



## **INDICADORES AMBIENTALES PARA LA INMISIÓN DE LOS EFLUENTES GASEOSOS DE LAS FUNDICIONES. TANDIL, ARGENTINA**

Beatriz Soledad Sosa<sup>1</sup>  
[beatrizsosa33@gmail.com](mailto:beatrizsosa33@gmail.com),  
Roxana Banda Noriega<sup>2</sup>  
[rbanor@gmail.com](mailto:rbanor@gmail.com)  
Elsa Marcela Guerrero<sup>3</sup>  
[emarquerr@gmail.com](mailto:emarquerr@gmail.com)

### **RESUMEN**

En la segunda década del siglo XXI las actividades industriales continúan siendo las principales responsables de la contaminación atmosférica a nivel global. No obstante, algunos rubros del sector fundición se están esforzando por reducir las emisiones, favoreciendo la disminución de las tendencias negativas vinculadas al ambiente mediante la aplicación de herramientas de gestión ambiental. Entre los recursos metodológicos más utilizados se encuentran los indicadores de condición ambiental (ICAs). La información obtenida a partir de estos ICAs en los procesos de inmisión de los efluentes gaseosos son útiles en la prevención de los problemas de salud de la población, así como en la mitigación de la generación de Gases Efecto Invernadero (GEIs), temas prioritarios cuando se trata la contaminación atmosférica.

Este artículo analiza las particularidades del rubro fundición en la ciudad de Tandil en un contexto particular, caracterizado por las limitaciones de recursos económicos e instrumentales, y propone ICAs para el control y seguimiento de los contaminantes emitidos. Se proponen 9 indicadores de primera instancia de monitoreo, y otros 14 indicadores complementarios para medir en una segunda instancia si las primeras mediciones superan los valores de base propuestos.

### **Palabras claves**

Ambiente - actividad de fundición - emisiones gaseosas - indicadores de condición ambiental (ICAs).

---

<sup>1</sup> Becaria CICIPBA. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA, FCH-UNICEN). Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Especialista en Ingeniería Ambiental: Tratamiento de Residuos Sólidos; Tratamiento de Efluentes Gaseosos -Universidad de León, España. Master en Gestión y Auditoría Ambiental Universidad de León, España.

<sup>2</sup> Profesor e Investigador. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA, FCH-UNICEN). Profesional CICIPBA. Ingeniero Químico - Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Especialista en Ingeniería Ambiental - Facultad Regional La Plata. Universidad Tecnológica Nacional. Especialista en Gestión de Residuos Peligrosos (Fundación Carl Duisberg - Alemania). Profesora Adjunta ordinaria en las Áreas de Saneamiento y Gestión Ambiental, Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental - Facultad de Ciencias Humanas – UNICEN. Directora del Dpto. de Ciencias Ambientales - FCH – UNICEN. Profesional Principal de Apoyo a la Investigación de la CICIPBA.

<sup>3</sup> Docente e investigador. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA, FCH-UNICEN). Directora del Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) FCH, UNICEN, Argentina. Docente en la Licenciatura de Diagnóstico y Gestión Ambiental desde 1997. Profesora y licenciada en geografía (1990 y 1994). Master en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano –UNMDP, Argentina- y Master en Economía Ecológica y Gestión Ambiental –UAB, España. Doctoranda en Geografía (USAL, Argentina). Miembro de la Internacional society of ecological economic (ISEE) y la Asociación Argentino-uruguaya de Economía Ecológica (ASAUEE)

## INTRODUCCIÓN

Aunque las actividades industriales han contribuido económica, social y políticamente a mejorar muchos e importantes aspectos de la calidad de vida de la humanidad. Desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, las industrias han sido generadoras de empleo asalariado, productoras de bienes y servicios y sinónimo de desarrollo.

También han sido responsables de muchos de los problemas ambientales globales que padece el planeta –contaminación, calentamiento global, pérdida de patrimonio natural, etc.

Algunos problemas ambientales urbanos asociados a la contaminación atmosférica son ocasionados por el tráfico urbano y la calefacción de las edificaciones (sobre todo en zonas frías). Aunque en algunas ciudades las actividades industriales suelen ser las principales responsables de estos problemas (metalurgia, siderurgia, petroquímica).

En Argentina el sector sidero-metalúrgico tiene importancia dentro de la estructura económica nacional<sup>4</sup>. A menor escala, la ciudad de Tandil es reconocida por el rol que ha ocupado la metalurgia en el desarrollo y crecimiento local<sup>5</sup>. No obstante muchas de las prácticas industriales son deficientes en la gestión ambiental de sus procesos, residuos y efluentes.

En ese contexto, se hace evidente la necesidad de poner en práctica instrumentos que colaboren en la gestión ambiental de esas actividades. Existen numerosas metodologías que permiten evaluar y realizar el seguimiento de los efectos de las actividades en el ambiente. El uso de indicadores como instrumento para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión ambiental es una práctica creciente y con perspectivas favorables para ser empleada en diferentes sectores

Existen múltiples aspectos que justifican el desarrollo de indicadores de condición (o estado) ambiental (ICAs) para evaluar la actividad productiva de las industrias de fundición en relación a su entorno: a. *Problemas ambientales concretos*: ruidos leves, vibraciones, olores irritantes, humos, problemas respiratorios, deterioro de material estructural circundante, degradación de la vegetación, residuos de arena de fundición en sitios no apropiados, descargas de efluentes líquidos en cursos de aguas superficiales, etc.; b) *Mejorar la adecuación del sistema ambiental de las empresas a los requerimientos legales y administrativos locales, provinciales y nacionales*; c) *Mejorar la información sobre parámetros de interés para la gestión pública y privada*.

