

# Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa



**PNUMA Productos Químicos**  
**Ginebra, Diciembre 2005**



# **Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa**

**PNUMA Productos Químicos  
Ginebra, Diciembre 2005**

El proyecto fue realizado con la asistencia financiera del Gobierno de Canadá a través de los fondos COP de Canadá

El propósito de la presente publicación es orientar. Aun considerando que la información que aquí se da es fidedigna, el PNUMA declina toda responsabilidad en cuanto a posibles inexactitudes u omisiones y a las consecuencias que éstas puedan tener. Ni el PNUMA ni ninguna de las personas implicadas en la preparación del presente informe podrán ser tenidos por responsables de cualquier tipo de lesión, pérdida, daño o perjuicio que pueda causarse a personas que hayan actuado según hayan comprendido la información presentada en esta publicación.

La designación empleada y la presentación del material del presente informe no expresan en ningún modo ningún tipo de opinión por parte de las Naciones Unidas o del PNUMA con respecto a la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área o a ninguna de sus autoridades, ni tampoco en relación con cualquier tipo de delimitación de sus fronteras o límites.

En la portada: Fotos cortesía del Dr. Roberto J. Fernández, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, consultor del proyecto

**Esta publicación se ha producido dentro del marco del Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos (IOMC).**

**El Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos (IOMC) fue establecido en 1995 por el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI y OCDE (organizaciones participantes), a raíz de las recomendaciones formuladas en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo con miras a reforzar la cooperación y aumentar la coordinación en el campo de la seguridad química. En enero de 1998, UNITAR se unió oficialmente al IOMC como organización participante. El objetivo del IOMC consiste en fomentar la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, conjuntamente o por separado, con miras a la buena gestión de las sustancias químicas en relación con la salud humana y el medio ambiente.**

El material que figura en la presente publicación se puede citar o reimprimir libremente, pero citando su origen y haciendo referencia al número de documento correspondiente. Deberá enviarse a PNUMA Productos Químicos, una copia de la publicación que contenga la cita o reimpresión.

Se puede solicitar ejemplares de este informe a:

PNUMA Productos Químicos  
11-13 chemin des Anémones  
CH-1219 Châtelaine (GE), Suiza  
Tel.: +41 (22) 917 8170  
Fax: +41 (22) 797 3460  
E-Mail: [chemicals@unep.ch](mailto:chemicals@unep.ch)

Productos Químicos forma parte de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA

**PNUMA Productos Químicos**

Diciembre 2005

**EMISIONES DE DIOXINAS Y FURANOS POR QUEMA INCONTROLADA  
DE BIOMASA:  
UNA REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA SU EVALUACIÓN**

**Contenido**

|   |     |
|---|-----|
| Contenido .....   | i   |
| Listado de Tablas.....  | ii  |
| Listado de Figuras .....  | ii  |
| Abreviaturas .....  | iii |
| Unidades.....   | iii |
| Agradecimientos.....  | iv  |
| Resumen .....   | v   |
| Abstract .....  | vi  |
| 1 Introducción y Propósito .....  | 1   |
| 2 Antecedentes Técnicos / Background .....  | 3   |
| 2.1 Incendios de Vegetación y por Actividades Agropecuarias.....                  | 3   |
| 2.2 Emisiones de Dioxinas y Furanos por Combustión de Biomasa.....                | 4   |
| 2.3 Determinantes de la Combustión de Biomasa.....                                | 5   |
| 2.4 Características de los Fuegos y una Clasificación.....                        | 6   |
| 3 El Toolkit y las Emisiones por Combustión de Biomasa.....                       | 10  |
| 4 Actividad de los Incendios de Vegetación (Clases 1 y 2).....                    | 11  |
| 4.1 Necesidad de clasificar los ecosistemas .....                                 | 11  |
| 4.2 Argumentos para usar clasificaciones “fisonómicas” .....                      | 12  |
| 4.3 Estimación de las emisiones por unidad de área: Los 4 primeros pasos.....     | 13  |
| 4.4 Estimación del área quemada: Herramientas y fuentes de información .....      | 15  |
| 4.5 Usando los 5 pasos: Estimación de la actividad y su variación temporal .....  | 16  |
| 4.6 Tecnologías emergentes y cómo capitalizarlas .....                            | 18  |
| 5 Quema de Residuos Agrícolas “Impactados” y “No Impactados” (Clases 3 y 4) ..... | 19  |
| 5.1 Actividad .....   | 19  |
| 5.2 Factores de emisión .....   | 20  |
| 6 Conclusión y Recomendaciones.....   | 23  |
| 7 Bibliografía Citada .....   | 25  |
| 8 Apéndice 1.....   | 29  |
| 9 Apéndice 2.....   | 32  |

## Listado de Tablas

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 1: | Superficie ocupada en Sudamérica por distintos tipos de ecosistemas, y estimación de su biomasa potencialmente combustible en dos fracciones de diferente probabilidad de quemado. .... | 14 |
| Tabla 2: | Superficie quemada en km <sup>2</sup> - <a href="http://www-gvm.jrc.it/fire/gba2000/gba2000_statistics.htm">http://www-gvm.jrc.it/fire/gba2000/gba2000_statistics.htm</a> .....         | 16 |
| Tabla 3: | Emisiones de PCDD/PCDF a la atmósfera para los 20 cultivos de mayor producción en Sudamérica. ....  | 20 |
| Tabla 4: | Masa aproximada de residuos producida por principales cultivos con probabilidad de quemarse en Sudamérica. ....   | 21 |

