianzas y covarianzas para una variedad de funciones, incluyendo las que se utilizan en inventarios. El método da una solución exacta para funciones lineales aditivas y una aproximación para productos de dos términos. La mayoría de los inventarios de emisiones son sumas de emisiones, que son los productos de datos de actividad y factores de emisión para las distintas fuentes. Suponiendo que ambas cantidades tengan alguna incertidumbre, esas ecuaciones de inventarios no son lineales con respecto a los cálculos de incertidumbres.

Para la evaluación de incertidumbres acumuladas se consideró la regla de los cuadrados, o regla B, donde la incertidumbre total es la raíz de la suma de los cuadrados de las incertidumbres de cada fuente, según:

$$U_{Total} = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)} \quad (2)$$

Dónde:

$U_{Total}$  = incertidumbre porcentual en la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95 % dividido por el total –o sea, la media– y expresada como porcentaje)

$U_i^2$  = Incertidumbres porcentuales asociadas a cada categoría o fuente.

La elección de las categorías principales de fuentes se basa en una evaluación del inventario elaborado y tiene el objeto de establecer un nivel general en que el 90 % de contribución esté cubierto por categorías principales de fuentes.

La estimación de las categorías se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Evaluación del nivel de la categoría de fuentes} = \frac{\text{Estimación de la categoría de fuentes}}{(\text{Estimación total})/100} \quad (3)$$

Esta evaluación nos indica el porcentaje de contribución que tiene cada categoría en el inventario, por lo tanto, las categorías que en conjunto aporten el 90 % de las emisiones serán las evaluadas y se reportarán en una tabla, en columnas según los siguientes parámetros de información:

- A. Categoría de la fuente de emisión
- B. Contaminante a evaluar
- C. Estimaciones de inventarios en el año base
- D. Estimaciones de inventarios en el año en curso respectivamente, para la categoría de fuentes y el contaminante (D sólo para incertidumbre de tendencia).
- E. Emisiones expresadas como porcentaje
- F. Emisiones expresadas como el porcentaje acumulado aportado por categoría (hasta acumular el 90 %).

Adicionalmente se agregan cuatro columnas más para hacer la combinación de incertidumbre:

- G. Incertidumbres para los datos de actividad, derivados de los datos obtenidos durante el desarrollo del inventario.
- H. Incertidumbre de los factores de emisión obtenidos para la categoría y el contaminante.
- I. Incertidumbre combinada por categoría de fuentes, derivada de los datos de las columnas G y H. La columna I es, por lo tanto, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las columnas G y H.
- J. Es la incertidumbre de la columna I como porcentaje de las emisiones totales en el año en curso, según la ecuación (4)

$$J (\text{categoría } i) = \% \text{ incertidumbre}_{(\text{categoría } i)} * \% \text{ de contribución}_{(\text{categoría } i, \text{ contaminante evaluado})} \quad \text{o} \quad J = I * E \quad (4)$$

Esta es una medida del grado de incertidumbre introducido en el total de emisiones por cada categoría de fuentes. Finalmente se vuelven a combinar las incertidumbres por categoría de fuente, y se pondera por contaminante para obtener la incertidumbre total del Inventario de Emisiones, como la suma de los factores J de cada categoría.

Para los tóxicos del aire que presentan emisión en el ITA, se plantea en dicho informe una tabla general de toneladas por año, indicando el aporte por cada tipo de fuente. Posteriormente se genera otra tabla con los porcentajes de emisión de cada tipo de fuente respecto al total emitido para cada contaminante.

Debido a que la mayoría de las categorías de fuentes tienen incertidumbre por factor de emisión y por dato de actividad, se plantea un análisis cualitativo para la estimación de la

incertidumbre en función de la calidad de los datos obtenidos y su confiabilidad.

Para ello se definió en términos de confiabilidad de los datos, según la clasificación de la Tabla 1.

Con base en la Tabla 1 se indica la calificación para cada uno de los valores de actividad y factores de emisión utilizados para los cálculos, como forma de estimar los valores de G y H respectivamente.