El trabajo, busca identificar los contaminantes atmosféricos de interés ambiental respecto de la actividad en cuestión y construir indicadores de condición ambiental para evaluar esas variables.

Desde el punto de vista de las restricciones económicas y metodológicas, se debe destacar que el trabajo hace un esfuerzo en construir indicadores acordes a la realidad local y regional. Las limitantes económicas para la obtención del dato, la falta de laboratorios calificados, y una actividad que se desarrolla con bajos niveles tecnológicos establecen un desafío a la hora de establecer prioridades en los contaminantes a monitorear.

En el análisis de los distintos indicadores, se presta especial atención a los de condición ambiental, porque muestran la situación real de los sistemas en cada instante y permiten evaluar la efectividad de las políticas y de las actuaciones.

### 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y SITUACIÓN AMBIENTAL DE LAS FUNDICIONES EN TANDIL.

En la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires – Argentina, uno de los motores del crecimiento económico y generación de empleo a nivel local han sido las industrias metalúrgicas y de fundición. No obstante, este crecimiento no se vió acompañado por una planificación urbana adecuada. Con el tiempo, las industrias fueron rodeándose de urbanizaciones quedando incluidas dentro del casco urbano dando por resultado situaciones de incompatibilidad de usos de suelo (Sosa, Banda Noriega y Guerrero, 2009) y problemáticas ambientales propias de las emisiones que la actividad genera.

De acuerdo con el análisis ambiental urbano realizado por el municipio de la ciudad durante el año 2004 (FCH-UNICEN, AYDET S.A., 2007), existen en Tandil áreas con distintas características

---

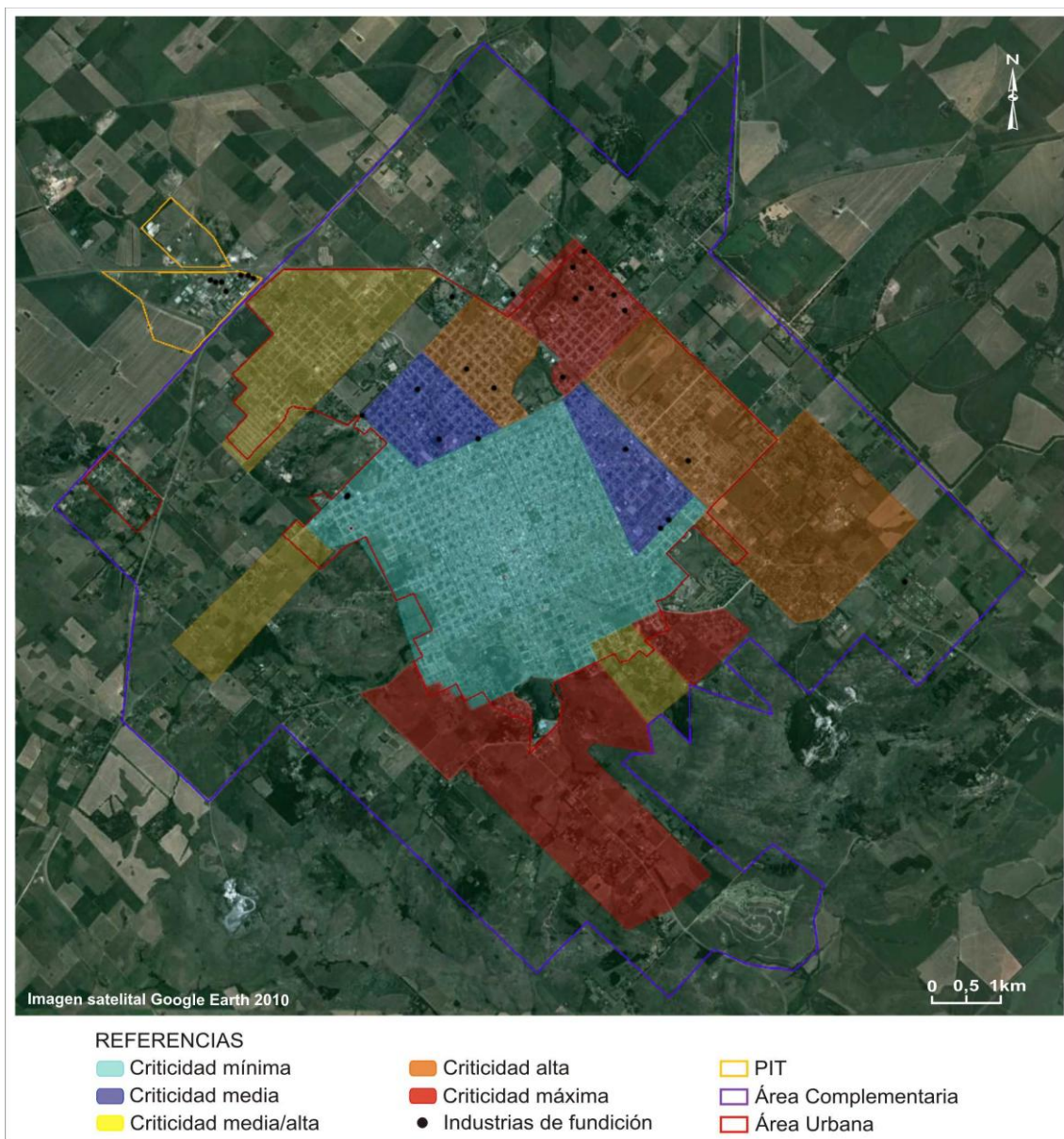
<sup>4</sup> Se puede conocer la participación de este sector en la economía a partir de las exportaciones producidas. En 1980 las exportaciones fueron del 4,5% del total del sector industrial, del orden del 10,2% en 1990 y del 6,5% del total exportado en el año 2000 (Gonzales, 2005).