## Listado de Figuras

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1: | Partes de un fuego. ....  | 8  |
| Figura 2: | Pasos en la evaluación de emisiones, adaptado de Battye y Battye (2002). .... | 12 |

## Abreviaturas

|                  |   |
|------------------|---|
| AVHRR            | <i>advanced very high resolution radiometer</i>                                     |
| ATSR             | <i>along track scanning radiometer</i>  |
| EQT              | equivalente tóxico  |
| ESA              | <i>European Space Agency</i>  |
| FC               | factor de combustión (proporción de la biomasa presente que efectivamente se quema) |
| FE <sub>DF</sub> | factor de emisión de dioxinas y furanos (emisión por unidad de biomasa quemada)     |
| GBA2000          | <i>Global Burnt Area</i> (iniciativa de la Unión Europea)                           |
| GIS              | sistemas de información geográfica  |
| IC               | índice de cosecha (proporción cosechada de la biomasa aérea de un cultivo)          |
| MODIS            | <i>moderate resolution imaging spectroradiometer</i>                                |
| N                | Nitrógeno   |
| NASA             | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> (U.S.A.)                       |
| NOAA             | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (U.S.A.)                     |
| PCDD             | dibenzo-p-dioxinas policloradas   |
| PCDF             | dibenzofuranos policlorados   |
| PNUMA            | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente                              |
| S                | Azufre  |
| UNEP             | United Nations Environmental Programme  |

## Unidades

|     |  |
|-----|--|
| ha  | hectárea; ng: nanogramo ( $10^{-9}$ g) |
| ppm | partes por millón en peso              |
| t   | tonelada métrica ( $10^6$ g)           |
| Tg  | teragramo ( $10^{12}$ g)               |
| µg  | microgramo ( $10^{-6}$ g)              |

## **Agradecimientos**

A los participantes de los Talleres informales de consulta en Buenos Aires (marzo y julio de 2005) y Adriana Corres, Carlos Di Bella, Heidelore Fiedler, Lorenzo González Videla, Pablo Issaly, Nicolás Mari, Victoria Rodríguez de Higa, Luis Tournier, Santiago Verón y Federico Weyland.

## Resumen

Este documento está destinado a mejorar la preparación de los inventarios nacionales de dibenzo-*p*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF), revisando críticamente la metodología de evaluación de emisiones resultantes de la quema de biomasa tanto en situaciones agrícolas (quema intencional pre- y post-cosecha) como en incendios de bosques, pastizales y otros tipos de vegetación. Se resume información sobre las particularidades de la combustión de biomasa, usándola para presentar sugerencias sobre el modo de hacer una mejor evaluación de la actividad de estas dos fuentes basándose en datos estándar disponibles públicamente. También se sugiere prestar atención a los datos resultantes de tecnologías relativamente novedosas (percepción remota satelital) que cada año pasan a formar parte de la información estándar; estas tecnologías permiten por el momento detectar con precisión la ocurrencia (número), localización y duración de los fuegos, y están avanzando en cuanto a la definición de su área y tipo (por ej. de llama vs. de rescoldo). Aunque las mediciones de PCDD/PCDF son por el momento insuficientes para decidir factores de emisión con la certeza que sería deseable, se explican las conveniencias de un procedimiento de inventario que considere separadamente la biomasa herbácea de la leñosa en los fuegos de vegetación, y los residuos de cultivo quemados en el campo de los resultantes del procesamiento industrial para los cultivos. Un relevamiento de los datos disponibles para Sudamérica indica que la actividad de las dos fuentes estudiadas es del orden de 140-1.000 Tg (millones de toneladas) quemadas por año en los fuegos de vegetación y de unos 150 Tg (con menos variabilidad e incertidumbre) en las quemas agrícolas. Las fuentes más importantes son las selvas, los bosques secos tropicales (y quizá también templados), y los cultivos de caña de azúcar. Según el factor de emisión aplicado, esta actividad resultaría en emisiones totales al aire para el continente del orden de 300 a 1300 g EQT/año. Se destaca la altísima variabilidad interanual de los fuegos de vegetación, en parte debida a fenómenos climáticos pero también a la dinámica de la biomasa combustible. Se concluye con una lista de recomendaciones para abordar investigaciones futuras sobre el tema, tanto experimentales como no experimentales. No se encuentran motivos para sugerir cambios en la clasificación actual de estas emisiones, que por otra parte complicarían la tarea de comparar los inventarios futuros con los pasados y actuales.

## Abstract

The aim of this project was to improve national inventories of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/PCDF), critically reviewing the methods currently used to assess emissions resulting from biomass burning, both in crops (intentional pre- and post-harvest burning) and in forest, grassland, and other types of vegetation. Information on the biomass burning process is summarized and used to suggest ways in which the activity from these sources can be estimated based on publicly available data. Awareness is recommended on data coming from relatively-new technologies (especially state of the art satellite remote sensing) that each year become part of the standardized available information. Now, these technologies allow precise detection of fire occurrence (number), location and duration, and improvements are leading towards a better definition of area and type (e.g. active flame *vs.* smoldering fire). PCDD/PCDF measurements are still insufficient to define precise emission factors. It is argued that, in spite of this, it is advisable to consider leaf and woody biomass separately for vegetation fires, and crop residues that are burnt in the field separately from those burning in piles resulting from industrial processing. A survey of data available for the South America shows an activity of between 140-1,000 Tg (millions of tonnes) per year for vegetation fires and of *ca.* 150 Tg (with less variability and less uncertainty) for crop-related fires. The main sources are rainforests, tropical (and perhaps also temperate) dry forests, and sugarcane crops. Depending on the emission factor used, these activities would represent total emissions to the air of 300 to 1,300 g TEQ/yr for the continent. The high inter-annual variability for fires in the region is highlighted, explained in part by climatic variation, but also by the intrinsic dynamics of biomass fuel. A list of recommendations is presented for future investigation and experimentation. There seems to be no need to change the current classification of these emissions, which if effected would complicate comparisons between future and present inventories.