En este sentido se aprecia que la mayoría de la información utilizada como valores de actividad en el ITA es del tipo B y C, en algunos casos D. Casos muy puntuales pueden ser considerados tipo A, asociados a las respuestas de la encuesta industriales del ITA.

Mientras que los factores utilizados son en su mayoría del tipo D, con base en la US EPA o los inventarios de Tóxicos del Aire de México

(US-EPA, 2016; Secretaria de Medio Ambiente y Gobierno del Distrito Federal, 2010).

El valor de I y J se pondera en función de este análisis cualitativo.

Los valores para este análisis pueden visualizarse en el ITA, donde también se resumen los niveles globales de incertidumbre cualitativos obtenidos para los compuestos tóxicos del aire que presentaron emisión.

TABLA 1  
**Escala de calificación de la confiabilidad de los datos**

Clasificación	Datos de actividad	Factores de Emisión
A= 0,2	Basados en datos exhaustivos específicos para Costa Rica	Basados en datos exhaustivos específicos para Costa Rica
B = 0,4	Basado en datos limitados o extrapolados específicos para Costa Rica	Basado en datos limitados específicos para Costa Rica
C = 0,6	Basado en el discernimiento de expertos	Basado en el discernimiento de expertos
D= 0,8	Basado en factores de Estados Unidos o México	Basado en factores de Estados Unidos o México
E = 1,0	Datos insuficientes	No existen factores de emisión

## Resultados y discusión

Se define una escala cualitativa para realizar las valoraciones de cada una de las fuentes, considerando los valores mínimos (0,2828) y máximos (1,4142) que se pueden obtener para la estimación de la incertidumbre cualitativa total. La misma se expresa en la tabla 2, donde el rango total (de 0 a 1,42) se divide en 8 partes.

Debe considerarse además que en el ITA las emisiones de fuentes de área resultaron mucho mayores de lo esperado, representando el 81,5%, del total de emisiones antropogénicas,

contra solo un 13,1% para fuentes móviles y 5,4% para fuentes puntuales.

El valor medio de la estimación de la incertidumbre es de 0,97, lo que lo sitúa en una valoración de *Pobre*. El valor máximo obtenido es 1,13 (*Malo*) y el mínimo 0,72 (*Leve*).

Los valores promedio por tipo de fuente se ubicaron en valores más moderados para fuentes móviles y puntuales, siendo de 0,48 (*Buena*) para fuentes móviles, mientras que para fuentes puntuales fue de 0,38 (*Muy Buena*). Pero para fuentes de área que representan la mayor proporción de emisiones, la estimación de la incertidumbre fue de 0,81 (*Medio*) lo que redonda que al sumar las calificaciones la tendencia general sea la indicada. Esto también debe evaluarse en relación con la cantidad de categorías y tóxicos identificados en cada fuente.

TABLA 2  
**Valoración cualitativa de incertidumbre según escala arbitraria**

Escala cualitativa	Valor cualitativo
1,42 a 1,25	Muy Malo
1,25 a 1,09	Malo
1,09 a 0,93	Pobre
0,93 a 0,77	Medio
0,77 a 0,60	Leve
0,60 a 0,44	Buena
0,28 a 0,44	Muy Buena
0 a 0,28	Excelente

## Aportes por Tipo de Fuente

En base a la Tabla 3 se realizan las evaluaciones por cada tipo de fuente para tener una estimación del aporte de cada una a la incertidumbre total.

La estimación de la incertidumbre por fuente como la suma de las incertidumbres de cada categoría, muestra que cada tipo de fuente tiene

un patrón de distribución distinto, que influye según su proporción en la incertidumbre total.

Se aprecia que todas las fuentes tienen aportes por debajo del mínimo encontrado (0,72) para las estimaciones totales, pero que los mismos al sumarse con las otras estimaciones se diluyen.

TABLA 3  
**Valoración de la incertidumbre según escala arbitraria**

Rangos	Fuente Móvil	Fuente Puntual	Fuente de Área	Total
1,42 a 1,25	0	0	0	0
1,25 a 1,09	0	0	16	16
1,09 a 0,93	0	7	19	36
0,93 a 0,77	0	3	26	30
0,77 a 0,60	2	3	2	2
0,60 a 0,44	1	3	2	0
0,28 a 0,44	2	2	3	0
0 a 0,28	1	19	12	0
Nº de Tóxicos	6	37	80	84
Nº de Categorías	9	40	39	88

Nota: Fuentes móviles: emisiones de actividades que se mueven, ej. Automóviles.