<sup>5</sup> Un dato en tal sentido es que en Noviembre de 2007, la ciudad fue sede del Tercer Congreso Latinoamericano de Fundición.

ambientales que se diferencian en función del grado de criticidad ambiental que poseen. En la determinación de estas áreas homogéneas fueron utilizadas, combinadas y ponderadas tres dimensiones: a) población; b) condiciones ambientales y c) características de los procesos territoriales localizados. Cada dimensión incluyó una serie de variables. La dimensión *condiciones ambientales* contempló el abastecimiento de agua, la existencia de cloacas, la presencia de focos potencialmente contaminantes y/o degradantes del medio ambiente como industrias, la cercanía o influencia de cursos de agua contaminados y, los sectores potencialmente inundables. El resultado fue la obtención de 12 áreas clasificadas como criticidad ambiental mínima, media, media/alta, alta y máxima.

Como muestra la Figura 1, más de la mitad de las fundiciones se encuentran distribuidas en zonas de criticidad ambiental media (7), alta (3) y máxima (7). El resto de los establecimientos quedan fuera de la delimitación de las áreas críticas ambientales, concentrándose la mayoría de ellas en el Parque Industrial Tandil (PIT).

Figura 1: Áreas de criticidad ambiental.



**Fuente:** Elaboración propia en base a FCH-UNICEN, AYDET S.A., 2007.

Inevitablemente, las industrias son focos potenciales de contaminación. Su contribución al aumento del grado de criticidad ambiental depende, además de las variables consideradas en la dimensión *condiciones ambientales* en el estudio citado anteriormente (FCH-UNICEN, AYDET

S.A., 2007), de otras variables que se relacionan directamente con la contaminación atmosférica entre ellas: presencia o ausencia de sistemas de tratamiento de efluentes gaseosos, cantidad de horas de emisión, condiciones meteorológicas (la dirección de los vientos), y la topografía del terreno.

Un paso previo antes de analizar cómo se interrelacionan estas últimas y cómo afectarían en cada área ambiental, es la determinación de los contaminantes que son de interés en el monitoreo de la calidad del aire.

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES GASEOSOS EMITIDOS

La industria local produce, según estimaciones del año 2010, 3011 toneladas de piezas por mes. Unas 2978,5 toneladas corresponden a hierro gris y aleaciones de hierro, 30,5 toneladas son de aluminio, y 2 toneladas pertenecen a bronce<sup>6</sup>. Las características de las emisiones de los efluentes gaseosos durante la fusión dependen de la materia prima (mayormente chatarra), del combustible (carbón de coque, gas o gasoil) y del horno utilizado en este proceso.

La tecnología utilizada se corresponde con hornos cubilotes, eléctricos, reverberos y crisoles, siendo los dos primeros habituales en la fusión férrea y los dos últimos en la no férrea. El anexo 1 presenta las emisiones correspondientes a cada horno y al mismo tiempo identifica los contaminantes más abundantes en el sector.

### 2.1 Emisión de contaminantes según combustible, materia prima y horno utilizado

Para la descripción y estimación de los contaminantes prioritarios se trabajó con la bibliografía antecedente Guías Técnicas para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire 1, 7 y 9 de IHOBE, 2008.

#### a. Contaminantes atmosféricos en industrias ferrosas

- ✓ Horno cubilote: Los contaminantes emitidos son CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas (podrían contener Cd, CaO, FeO, Pb, MgO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Zn), PM<sub>10</sub>, NMVOC`s (compuestos orgánicos volátiles distintos al metano), HAP (hidrocarburos policíclicos aromáticos), benceno, PCDD/F (dioxinas y furanos). La fuente principal de las emisiones está en la combustión incompleta del coque y del carbón, y en las impurezas e inclusiones de la carga de chatarra.
- ✓ Horno de Arco Eléctrico (HEA): CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>x</sub>, partículas sólidas que contienen óxidos minerales y metálicos, compuestos orgánicos gaseosos (NMVOC, PCDD/F, etc.), elementos traza (Ni, Cr<sup>+6</sup>, Pb, Cd, As).

#### b. Contaminantes atmosféricos en industrias de acero

Además de los pasos mencionados anteriormente, similares a todos los procesos de fundición, en las industrias de producción de acero se agregan otros tratamientos que tienen que ver con metalurgia secundaria (desulfuración, desgasificación, descarburación).

La metalurgia secundaria cubre los procesos y el tratamiento del acero fundido después de la colada del acero. El acero líquido fabricado en el horno de arco eléctrico no puede considerarse totalmente acabado. Normalmente es necesario complementar las operaciones de afino, ya que el horno eléctrico se centra en la fusión y desfosforación.

La fase de afino, que se inicia en el horno de arco, se realiza mayoritariamente en cuchara. Las fases fundamentales de este proceso son la desoxidación del acero, la desulfuración y el ajuste de su composición (normalmente inyección de argón o nitrógeno). La metalurgia secundaria se lleva a cabo en diversos equipos.

Las emisiones en la producción de acero en HEA se dividen en:

- ✓ Emisiones primarias o humos primarios: aquellas que son directamente captadas del HEA o de procesos de metalurgia secundaria. Son las emisiones procedentes del HEA y de equipos de metalurgia secundaria (Horno cuchara; Descarburación Argón – Oxígeno (AOD); Descarburación Vacío – Oxígeno (VOD)).
- ✓ Emisiones secundarias o humos secundarios: aquellas no confinadas durante la operación y que son difíciles de controlar. Se corresponde con partículas sólidas y gases. Proceden de la

---

<sup>6</sup> Observaciones aún no publicadas.

manipulación de la chatarra, de la carga del horno, del colado del acero, del desescoriado, de la metalurgia secundaria, de las fugas propias del HEA, y de la colada continua o colada en lingoteras.