# 1 INTRODUCCIÓN Y PROPÓSITO

La Dirección Nacional de Gestión Ambiental de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Argentina, a través de un acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA Productos Químicos), y con fondos del gobierno de Canadá, asumió el compromiso de revisar la metodología de cuantificación de las emisiones de dioxinas y furanos a partir de la combustión incontrolada de biomasa para Sudamérica. La necesidad de esta revisión se planteó como parte de las obligaciones emergentes del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP o POPs), y por lo tanto tomando como referencia los lineamientos incluidos en el Instrumental Normalizado (*Toolkit*, UNEP 2005). Aunque el *Toolkit* no tiene en principio limitaciones geográficas, los factores de emisión incluidos en él derivan en su mayoría de mediciones realizadas en países desarrollados y de climas templados o fríos. Se entendió que por razones geográficas y socioeconómicas los cultivos, las prácticas agrícolas y los ecosistemas de Sudamérica podrían presentar particularidades que requirieran aproximaciones algo diferentes, las que a su vez podrían sugerir revisiones similares para otras regiones cálidas y otros países en vías de desarrollo.

En este documento se revisa críticamente la metodología de evaluación de emisiones de dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF) a partir de la quema de biomasa tanto en situaciones agrícolas (quema pre- y post-cosecha) como en incendios (accidentales o intencionales, planificados o no) de bosques, pastizales y otros tipos de vegetación. Se prevé que los usuarios de esta información sean los equipos responsables de la preparación de los inventarios nacionales y sus asesores técnicos. Se presentan datos fundados en lo posible en fuentes primarias (literatura de base), los que se interpretan de acuerdo a criterios agronómicos y a la luz de principios generales de relevamiento de recursos naturales. Se pretende presentar un “menú” suficientemente amplio de opciones para la preparación de inventarios pero también, a la vez, dar criterios que guíen a quienes deben recopilar los datos y finalmente elegir entre esas opciones.

Los procesos de combustión de biomasa a cielo abierto forman la “Categoría 6a” del *Toolkit* (UNEP 2005). Dentro de ésta, las Clases 1 y 2 comprenden los incendios forestales y de praderas, y las Clases 3 y 4 la quema de residuos agrícolas impactados en distinta medida (por ej., con pesticidas organoclorados) y bajo diferentes condiciones. Tal como lo hace el *Toolkit*, para cada clase se consideran conceptualmente por separado:

- (a) la actividad, es decir la cantidad de biomasa quemada (medida en t/año), y
- (b) el factor de emisión de dioxinas y furanos ( $FE_{DF}$ ), es decir la liberación de PCDD/PCDF por unidad de biomasa quemada (medida en equivalentes tóxicos por tonelada, EQT/t).

Muy simplificada, puede adelantarse que las mayores incertidumbres para las Clases 1-2 se encuentran en su actividad (aunque presentan una variabilidad propia que es independiente de ella), mientras que para las Clases 3-4 hay más incertidumbre en el  $FE_{DF}$ . Para evaluar la actividad de las Clases 1-2, se recopiló información acerca de las características de los incendios en la región (frecuencia, extensión, tipo y cantidad de biomasa involucrada, severidad), de modo de clasificarlos para evaluar mejor sus emisiones de PCDD/PCDF. Para las Clases 3-4, se relevó la información de cultivos y prácticas de cultivo, y se sugieren criterios para distinguir mejor los residuos impactados de los no impactados.

En base a la información obtenida, se presentan procedimientos que, sin requerir una modificación de las categorías existentes del *Toolkit*, orienten la búsqueda de información y permitan una mejor estimación de las emisiones para aquellos países que cuenten con datos de cierto detalle. Para los casos en que esa información no esté disponible, se explicitan las que se consideran las mejores fuentes y criterios para decidir los factores por “defecto” (*default*). Por último, basándose en vacíos detectados en la información básica, se indican algunas prioridades para la realización de estudios que permitan cubrirlos, y así mejorar la base de datos del *Toolkit*.