Fuente puntual: emisiones de asociadas a empresas o puntos geográficos específicos

Fuentes de área: emisión pequeña y dispersa en un área extensa, ej. Emisiones de solventes en una ciudad.

## Evaluación de las Categorías de Principal Aporte a la Incertidumbre

Al realizar el análisis de la estimación de la incertidumbre por tipo de categoría, se plantea inicialmente la cantidad de aportes principales por fuente.

Se evalúa la cantidad de compuestos tóxicos que tienen un 90% o más de su incertidumbre asociada a una fuente específica. Encontrándose que para 59 de ellos se asocia con fuentes de área, mientras que solo 10 para fuentes fijas y 1 para fuentes móviles.

Si este aporte se considera de más del 50% la relación es de 65 para fuentes de área, 15 para fuentes fijas y 4 para fuentes móviles (total 84 compuestos tóxicos).

Este último nivel de aporte a la incertidumbre cualitativa, nos permite identificar las categorías principales y evaluar en ellas las cantidades de compuestos asociados a dichas categorías.

En fuentes de área con más del 50% de aporte a la incertidumbre se tiene que las categorías principales en orden decreciente son: Leña Industrial (14), Solventes domésticos (11), Pinturas industriales y arquitectónicas (7), Pesticidas (7), Fuentes misceláneas (5), Limpieza industrial (4), Quema de basura (3), Artes gráficas (2), Queroseno doméstico (1) y Terminal de buses (1), mientras que considerando la suma de categorías se tienen 10 aportes más (total 65).

En el caso de fuentes fijas, las categorías principales en orden decreciente son: Otras industrias manufactureras (5), Industria textil (2), Fabricación de cementos y similares (2) y Fabricación de vidrio (1), además si se consideran las sumas de categorías se tienen 4 aportes más (total 15).

Para las fuentes móviles, ninguna categoría represente por sí sola más del 50%, pero la suma de categorías tiene 4 aportes.

Otra forma de estimar la importancia de las categorías en la estimación cualitativa de la incertidumbre, es realizando un promedio del aporte a la incertidumbre de cada categoría.

Para ello se suman los aportes en cada categoría y se dividen por el número de tóxicos en que está repartido dicho aporte.

Las categorías así obtenidas tienen una ponderación más global que no considera el peso de cada estimación en cada toxico, pero que resulta una forma de confirmación y/o ampliación de las categorías consideradas en el proceso de evaluación anterior.

Para el caso en estudio en fuentes de área se presentan con los principales promedios las mismas categorías ya indicadas, aunque en distinto orden y considerando también las categorías de: Pintura automotriz, Bagazo y Lavado en seco.

Mientras que para el caso de fuentes puntuales son las mismas categorías: intercalándose Fundición y moldeo de piezas metálicas. En el caso de fuentes móviles los volúmenes de emisiones marcan la importancia de cada categoría,

TABLA 4

**Emisiones de los principales compuestos tóxicos del ITA por tipo de fuente en t/año**

Nombre EPA	Fuentes de Área (t/año)	Fuentes Fijas (t/año)	Fuentes Móviles (t/año)	Total (t/año)
Tolueno	1 470,35	0,33	–	1 470,68
Metanol	757,61	0,31	–	757,91
Xilenos (isómeros y mezclas)	690,32	0,11	–	690,43
Formaldehído	12,95	317,36	245,19	575,50
Benceno	106,62	0,06	421,22	527,89
Bromuro de metilo	350,96	–	–	350,96
Hexano	273,50	0,43	–	273,92
m-Xileno	262,09	–	–	262,09
Ácido clorhídrico	255,92	–	–	255,92
p-Xileno	243,40	–	–	243,40
Clorobenceno (monoclorobenceno)	234,00	–	–	234,00
Otros	1 022,75	60,57	248,08	1 331,41
Total (t/año)	5 680,45	379,16	914,49	6 974,10

siendo los Automóviles a gasolina, la Carga liviana y los microbuses, la Carga Pesada, las Motocicletas y los Autobuses, los 5 principales, en ese orden.