Las emisiones primarias, captadas directamente del horno, pueden representar el 95% de las emisiones totales procedentes del HEA.

Los contaminantes emitidos son: CO, CO<sub>2</sub> (asociados a la descarburación del baño y a las lanzas de oxígeno y quemadores oxi-combustible, etc.), PM<sub>10</sub> (asociado a la chatarra de entrada: partículas muy finas de óxidos de hierro principalmente), HF (puede estar asociado al consumo de F<sub>2</sub>Ca), HCl (asociado a materiales de PVC en la chatarra de entrada), metales pesados (Hg, Cr, Pb, Ni, Zn, Cd, Cu, As: asociados a la chatarra de entrada y a las ferroaleaciones introducidas), NO<sub>x</sub> (asociado a la utilización de N<sub>2</sub> como gas portador inerte, y del N<sub>2</sub> del aire), SO<sub>x</sub> (si se consume coque y/o carbón), NMVOCs (asociado con aceites y grasas que pueda contener la chatarra de entrada y con el consumo de carbón), benceno (si se consume carbón y/o coque) clorobenzenos (asociados con el consumo de carbón y/o coque y la presencia de PVC en la chatarra de entrada), dioxinas y furanos (PCDD/F asociados a materiales de PVC en la chatarra de entrada).

Los metales pesados van asociados a las partículas sólidas. El Hg y el As no pueden ser eliminados por filtración. Las emisiones de Hg varían dependiendo de la calidad y composición de la chatarra que se cargue en el proceso.

#### *c. Contaminantes atmosféricos en industrias del sector no férreo: aluminio, bronce*

##### ✓ Aluminio:

Se considera en este apartado la producción de aluminio secundario, es decir a partir de material de reciclaje industrial (chatarra y residuos) en hornos rotativos. Dentro de las etapas que son comunes al proceso de fundición cabe agregar la que corresponde a la aleación, desoxidación y desgasificación (hornos de reverbero).

Los contaminantes emitidos a partir de los Hornos Rotativos son: HCL, HF, PCDD/F, Zn, Pb, Ni, Cu, Cr, Cd, As, NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO<sub>2</sub> y CO.

Los emitidos en el horno de reverbero son: HCL, HF, Zn, Pb, Ni, Cu, Cr, Cd, As, NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO<sub>2</sub> y CO.

##### ✓ Bronce:

El bronce es una aleación no metálica entre cobre y estaño en la cual la primera es la base, y su proporción es del 80% o más.

Los principales contaminantes emitidos durante la fusión son PM<sub>10</sub>, HCl, HF, PCDD/F, Zn, Pb, Ni, Cu, Cr, Cd, As, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, MNVOC, CO<sub>2</sub>, CO.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS:**

En el proceso de selección y construcción de indicadores de condición ambiental para efluentes gaseosos de industrias de fundición de Tandil se realizaron los siguientes pasos:

- a) Como criterio de selección de variables en la construcción de indicadores de primera y de segunda instancia se consideró: la legislación de referencia, las emisiones del sector de acuerdo a la tecnología conocida, la disponibilidad de laboratorios habilitados para realizar los análisis, los costos de obtención del dato (toma de muestras y análisis).
- b) Como primer paso, se hizo un análisis de los contaminantes emitidos por las industrias de fundición en base a las características de las emisiones del sector y de las particularidades existentes en la ciudad de Tandil de acuerdo a información antecedente. Se alcanza así una primera selección de contaminantes.
- c) Se comparó la legislación de referencia con los contaminantes emitidos en el proceso de fundición. De la comparación se obtuvo el listado de *indicadores de primera instancia* con valores de base que se corresponden con los valores planteados en la legislación.

Importa aclarar aquí dos cuestiones. La primera de ellas es que si bien la legislación de referencia brinda límites máximos permitidos para un contaminante en un periodo dado, esto no implica que sea un recurso suficiente que atienda a la problemática. El listado general que la norma provee debe leerse con los anteojos de cada situación particular, la



cual está asociada a la actividad productiva en cuestión y al medio en donde se inserta, donde es posible diferentes contribuciones a la degradación de la calidad del aire.

La segunda, utilizar la legislación de referencia permitió contemplar la protección de la salud humana, y los efectos del aumento de las concentraciones de GEI en el problema del cambio climático global. La formulación de las normas de calidad de aire, de las normas de emisión, y de los niveles guías de la calidad de aire ambiente son límites legales -obligatorios y sugeridos- que se corresponden con estas inquietudes.

- d) Seguidamente, se consideraron mediciones donde los *indicadores de primera instancia* informaran la superación de sus valores de base y, en consecuencia, se buscó hacer una lectura y evaluación más precisa del estado de la calidad del aire. A partir de esta evaluación se genera el segundo listado de indicadores: los *indicadores de segunda instancia*, directamente vinculados al primer listado, incorporan el seguimiento y evaluación de contaminantes más específicos.
- e) Finalmente, se determinan dos listados de indicadores de condición ambiental, de primera y de segunda instancia de evaluación. Estos resultados son volcados en una tabla donde se exponen los valores de base de los indicadores (de inmisión), y los efectos en la salud de los contaminantes medidos, con el fin de sintetizar la información y facilitar su lectura (tabla 1).

#### 4. DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES.

##### 4.1 Primera selección de indicadores: indicadores de primera instancia

De acuerdo a las emisiones que resultan de las características tecnológicas del sector (Anexo1) y de las condiciones operativas de las industrias locales<sup>7</sup>, se propone un primer listado de indicadores expuesto en la tabla 1. La descripción de compuestos a monitorear se realiza a continuación.