## 2 ANTECEDENTES TÉCNICOS / BACKGROUND

### 2.1 Incendios de vegetación y por actividades agropecuarias

La ocurrencia de incendios de vegetación es importante tanto desde el punto de vista de las emisiones de muchos compuestos en fase sólida y gaseosa (McMahon 1983, Battye y Battye 2002) como de sus efectos sobre los ecosistemas (Oesterheld *et al.* 1999, Freckleton 2004). Si los incendios no ocurrieran, la vegetación del planeta sería muy diferente de la actual, con más bosques y menos pastizales (Bond *et al.* 2005). La mayor incidencia de fuego se da en las regiones tropicales (y algo menos en las ecuatoriales; Lobert *et al.* 1999, Carmona-Moreno *et al.* 2005), y su tendencia temporal está fuertemente asociada a los llamados Cambios en el Uso de la Tierra o del suelo (lo que en el vocabulario de Cambio Global se conoce como "LULUCF", por Land Use and Land Use Change and Forestry) (Eva y Lambin 2000). En relación a esto último, para Sudamérica se ha mostrado que a lo largo del Siglo XX el área quemada ha permanecido más o menos constante en las sabanas, pero ha aumentado en las selvas tropicales y ha disminuido en los pastizales templados (Mouillot y Field 2005). Es interesante que los dos últimos casos, de tendencia opuesta, sean ambo consecuencia de las actividades agrícola-ganaderas, que usan el fuego como una herramienta de clareo de la vegetación ("slash and burn" o roza-tumba-quema) en las selvas, y que en cambio reducen la biomasa combustible originalmente disponible en los pastizales.

Tanto los pastizales como las sabanas, característicos de climas subhúmedos a semiáridos, son ecosistemas en los que el fuego ha ocurrido en el pasado naturalmente, y en parte sigue ocurriendo ahora, con alta frecuencia. Estas áreas suelen estar dedicadas a la ganadería, y el fuego en ellas se provoca de manera controlada (fuego prescripto) como una vía práctica y económica de manejo de la vegetación, ayudando a controlar la vegetación leñosa y favoreciendo el crecimiento de la herbácea, de más valor como forraje. El fuego también se usa en áreas de cultivo, donde la quema de hojas y malezas puede facilitar la cosecha (ej. caña de azúcar), eliminar los residuos vegetales luego de ella, aportar nutrientes para el cultivo siguiente, y también a controlar enfermedades e insectos-plaga (ej. picudo del algodónero).

Desde el punto de vista de los inventarios, quizá no sea demasiado importante determinar cuántos y cuáles de estos incendios son de ocurrencia espontánea (ej. provocados por rayos) y cuáles son producto de acciones humanas más o menos deliberadas (ej. fuegos prescriptos o accidentes con fogatas y cigarrillos). Evidentemente, este conocimiento sí es crucial desde otros puntos de vista, incluyendo el manejo de los suelos (pérdida de fertilidad, riesgo de erosión) y la reducción futura de las emisiones, no sólo de PCDD/PCDFs sino también de carbono y nitrógeno. La historia indica que los incendios en las selvas son fenómenos relativamente recientes y atribuibles a cambios en el uso de la tierra (Eva y Lambin 2000), y que en cambio es poco lo que puede hacerse para modificar apreciablemente el régimen de fuegos de las sabanas y bosques xéricos (*e.g.* Medina *et al.* 2000). Más aún, las acciones que intentan suprimir de fuegos en los ecosistemas en los que éstos ocurren naturalmente suele causar, con el tiempo, fuegos menos frecuentes pero más intensos (Mouillot y Field 2005).

## 2.2 Emisiones de dioxinas y furanos por combustión de biomasa

Los PCDD/PCDF se forman en cantidades muy pequeñas, del orden de microgramos por tonelada de material quemado ( $\mu\text{g}/\text{t} \approx \text{ng}/\text{kg}$ ), cuando en procesos de combustión se encuentran presentes:

- carbono orgánico,
- cloro (orgánico o inorgánico),
- oxígeno,
- altas temperaturas, por encima de 200 °C hasta 650 °C (temperaturas superiores a 800-900 °C favorecerían la destrucción de estos compuestos),
- combustión incompleta (favorecida por baja turbulencia, falta de oxígeno, corto tiempo de combustión y alta humedad).

Otras condiciones predisponentes a la emisión son la presencia en el combustible de PCDD/PCDF o sus precursores (ej. fenoles u otras sustancias aromáticas, cloradas o no), o de metales que actúan como catalizadores - tales como cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), aluminio (Al), cromo (Cr) y manganeso (Mn)). La presencia de compuestos de nitrógeno (N) y azufre (S), por otra parte, podría inhibir la formación de PCDD/PCDF. El material vegetal contiene naturalmente la mayoría de estos elementos y sustancias, y además puede estar enriquecido en ellos por efectos de deposición atmosférica (limpia o asociada con contaminación urbano-industrial del aire). Desde el punto de vista de reducción de emisiones, el factor más importante a tener en cuenta posiblemente sean las prácticas de manejo agrícola, especialmente la aplicación de sustancias biocidas: herbicidas, fungicidas e insecticidas.