### Estimación en los Tóxicos Principales Encontrados

Dentro de las emisiones antropogénicas se identificaron 11 compuestos principales, con emisiones de más de 200 t/año, dentro de los 84 compuestos de los que se evaluaron emisiones en el ITA.

Estos fueron en orden de volumen de emisión: tolueno, metanol, xilenos, formaldehído, benceno, bromuro de metilo, hexano, m-xileno, ácido clorhídrico, p-xileno y clorobenceno, con más del 80% de las emisiones totales. Los valores para cada uno de estos compuestos por tipo de fuentes se expresan en la Tabla 4.

Las emisiones principales de estos compuestos están asociadas a fuentes de área en más del 90%, a excepción de benceno y formaldehído. En el benceno el aporte principal, cerca del 80%, es de fuentes móviles, mientras que, para el Formaldehído, las emisiones están repartidas entre fuentes móviles (42,6%) y fuentes fijas principalmente (55,2%).

El cálculo de la estimación de la incertidumbre, así como los valores porcentuales del aporte de cada fuente se aprecian en la Tabla 5.

Esto genera que las estimaciones globales de la incertidumbre no sean buenas en la mayoría de estos compuestos, rondando entre *Pobre* (1,09 a 0,93) y *Malo* (1,25 a 1,09), a excepción de benceno y formaldehído que están en el rango de *Leve* a *Medio* con valores de 0,77 y 0,78 respectivamente, asociado a su menor aporte de fuentes de área.

Las principales categorías dentro de fuentes de área mayores al 30% de la estimación de la incertidumbre se asocian principalmente a Solventes Domésticos (6), Pinturas Industriales y Arquitectónicas (3), Artes Gráficas (2), Lavado en Seco (1) y Quema de Residuos (1).

En el caso de Solventes Domésticos es la principal categoría para metanol, bromuro de metilo y p-xileno, mientras que Pinturas Industriales y Arquitectónicas son el aporte principal para tolueno, xilenos y m-xileno. Mientras que los aportes de Artes Gráficas se asocian a hexano y p-xileno, los aportes principales de Lavado en Seco son para hexano y los de Quema de Residuos son para ácido clorhídrico.

En el caso de benceno, el aporte principal dentro de las categorías de fuentes de

TABLA 5  
**Porcentaje de cada fuente a la incertidumbre y valor global para los principales compuestos tóxicos del ITA**

Nombre EPA	%			Incertidumbre TOTAL
	Fuentes de Área	Fuentes Fijas	Fuentes Móviles	
Tolueno	99,979%	0,021%		1,035
Metanol	99,964%	0,036%		1,131
Xilenos (isómeros y mezclas)	99,985%	0,015%		1,050
Formaldehído	2,698%	58,083%	39,219%	0,783
Benceno	25,673%	0,013%	74,314%	0,774
Bromuro de Metilo	100,000%			1,131
Hexano	99,859%	0,141%		1,078
m-Xileno	100,000%			1,044
Ácido clorhídrico	100,000%			0,986
p-Xileno	100,000%			1,099
Clorobenceno (monoclorobenceno)	100,000%			1,131

área está asociado a Pinturas Industriales y Arquitectónicas (17,2%), mientras que en fuentes móviles el aporte principal surge de las categorías de Autos a Gasolina (40%) y Carga Liviana o Microbuses (25%).

Para el formaldehído, el aporte principal a la incertidumbre surge, en fuentes puntuales o fijas, de la Fabricación de Vidrio (57,8%) y similares, mientras que en fuentes móviles la emisión es dispersa en las categorías generando un efecto similar en el aporte a la incertidumbre.

### Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de estimaciones cualitativas de la incertidumbre en inventarios de contaminantes del aire permite realizar una evaluación general de la calidad de los datos obtenidos. Encontrándose en este caso valores entre 1,13 y 0,72, con una media de 0,97, lo que fue calificado como una incertidumbre *Pobre*.