- ✓ **PM<sub>10</sub>**: Se medirán partículas menores a 10µm. El material particulado tiene valores límites y es regulado en las legislaciones nacionales e internacionales.
- ✓ **NMVOCS**: Se medirán xilenos, toluenos y formaldehidos benceno.
- ✓ **HAPs**: Se medirá naftaleno.
- ✓ **Monóxido de carbono**: Se debería medir también CO<sub>2</sub> dado que la evolución en la atmósfera del CO resulta en CO<sub>2</sub>, pero no hay valores de referencia de CO<sub>2</sub> en legislaciones nacionales y provinciales vigentes.
- ✓ **Óxidos de nitrógeno**: Según la OMS el valor guía actual de protección a la salud es 40 µm/m<sup>3</sup> como valor medio de un año (OMS, 2005).
- ✓ **Óxidos de azufre**: Se medirá dióxido de azufre, por tener referencia en las legislaciones nacionales e internacionales.

En la elección de los compuestos descritos recientemente, se consideró los contaminantes de importancia a nivel nacional e internacional, en especial los cinco contaminantes prioritarios de la Unión Europea (Real Decreto 1073/2002 y 1796/2003) a partir de los cuales se construye el índice de calidad del aire<sup>8</sup> (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO), y los Estándares Nacionales de Calidad de Aire de la EPA (CO, Pb, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>), algunos de los cuales son mencionados en el punto 4.2 (ver tabla 1).

Quedaron fuera en esta primera aproximación algunos metales identificados en el Anexo 1 (plata, níquel, zinc) por no haber referencias en la legislación nacional que permita hacer un seguimiento. Esto sucede también con el antraceno y benzo (a) pireno.

Si bien el zinc es un componente importante en el proceso de producción, no se hallan antecedentes bibliográficos que evidencien problemas en la salud humana por la exposición a largo plazo; en exposiciones de cortos periodos de tiempo este elemento es eliminado del cuerpo al cabo de pocas semanas. Puede observarse además, que no se tienen en cuenta los óxidos de hierro provenientes de la materia prima de fusión, y los óxidos de silicio provenientes de la

<sup>7</sup> Observaciones aún no publicadas

<sup>8</sup> El índice de Calidad de Aire es una escala muy simple a base de código de colores que describe la calidad de aire de la comunidad para el PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO (Área Medio Ambiente, Madrid).

degradación del horno de cubilote (durante la fusión) los que, como partículas sedimentables, afectan la estructura de materiales circundantes. Esto último se debe a que el criterio en la determinación de los ICAs se direcciona a la salud humana y los GEI.

En el caso de las dioxinas y furanos, normalmente no se monitorean, ya que no existen en el país laboratorios reconocidos por la autoridad de aplicación de la norma para realizar los análisis (ni en emisión, ni en calidad de aire). Cabe aclarar que estas limitaciones económicas y de servicios disponibles solo condicionan la actual aplicación de estas variables como indicadores, sin subestimar la importancia de su medición y control.

Para el metano, no se encontró legislación que de límites máximos permitidos o niveles de calidad de aire. Sin embargo, si existen objetivos de reducción pensados de forma que a nivel global y con la participación de los países se reduzcan las emisiones en plazos previamente pautados.

En la legislación argentina, la Ley 25438/01 aprueba el Protocolo de Kyoto donde el metano es uno de los gases definidos como de efecto invernadero (Anexo A de la ley). Respecto de este protocolo, Argentina sólo se compromete a no aumentar sus emisiones. En este país, las emisiones de metano –en el sector industrial– se deben fundamentalmente a la industria petroquímica (aporta el 0,03% de las emisiones totales nacionales), y no se registra el seguimiento de las concentraciones de este gas para la industria del hierro, acero y aluminio (Segunda Comunicación Nacional IPCC, 2006). Por otra parte, el Convenio de Viena, ratificado por la Ley 23724/89, también estima que el metano es una sustancia de origen natural y antropogénico con potencial para modificar las propiedades químicas y físicas de la capa de ozono.

#### 4.2. Segunda selección de indicadores: indicadores de segunda instancia

Sobre la base del apartado 4.1, se propone otro listado de indicadores, *de segunda instancia*, no siendo necesario en todos los casos proponer un nuevo indicador (ver tabla 1). Recuérdese que aquí se está considerando la situación de que son superados los valores límites permitidos o los niveles guías de calidad de aire que dispone la legislación.