Lamentablemente, los experimentos de quema de biomasa en condiciones controladas hasta ahora no han permitido encontrar indicadores de composición química que permitan predecir razonablemente el factor de emisión de PCDD/PCDF ( $FE_{DF}$ ). Sin embargo, en la mayoría de los casos en que sí se encontró una correlación positiva entre  $FE_{DF}$  y el contenido de cloro (casi siempre en situaciones de incineración confinada, no a cielo abierto), éste se encontraba por encima del 1% en peso (Lavric *et al.* 2004). Este valor equivale a 10.000 ppm y es alto en comparación con los requerimientos de las plantas, que sólo presentan síntomas de deficiencia con contenidos menores a las 100 ppm (0,01%; Azcón-Bieto y Talón 2000). Sin embargo valores de 10.000 ppm y aún mayores no son para nada inusuales en los tejidos vegetales, especialmente los herbáceos (Foulds 1993). La madera y la corteza, en cambio, presentan valores casi siempre menores, del orden de 50-250 ppm (hasta 600 ppm en *Eucalyptus* spp.), al igual que la hojarasca y el mantillo (definidos más abajo; 100-300 ppm) (Lobert *et al.* 1999). El mismo tipo de tendencia, aunque con valores absolutos alrededor de 10 veces superiores, puede esperarse para el contenido de N y S (mayor en follaje y corteza, menor en madera), aunque para estos elementos no parece haber generalizaciones similares a la del cloro con respecto a los valores que resultarían efectivos—en este caso, para reducir los  $FE_{DF}$ . Por otra parte, las determinaciones analíticas de estos dos elementos (ambos “macronutrientes”) son casi rutinarias y no son costosas, y para el caso del N, además, se cuenta con información que permite estimarlo para distintos grupos vegetales en función de atributos simples tales como forma de vida (por ej. árboles vs. hierbas) y la morfología de las hojas (Reich *et al.* 1997). Así, se trata de información que será relativamente fácil de conseguir en el caso de que en el futuro quedara claro que el contenido de N es un buen predictor de  $FE_{DF}$ .

### 2.3 Determinantes de la Combustión de Biomasa

En la combustión de biomasa, la energía capturada en la fotosíntesis se libera en forma de calor. En los incendios de vegetación de todo tipo, el combustible está constituido por material vegetal, con una composición química que varía en las distintas partes de las plantas (ver más arriba), pero tiene como características principales un alto contenido de carbono (50% sobre base seca, casi constante) y oxígeno (40-45%), ambos formando parte de celulosa, hemicelulosas y ligninas, algo en ceras y resinas, y un contenido de agua altamente variable. Es muy importante conocer este contenido de agua porque determina, por un lado, la probabilidad de inicio del fuego y, por el otro, la cantidad de calor efectivamente liberada una vez iniciado —y por lo tanto en cierta medida (de acuerdo a la velocidad de reacción) la temperatura alcanzada (Kunst y Rodríguez 2003). Como se dijo, la determinación de  $FE_{DF}$  requiere conocer lo mejor posible estas condiciones.

Todos los tejidos de las plantas son inflamables, al menos potencialmente. La probabilidad de que efectivamente se enciendan en presencia de una fuente de calor depende sobre todo de su contenido de humedad. Aunque variable entre especies, esa probabilidad es muy baja por encima del 20% de humedad (contenido de agua en peso), que constituye un límite superior para los fuegos prescritos, y se vuelve altísima por debajo del 10% de humedad, haciendo inevitable que el fuego se torne severo (por ej., en bosques, que alcance la copa de los árboles). Los tejidos vivos, constituidos por las hojas y los tallos herbáceos, contienen alrededor de 80-90% de agua en peso, pero el contenido de humedad de los distintos componentes muertos de la vegetación (que incluyen una fracción importante de las partes leñosas de los individuos vivos) depende menos de características intrínsecas de la biomasa que de su forma, posición, y el estado de la atmósfera. Estos factores son los que determinan la dinámica de la pérdida de agua por evaporación.

Una clasificación de los combustibles leñosos los divide en clases de acuerdo a su diámetro (considerándolos más o menos cilíndricos), ya que éste, al determinar la relación superficie/volumen, influye sobre la cinética del secado. Para cada clase puede entonces definirse un tiempo de retardo (“timelag”), que mide el lapso necesario para que en una atmósfera seca y estable pierda alrededor del 63% (alcance  $1/e$ ) de su humedad inicial. Así, haciendo referencia a su *timelag*, a los materiales finos, de menos de 0,5 cm de diámetro se los conoce como combustibles de 1 hora, a los de 0,6 a 2,5 cm de 10 horas, a los de 2,6 a 7,5 de 100 horas, y los más gruesos como de 1.000 horas (NWCG 1996).

De acuerdo a su posición, los combustibles también pueden clasificarse en:

- Combustible de superficie: todo el material que se encuentra en el suelo o inmediatamente sobre él, incluyendo:
  - Mantillo (inglés: *duff*): capas de materia orgánica parcialmente descompuesta sobre el suelo; usualmente es húmedo y compacto.
  - Hojarasca (inglés: *litter*): formada por hojas secas, acículas, corteza, piñas, etc. no totalmente descompuestas.
  - Vegetación baja: pastos, arbustos bajos, helechos, plántulas.
- Combustible aéreo: Incluye todo el material vivo o muerto que no está en contacto directo con el suelo.

La caracterización exhaustiva de la probabilidad y severidad de los fuegos en un ecosistema requiere conocer la proporción y condición del combustible de acuerdo a estas clasificaciones,

que también son las que determinan el comportamiento del fuego y por lo tanto las características de la combustión. Para los propósitos de inventario, sin embargo, no parece necesario el análisis del *peligro* de incendio (por ej., el sistema que en la Argentina está implementando el Plan Nacional de Manejo del Fuego; Dentoni 2000; <http://www.medioambiente.gov.ar/pnmf>) ni el de *riesgo* de incendio (ver “Pronósticos y alertas” en <http://www.meteofa.mil.ar>), que requieren conocer los factores meteorológicos que determinan que el fuego se inicie en una localidad y momento particulares. Sí, en cambio, importa conocer en cierto detalle las características del *proceso* de combustión en cada tipo de ecosistema en la medida que ellas afectan no sólo el  $FE_{DF}$ , sino también la actividad de la fuente a través de la proporción de la biomasa que se quema en cada ocasión (ver “FC” más adelante). Por ejemplo, para un bosque mixto del sur de los EEUU, se encontró que la fracción de hojarasca quemada, y aún más la de mantillo, se correlacionaban positivamente con la temperatura alcanzada por el fuego (Clinton *et al.* 1998).