A si mismo los datos por tipo de fuente reflejan el peso de cada una en la ponderación global de las incertidumbres calculadas. Encontrándose en este caso un peso muy importante para

las fuentes de área, dado desde el inicio por el alto porcentaje dentro de los volúmenes de emisión antropogénicos.

Al analizar las categorías basándonos en cuál o cuáles aportan un porcentaje mayor a la incertidumbre cualitativa, nos permite identificar las categorías principales por fuente y su importancia relativa a través de una calificación general. De esta forma se destacaron como fuentes principales y asociadas también a los compuestos con mayor emisión las categorías de Solventes Domésticos, Pinturas Industriales y Arquitectónicas, Artes Gráficas, Lavado en Seco y Quema de Residuos, a las que adicionalmente se puede considerar las emisiones por Automóviles Particulares y Carga Liviana a Gasolina, así como la Fabricación de Vidrio.

Se tiene complementariamente un sistema más simple de evaluación de categorías asociado al promedio de incertidumbre por categoría, el cual intercala otras categorías adicionales pero que mantiene y confirma las obtenidas con el método estimativo inicial.

En los principales compuestos tóxicos encontrados en el ITA, las categorías principales

asociadas a la emisión e incertidumbre de cada compuesto son similares a las encontradas en términos generales, haciendo esto hincapié en la necesidad de mejora de la información y los factores disponibles en las principales categorías asociadas a la incertidumbre.

## Agradecimientos

El Ing. Javier Rodríguez Yáñez es becario del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Costa Rica y agradece a dicha institución por los apoyos brindados

## Referencias

- Chacón, A., Montenegro, J., & Sasa, S. (2009). Inventario Nacional de Emisiones de Gases con Efecto Invernadero y Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. San José, Costa Rica: MINET, Instituto Meteorológico Nacional.
- Dirección de Gestión e Información Ambiental. (1997). Inventario de emisiones y transferencia de contaminantes. México, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Dirección General de Normas. (2001). Registro de emisiones y transferencia de Contaminantes, lista de sustancias e informe. México, México: Dirección General de Normas.
- Herrera, J., Rojas, J., Rodríguez, S., Rojas, A., & Rodríguez, J. (2011). Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio del Aire para el Gran Área Metropolitana de Costa Rica en el 2007. UNA- CCAD, Heredia, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Ecología. (2007). Manual para el curso de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México, México: Secretaria de Medio Ambiente.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). Guía Metodológica para la Estimación de Fuentes Fijas. México, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente. (2009). Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en las Ciudades Mexicanas. México, México: Western Governors Association.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. New York, USA: UNEP.
- Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones. (2016). Inventarios de Costa Rica. Obtenido de Dirección de Gestión de Calidad de Ambiental: <http://www.digeqa.go.cr/search/node/inventarios>.
- Muller, M. (2002). Essentials of Inventory Management and Control. USA, New York: American Management Association International.
- Rodríguez Yáñez, J. (2012). Inventario de Contaminantes Tóxicos del Aire para el Gran Área Metropolitana de Costa Rica en el 2007. Heredia, Costa Rica: Tesis de Maestría en Gestión y Estudios Ambientales, Escuela de Química, Universidad Nacional.
- Salinas, A. (2007). Preparación de Registros de Emisión y Transferencia de Contaminantes en América Latina y el Caribe. México, México.
- Secretaria de Medio Ambiente y Gobierno del Distrito Federal. (2008). Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México en 2006. México, México: Gobierno del Distrito Federal de la Ciudad de México.
- Secretaria de Medio Ambiente y Gobierno del Distrito Federal. (2010). Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México en 2008. México, México: Gobierno del Distrito Federal de Ciudad de México.
- US-EPA. (2016). Toxic Release Inventory Program. Obtenido de U. S. Environmental Protection Agency : <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program>
- Watson, J., Cooper, J., & Huntzicker, J. (1984). The Effective Variance Weighting for Least Squares Calculations Applied to the Mass Balance Receptor Model. *Atmos. Environ.*, 18, 1347-1355.