- ✓ **PM<sub>10</sub>**: Si se detectaran concentraciones superiores a los niveles permitidos por la legislación provincial se recomienda que este indicador se desagregue en **PM<sub>10</sub> asociado a la presencia de plomo, cromo y cadmio** por tener valores de referencia, como nivel guía de calidad de aire, en la legislación provincial (Decreto 3395/96 Provincia de Buenos Aires).
- ✓ **Benceno, naftaleno, formaldehído, xileno, tolueno**: Si superase los valores de referencia se recomienda medir **el PAN (nitrato de peroxiacetilo) y PBN (nitrato de piroxibenzoilo)**, especies químicas que resultan de la interacción de los compuestos orgánicos volátiles con los óxidos de nitrógeno y la luz del sol en un ambiente cálido (Enger y Smith, 2006; Kiely, 1999; Manahan, 2007; OMS, 1985; Seoáñez Calvo, 2002). Además, se recomienda medirlos también en **PM<sub>2,5</sub>** ya que alrededor del 95 % de los HAPs se asocia a partículas con diámetro inferior a los 3µm (Massolo L., 2004).
- ✓ **Óxido de nitrógeno**: En este caso, el **ozono** y el **ácido nítrico**, se eligen como alternativos cuando se superen los valores, porque son contaminantes secundarios que se originan a partir de la alteración del ciclo fotolítico de los óxidos de nitrógeno. Los niveles de ozono comienzan a aumentar por la mañana, en el inicio de la actividad urbana, alcanzándose las concentraciones máximas cerca del mediodía, un par de horas después de que se registran los valores más altos de NO<sub>2</sub> y de hidrocarburos en la atmósfera. A partir del mediodía la concentración de O<sub>3</sub> disminuye a causa de ciertas reacciones químicas en las que el ozono manifiesta su poder oxidante. Los niveles más bajos se presentan durante la noche, cuando el O<sub>3</sub> reacciona con el NO<sub>2</sub> dando radicales NO<sub>3</sub> muy reactivos. Estos radicales oxidan el NO a NO<sub>2</sub> y se combinan con otros NO<sub>2</sub> para dar N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, inestable, que reacciona con el vapor de agua dando ácido nítrico, responsable de la acidez de las nieblas matutinas urbanas (Moragues J., 1999). De los compuestos que generan la contaminación fotoquímica (O<sub>3</sub>, PAN, PBN, aldehídos, ácido nítrico, ácido fórmico, etc.) el O<sub>3</sub> es el más importante por su toxicidad y abundancia (Seoáñez, 2002).
- ✓ **Óxidos de azufre**: En caso de que los niveles recomendados sean sobrepasados se recomienda medir los **óxidos de azufre asociados al PM<sub>10</sub>** debido a que juntos producen un efecto sinérgico, es decir que al asociarse incrementan su agresividad frente al medio que los rodea. Según la OMS el valor guía actual de protección a la salud es 20 µm/m<sup>3</sup> en valor medio de 24hs. (OMS, 2005).

Tabla 1: Indicadores de Condición Ambiental para la inmisión de los efluentes gaseosos de las fundiciones

Indicador de 1º instancia	Valor de base	Indicador de 2º instancia (si supera el valor de base)	Valor de base	Efectos en la salud de los contaminantes medidos
<b>PM<sub>10</sub> (metales)</b>	0,150 mg/m <sup>3</sup> (24hs). Res N°242 Prov. de Bs. As. (NC)* 50 µg/m <sup>3</sup> (24hs) OMS 2005.	<b>PM<sub>10</sub> metales pesados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr</li> <li>• Pb</li> <li>• Cd</li> </ul>	Cr: 1,67 E-8 mg/m <sup>3</sup> (1 año). Decreto 3.395/96 Prov. de Bs. As. (NG)*  Pb: 0,0015 mg/m <sup>3</sup> (3 meses). Res N°242 Prov. de Bs. As. (NC)*  Cd: 1,1 E-7 mg/m <sup>3</sup> (1 año). Decreto 3.395/96 Prov. de Bs. As. (NG)*	Los efectos en la salud son amplios y se producen principalmente en el sistema respiratorio y cardiovascular. El <b>plomo</b> en el interior del organismo interfiere en el proceso de maduración de las células rojas de la sangre, se acumula en los huesos y los tejidos, produciendo alteraciones nerviosas y reduciendo la función renal. El <b>chromo</b> puede provocar cáncer de pulmón y, el <b>cadmio</b> , efectos renales, daño al pulmón y fragilidad de los huesos. La acidez inherente a las partículas urbanas puede provocar la irritación de la membrana mucosa y conducir a una constricción bronquial. La función irritante de las partículas no es función sólo de la naturaleza de las mismas, sino también de absorber o adsorber otras sustancias en la superficie de ellas, que en ciertas ocasiones da lugar al sinergismo (OMS, 2005; ATSDR, 2007; ATSDR, 2000; ATSDR, 2008).
<b>Monóxido de carbono</b>	10 mg/m <sup>3</sup> (8hs). Decreto 3395/96 Prov. de Bs. As. (NC)*			La exposición a niveles altos de <b>CO</b> puede ser fatal. En personas que inhalan CO se han descrito dolor de cabeza, náusea, vómitos, mareo, visión borrosa, confusión, dolor en el pecho, debilidad, falla cardíaca, dificultad para respirar, convulsiones y coma (ATSDR, 2009).
<b>Óxidos de nitrógeno</b>	0,10 mg/m <sup>3</sup> (1 año). Res N°242 Prov. de Bs. As. (NC)*	<b>O<sub>3</sub> (Ozono)</b> <b>2HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico)</b>	O <sub>3</sub> : 0,10 ppm (1hs). Ley Nacional 20284. 100 µg/m <sup>3</sup> (8 hs.) (NG)*	El <b>NO<sub>2</sub></b> pasa a través de la tráquea y los bronquios alcanzando el área de los pulmones donde forma ácido nítrico y nitroso, ambos irritantes y corrosivos para la cubierta mucosa de los pulmones (Moragues, 1999). El "smog" o niebla tóxica, consecuente de las reacciones en la atmósfera del <b>O<sub>3</sub></b> y <b>2HNO<sub>3</sub></b> , afecta especialmente a los niños y a las personas con enfermedades respiratorias crónicas, causa irritación ocular, deterioro de la función pulmonar y aumento de la reactividad bronquial, y está asociado con al desencadenamiento de crisis asmáticas en niños con asma, y con problemas respiratorios en niños no asmáticos o alérgicos (OMS, 2003).
<b>Dióxido de azufre</b>	0,365 mg/m <sup>3</sup> (24hs). Res N°242 Prov. de Bs. As. (NC)*	<b>PM<sub>10</sub> asociado a:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> </ul>	S/D	Los problemas en la salud que se vinculan a la exposición de <b>SO<sub>2</sub></b> son la dificultad para respirar, ardor en la nariz y garganta, y seria obstrucción de las vías respiratorias (ATSDR, 1998). En PM <sub>10</sub> por su carácter ácido, tiene efectos irritativos sobre las vías respiratorias, creando problemas de bronquitis obstructiva (Moragues, 1999).
<b>Xileno (NMVOC)</b>	5,2 mg/m <sup>3</sup> (8 hs). Decreto 3395/96 Prov. de Bs. As. (NG)*	<b>PM 2,5:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Xileno</li> <li>• Tolueno</li> <li>• Formaldehido</li> <li>• Benceno</li> <li>• Naftaleno</li> </ul> <b>PAN (nitrato de peroxiacetilo)</b>  <b>PBN (nitrato de piroxibenzoilo)</b>	S/D	Los MNVOC son conocidos por su carácter tóxico y/o carcinogénico. Más del 50% de los hidrocarburos aromáticos carcinogénicos están asociados a partículas <0,49µm. Las partículas con diámetro menor a 2,5µm son respirables, es decir que llegan a las vías respiratorias no cilindadas (el PM <sub>10</sub> es inhalable) (Massolo L., 2004; UNE-EN 481: 1993).  PAN - PBN, son compuestos de elevado poder oxidante que provocan irritación moderada o severa en los ojos o la reducción de la visibilidad a 5km o menos cuando la humedad está por debajo del 60% (Manahan, 2007).
<b>Tolueno (NMVOC)</b>	1,4 mg/m <sup>3</sup> (8 hs). Decreto 3395/96 Prov. de Bs. As. (NG)*			
<b>Formaldehido (NMVOC)</b>	6,2 E-5 mg/m <sup>3</sup> (1 año). Decreto 3395/96 Prov. de Bs. As. (NG)*			
<b>Benceno (NMVOC)</b>	9,6 E-5 mg/m <sup>3</sup> (8hs). Decreto 3395/96 Prov. de Bs. As. (NG)*			
<b>Naftaleno (HAP)</b>	1,2 E-1 mg/m <sup>3</sup> (8hs). Decreto 3395/96 Prov. de Bs. As. (NG)			