## 2.4 Características de los Fuegos y una Clasificación

En una revisión ya clásica, McMahon (1983) ha dicho: “Es importante destacar que la combustión en los fuegos forestales [y de vegetación en general] no es un proceso químicamente eficiente, ni siquiera en las circunstancias más favorables. Un motivo es que parte del calor liberado es absorbido por el agua contenida en el combustible [usándose para calentarla y evaporarla], reduciendo así la temperatura de combustión. Otro motivo es que la circulación de aire dentro y alrededor del fuego no aporta suficiente oxígeno a la zona de combustión como para que éste se mezcle adecuadamente con los gases inflamables producidos. También sucede que el movimiento de aire aleja gases parcialmente oxidados de la zona de alta temperatura, liberando así a la atmósfera productos de una combustión incompleta.” *Nota: Las aclaraciones entre corchetes no figuran en el original.*

Este mismo autor divide el proceso de la combustión en cuatro fases, en cuya descripción hemos destacado algunos elementos importantes a tener en cuenta desde el punto de vista de la producción de PCDD/PCDF:

- Fase de preignición (predominio de destilación y pirólisis): en esta fase los combustibles situados al frente del fuego son calentados, los componentes volátiles se mueven a la superficie del combustible y son liberados al aire. Inicialmente, estos volátiles están representados por el vapor de agua y algunos compuestos orgánicos no combustibles. Al aumentar las temperaturas, la hemicelulosa seguida de la celulosa y lignina comienzan a descomponerse (pirolizarse), liberando productos orgánicos combustibles. Estos gases y vapores calientes se elevan, se mezclan con el oxígeno del aire formando mezclas combustibles, y se encienden –usualmente a temperaturas entre 300° y 600° C– produciendo la segunda fase. Por encima de los 270° C, la descomposición térmica no requiere una fuente de calor externo porque el proceso es exotérmico. En esta fase el principal combustible es el mantillo o los combustibles finos, de alrededor 1 h de timelag e ignición muy rápida.
- Fase de llama (predominio de oxidación de la fase gaseosa): en esta fase la temperatura aumenta rápidamente por el calor de las reacciones exotérmicas. La pirólisis continúa pero es acompañada ahora por una rápida oxidación de los gases combustibles en alta concentración, lo que produce el “llameo”. Los productos de la zona de la llama son predominantemente dióxido de carbono y vapor de agua (no como resultado de la deshidratación como en la fase anterior, sino como producto de la combustión). Las temperaturas rondan entre los 300° y los 1400° C. Algunas de las sustancias pirolizadas se

enfrian y condensan sin pasar por la zona de la llama, otros pasan a través de la llama pero se oxidan sólo parcialmente, produciendo una amplia gama de productos, incluidas posiblemente las dioxinas y furanos. Muchos compuestos de bajo peso molecular son producidos como gases y son acarreados por el viento en esa forma. Otros, con mayor peso molecular, se enfrían y condensan, formando gotas de líquidos alquitranados y partículas sólidas de hollín; estas sustancias, junto con el agua que se enfría rápidamente, forman el humo. En esta fase también ocurre pirosíntesis: radicales de hidrocarburos de bajo peso molecular condensan en la zona reductora de las llamas, conduciendo a la síntesis de moléculas relativamente grandes como hidrocarburos polinucleados aromáticos (PAHs).

- Fase de humo (“smoldering”, predominio de combustión lenta y sin llama): en esta fase, la tasa de reacción global del fuego ha disminuido a un punto en que la temperatura y las concentraciones de gases combustibles y vapores sobre el combustible no pueden mantener una llama persistente. Como consecuencia, los vapores se condensan y son liberados como humo visible a la atmósfera. En esta fase se quema el mantillo con mayor contenido de humedad (¿facilitando la emisión de PCDD/PCDF?). El humo producido en esta fase no tiene hollín y consiste en gotas microscópicas de alquitrán. Cuando la evolución de la pirolización de gases cesa, las partículas de combustible son reducidas a una brasa negra y comienza la fase final de la combustión.
- Fase de brillo (“glowing”, predominio de oxidación sólida): en esta fase final de la combustión todos los componentes volátiles de combustible han sido ya liberados y el oxígeno puede migrar a la superficie del mismo. Allí se produce una oxidación sólida o “de superficie” dando el característico brillo amarillo. Esta fase sería poco importante desde el punto de vista de las emisiones de PCDD/DF: el humo visible no está presente, y los productos principales son el monóxido y dióxido de carbono. El proceso continúa mientras la temperatura permanezca alta, hasta que sólo una pequeña cantidad de materiales minerales no combustibles permanecen como cenizas.

Estas cuatro fases, que en un punto dado se dan en una secuencia temporal, al ocurrir en el campo ocupan simultáneamente distintas porciones del terreno, como se muestra en la Figura 1.