[\*NC: Norma de calidad del aire ambiente; \*NG: Nivel Guía de calidad de aire ambiente.] Fuente: Elaboración propia.



## 5. CONCLUSIONES

Se han construido dos grupos de indicadores. El primero compuesto por 9 indicadores de condición ambiental para efluentes gaseosos de industrias de fundición (PM<sub>10</sub>, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, xileno, tolueno, formaldehído, naftaleno y benceno,) y el segundo por otros 14 indicadores de condición ambiental como parte de una segunda instancia de actuación, para el caso de que se superen los valores límites permitidos por la legislación o los niveles guías sugeridos en el primer grupo (PM<sub>10</sub> Cr, PM<sub>10</sub> Pb, PM<sub>10</sub> Cd, PM<sub>10</sub>SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, 2HNO<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> xileno, PM<sub>2,5</sub> tolueno, PM<sub>2,5</sub> formaldehído, PM<sub>2,5</sub> naftaleno, PM<sub>2,5</sub> benceno, PAN, y PBN). De esta forma se espera cubrir la necesidad de protección de la salud humana y prevenir los efectos adversos en el medio ambiente.

Los indicadores obtenidos son representativos de los temas ambientalmente prioritarios tanto a nivel local como regional e internacional. Esto se debe a que para su construcción se trabajó con legislaciones de los distintos ámbitos.

La disponibilidad de recursos económicos e instrumentales en el nivel local y regional fue una limitante significativa durante el proceso de selección de los indicadores. No obstante, la posibilidad de tener distintas instancias de monitoreo permite evitar costos y muestreos innecesarios del estado de la calidad del aire. En este sentido, a los fines prácticos y de gestión, se puede tomar como referencia de contaminación por oxidación fotoquímica al indicador de ozono, ya que es el más importante tanto por su toxicidad como por su abundancia, sin desconocer, en tal caso, la importancia que los PAN y PBN revisten.

Se puede decir también que el monitoreo de los indicadores de condición ambiental de efluentes gaseosos propuesto, es un aporte que cada industria puede utilizar para realizar una evaluación de su desempeño ambiental incorporando estos indicadores en el sistema de indicadores de la propia empresa. Con ello, puede trabajar en sus indicadores de presión y respuesta y establecer relaciones causa efecto entre su actuación y el estado de la calidad de aire de su entorno.

Además, estos ICAs son un instrumento para la toma de decisiones ya que contribuyen con información adecuada permitiendo conocer el déficit ambiental de un territorio (la distancia entre la situación ambiental y las metas establecidas por las políticas y la legislación), y colaboran en mitigar tendencias que son desfavorables.

### GLOSARIO:

**Contaminante:** Agente químico, físico o biológico que tiene la potencialidad de contaminar.

**Contaminación de aire:** Presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en concentración y con tal duración y frecuencia de ocurrencia que puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o la propiedad, que interfiera en el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de actividades.

**Contaminante primario:** es el emitido directamente de una fuente al aire.

**Contaminante secundario:** se forma por la reacción, química o fotoquímica, de los contaminantes primarios con los componentes naturales de la atmósfera.

**Efluente gaseoso:** Toda aquella sustancia en estado aeriforme, sean gases, aerosoles (líquidos y sólidos), material sedimentable, humos negros, químicos, nieblas y olores, que constituyan sistemas homogéneos o heterogéneos y que tengan como cuerpo receptor a la atmósfera.

**Inmisión:** transferencia de contaminantes de la atmósfera a un receptor.

**Normas de emisión:** Son límites a la cantidad de unidad de tiempo y/o concentración de contaminantes emitidos por la fuente.

**Nivel guía de calidad de aire ambiente:** Concentración de contaminantes debajo de cuyos valores se estima, para el grado de conocimiento del que se dispone, que no existirán efectos adversos en los seres vivos. No son obligatorios, solo sugeridos.

**Valor límite permitido: Normas de calidad de aire.** Son límites, (primarios y secundarios), correspondientes a niveles de contaminación en aire, durante un período de tiempo dado.

**Norma primaria:** Son límites destinados a la protección de la salud de la población. **Norma secundaria:** Son límites destinados a mejorar el bienestar público, que incluye la protección de los animales, cultivos, vegetación, bienes de la comunidad públicos y privados y las condiciones de visibilidad de los efectos de la contaminación del aire.

**Anexo 1: Emisiones según horno y materia prima utilizada**

HORNO DE FUSIÓN	CONTAMINANTE																											
	PM <sub>10</sub>	PM	HCL	HF	HAP	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	HCN	PCDD/F	Zn	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Cu	Hg	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOC	CO <sub>2</sub>	CO	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Benzo (a) Pireno	Naftaleno	Antraceno	
<b>FERREA</b>																												
Cubilote																												
HEA																												
<b>ACERO</b>																												
Horno de Fusión HEA																												
Metalurgia Secundaria																												
<b>ALUMINIO</b>																												
Horno Rotativo																												
Horno Reverbero																												
<b>BRONCE</b>																												
Horno Mantenimiento																												

*Fuente: Elaboración propia adaptada para la situación local y en base a las Guías Técnicas para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire I, 7 y 9; IHOBE 2008*

## Bibliografía:

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 1998. *Reseña Toxicológica del Anhídrido sulfuroso* (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts116.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts116.html)
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2000. *Reseña toxicológica de los Tolueno*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs56.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs56.html)
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2007. *Reseña toxicológica del Xileno*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts71.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts71.html)
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2008. *Reseña toxicológica del Cadmio*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008. *Public Health Statement Formaldehyde*. Division of Toxicology and Environmental Medicine. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp111-c1-b.pdf>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2009. *Reseña Toxicológica del Monóxido de Carbono*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts201.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts201.html)
- Ayuntamiento de Madrid, 2007. *¿Qué es el índice de calidad del aire?* Disponible en internet: <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/red/indice/descripcion.html>
- Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1073/2002 y Real Decreto 1073/2002*. Agencia Estatal, Madrid. Disponible en [http://www.boe.es/diario\\_boe/](http://www.boe.es/diario_boe/)
- Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gobierno Vasco, 2008. *Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire – 7 Sector Fundición Férrica*. IHOBE. Disponible en <http://www.ihobe.net>
- Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gobierno Vasco, 2008. *Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire – 9 Sector Metalurgia no Férrica*. IHOBE. Disponible en <http://www.ihobe.net>
- Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Gobierno Vasco, 2008. *Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire – 1 Sector Acero*. IHOBE. Disponible en <http://www.ihobe.net>
- Enger E. y B. Smith, 2006. *Ciencia Ambiental, un estudio de interrelaciones*. 10 ed. Mac Graw Hill. México.
- Facultad de Ciencias Humanas (FCH-UNICEN) y AYDET S.A., 2007. *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tandil. Documento Diagnóstico. Tandil*.
- Gonzales, J., 2005. *Cambios de la Estructura Industrial 1993-2003. Las Causas de la tendencia al estancamiento del desarrollo industrial argentino y su posible resolución*. Documento de trabajo N°1. Ediciones INTI, Argentina.
- Manahan S., 2007. *Introducción a la química ambiental*. Universidad Nacional Autónoma de México. 1º ed. Reverte. México.
- Massolo L., 2004. *Exposición a contaminantes atmosféricos y factores de riesgo asociados a la calidad de aire de La Plata y alrededores*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas - UNLP.
- Moragues J., 1999. *Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera*. Programa Desarrollo Institucional Ambiental, Control de Contaminación Industrial. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente.
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible. Marco Regulatorio de la Provincia de Buenos Aires. Ley N° 5965, su Decreto Reglamentario 3395/1996, y la Resolución 242/1997; Disponible en: <http://www.opds.gba.gov.ar/index.php/leyes/resumen>
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 1985. *Environmental Health Criteria 52, Toluene*. Disponible en <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc52.htm>

- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2003. *Preparemos el futuro de la vida. Ambientes saludables para niños*. Disponible en <http://www.educa.madrid.org/web/cp.sansebastian.elboalo/coleseguero/archivos/futurooms.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2005. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de riesgos*. Disponible en [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)
- Republica Argentina, 2006. *Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Disponible en [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/File/home\\_documentos/Informe\\_Final\\_2CN.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/File/home_documentos/Informe_Final_2CN.pdf)
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *Ley Nacional Nº 20284/1973, Ley Nacional 25.438/2001, Ley Nacional 23.724/1989*. Marco Legal Argentino; Disponible en <http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/default.htm>
- Seoánez Calvo M., 2002. *Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión*. Ed. Mundi Prensa. Madrid.
- Sosa, B., Banda Noriega, R. y E. Guerrero, 2009. Indicadores de condición ambiental para industrias de fundición. *IVº Jornadas ASAUUE*. Libro de resúmenes, página 57. ISBN: 978-987-22038-3-2. Los Polvorines, Buenos Aires. 27 y 28 de Noviembre.
- Sosa, B., Banda Noriega R. y E. Guerrero, 2010. Diagnóstico de las condiciones ambientales en la gestión de efluentes gaseosos de la actividad de fundición en la ciudad de Tandil. *Revista Investigación & Desarrollo Centro de Investigaciones en Desarrollo Humano - CIDHUM-*, de la División de Humanidades y Ciencias Sociales, Dirección de Investigaciones y Proyectos. Universidad del Norte. Colombia. Enviado octubre 2010.
- UNE-EN 481:1993. *Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosol*.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *National ambient air quality standards*. Disponible en <http://www.epa.gov/air/criteria.html>