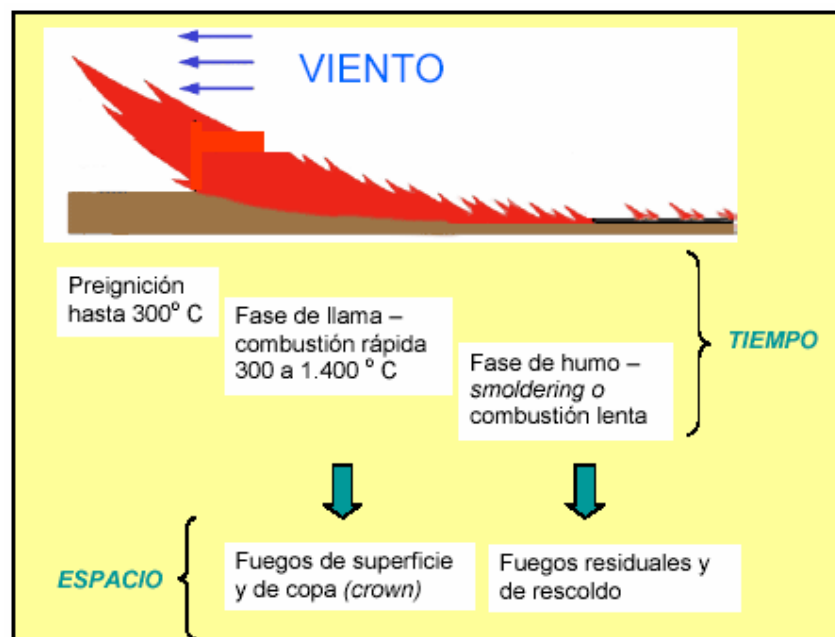


Figura 1: Partes de un fuego.

Lo que en un área pequeña, como la esquematizada, se percibe como una sucesión de tres etapas en el tiempo, de acuerdo al material que se quema y otras características del fuego (tales como su velocidad de avance y falta de simultaneidad en el inicio de los distintos focos) determina fuegos de distintas características en el espacio (ver por ej. Riggan y Hoffman 2003)

En extensiones mayores, a su vez, al interactuar con los distintos tipos de combustibles y sus características (por ej., de acuerdo a las dos clasificaciones de la sección anterior), el distinto predominio y duración de esas fases da lugar a por lo menos tres tipos distintos de fuego:

- Fuegos de superficie: son de intensidad y comportamiento variable, dependiendo del combustible.
- Fuegos de copa: son de gran intensidad, de rápido movimiento y conducidos por el viento. Pueden alcanzarse temperaturas superiores a los 1.000 °C. Dentro de esta categoría se distinguen por lo menos dos subtipos:
  - Fuegos de copa “pasivos”: se queman árboles individuales o pequeños grupos, pero las llamas sólidas no se mantienen en el canopeo. La radiación hacia los combustibles de superficie incrementan la velocidad de avance del frente. Este fuego es común en muchos tipos de bosques, especialmente en aquellos con un sotobosque de coníferas tolerantes a la sombra.
  - Fuegos de copa “activos”: en este caso todo el complejo de combustibles de superficie y de copa está involucrado, pero la fase de copa se mantiene dependiente del calor de los combustibles de superficie para una dispersión continua. Se caracterizan por una pared sólida de llamas que se extiende desde el suelo hasta la punta del canopeo. La radiación, que se ve incrementada, y las pavesas provocan una velocidad de dispersión mayor que si el fuego sólo permaneciera en la superficie.
- Fuegos de rescoldo: no poseen llamas de grandes dimensiones y arden en forma lenta, por períodos considerables, que pueden extenderse varios días. Las temperaturas en superficie pueden alcanzar los 450-600°C, pero en el suelo siempre son menores.

En esta última categoría están incluidos los *fuegos subterráneos*, que arden con muy poca presencia de oxígeno y gran contenido de humedad, por lo que quizá debería considerarse analizarlos por separado en cuanto a su  $FE_{DF}$ . Una relación interesante al respecto es la descrita por Frandsen (1987), que mostró experimentalmente que el suelo orgánico puede arder con contenidos de humedad muy altos (cerca del 100%), pero esa facilidad se reduce linealmente al disminuir la relación materia orgánica / materia inorgánica (MO:MI). El llamado “suelo mineral”, de los horizontes con una relación MO:MI mayor a 4 (*i.e.*, con menos de 20% de materia orgánica) no arde aún totalmente seco.

Como se verá en otras secciones, las diferencias de temperatura pueden ser captadas por sensores infrarrojos montados en satélites, y esta información remota usada para caracterizar los distintos tipos de fuego. Un dato no mencionado hasta ahora es que, si bien los combustibles difieren algo en su calor de combustión por unidad de masa (“poder calorífico superior”), esas diferencias no son importantes. Más aún, en fuegos de vegetación, el que importa es el poder calorífico efectivo o “inferior”, que está determinado por el contenido de humedad (ya que es igual al poder calorífico superior menos el calor de evaporación del agua).

### 3 EL TOOLKIT Y LAS EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA

Los procesos de combustión de biomasa a cielo abierto forman la “Categoría 6a” del *Toolkit* (UNEP 2005). Dentro de ésta, las Clases 1 y 2 comprenden los incendios forestales y de praderas, y las Clases 3 y 4 la quema de residuos agrícolas impactados en distinta medida (por ej., con pesticidas organoclorados) o bajo diferentes condiciones y la combustión de residuos agrícolas limpios. Lo primero que llama la atención es el alto grado de incertidumbre que presentan los factores de emisión ( $FE_{DF}$ ), es decir la cantidad de PCDD/PCDF emitidos por unidad de material quemado. Para emisiones al suelo, los factores sugeridos comprenden un rango relativamente estrecho (de 4 a 10  $\mu\text{g}$  EQT/tonelada), pero para emisiones al aire el rango es mucho mayor: 0,5 a 30  $\mu\text{g}$  EQT/tonelada. Esta variabilidad está un reflejo de la combinación de resultados de experimentos en el laboratorio y en el campo.

Para este informe se usó un solo valor del factor de emisión: 1  $\mu\text{g}$  EQT/ t. Los motivos de esta decisión fueron dos: En primer lugar, que la revisión más reciente de  $FE_{DF}$  indica que el rango más frecuente de los resultados obtenidos en el campo para casi todos los tipos de vegetación y cultivos se encuentra entre 0,5 y 2  $\mu\text{g}$  EQT/t (conclusiones del *Expert Workshop on Dioxin and Furan Releases from Uncontrolled Combustión*, co-organizado por PNUMA Productos Químicos y el gobierno australiano, Dept. Environment and Heritage; Melbourne, 7-9 diciembre 2005). La única posible excepción sería la del cultivo de caña de azúcar, que se discute en detalle más adelante. En segundo lugar, la elección de un valor único permite enfatizar las conclusiones numéricas principales de este informe, que están referidas a la variabilidad e incertidumbre en la actividad de estas fuentes, es decir la cantidad de biomasa efectivamente quemada. Los usuarios de esta información que decidan modificar este supuesto sólo necesitan multiplicar los datos aquí brindados por el  $FE_{DF}$  que consideren más adecuado.

Luego de revisar los inventarios publicados o en preparación y entrevistar a los responsables de su elaboración, queda claro que las incertidumbres no se limitan al  $FE_{DF}$ , sino que son numéricamente similares o aún mayores en el caso de la actividad de la quema de biomasa a cielo abierto. De hecho, la última versión del *Toolkit* (UNEP 2005) afirma que para todas las clases de esta categoría probablemente lo más difícil sea estimar la cantidad de material que se quema. Para los fuegos de todo tipo, esta estimación requiere como mínimo evaluar:

- (i) cuánto material, *i.e.* **biomasa**, hay presente antes del fuego (medido, por ej., en toneladas por hectárea), y
- (ii) qué proporción de ese material se quema efectivamente, *i.e.* lo que en la literatura especializada se denomina **factor de combustión - FC** (Seiler y Crutzen 1980).

Sin embargo, un paso previo a estos dos y que puede tener tanta o más influencia que ellos es la decisión de qué información agrupar bajo cada una de las cuatro clases definidas por la Tabla 53 del *Toolkit* (UNEP 2005). La separación de los incendios de vegetación en las dos categorías “forestales” y “de praderas y brezos (arbustales)” (Clases 1-2) presenta la dificultad, por ejemplo, de adónde incluir la vegetación de sabana, un tipo de ecosistema intermedio por tener tanto árboles como pastos, y que es muy frecuente en nuestra región. Del mismo modo, la recopilación de datos sobre las Clases 3 y 4 obliga a decidir qué residuos agrícolas están “impactados” y cuáles no. En las secciones siguientes se analizan separadamente estas dificultades, en vista a proponer procedimientos que, sin modificar las Clases actuales, faciliten la confección de inventarios que reflejen las distintas realidades nacionales.

## 4 ACTIVIDAD DE LOS INCENDIOS DE VEGETACIÓN (CLASES 1 Y 2)

Los métodos disponibles para la evaluación de emisiones de gases y partículas a partir de fuegos de vegetación abarcan un espectro muy amplio. Como sucede a menudo, en general no hay soluciones ideales sino que existen compromisos, y se debe optar entre generalidad y bajo costo, por un lado, *versus* confiabilidad y detalle, por el otro. Dos ejemplos extremos serían el uso de datos para ecosistemas similares de otras regiones *vs.* relevamiento *in situ* de los parámetros de fuegos locales (Battye y Battye 2002).

### 4.1 Necesidad de clasificar los ecosistemas

El *Toolkit* (UNEP 2005) reconoce que la vegetación varía entre regiones de acuerdo a su clima, geografía y otras condiciones locales, y que por lo tanto el modo en que el fuego se comporta variará entre distintos países. Más arriba, al referirnos a la actividad de estos fuegos decíamos que una decisión que influencia con gran peso la recolección de información es la de cómo clasificar los fuegos para agruparlos bajo cada una de las cuatro clases definidas por la Tabla 53 del *Toolkit*, las que cada país puede a su vez subdividir de acuerdo a criterios propios (el *Toolkit* lo ejemplifica para los casos del Reino Unido, Nueva Zelanda, Francia y Filipinas). Pero esta decisión, además, influye en la necesidad de supuestos posteriores, entre los cuales está la elección de un factor de emisión. Es decir que la clasificación de los fuegos para inventarios no debiera ser un proceso lineal sino iterativo, que surja en parte de la realidad geográfica de cada país, pero que también esté basado en la disponibilidad de información.

Aún así, la distinción de solamente dos categorías, vegetación de bosques (Clase 1) y de praderas y brezos (Clase 2), es una simplificación que puede aplicarse a muy pocos ecosistemas del mundo, y difícilmente a un continente que incluye áreas climáticamente tan diversas como Sudamérica. Para conocer la actividad de estas fuentes es necesario contestar al menos tres preguntas:

- a. ¿con qué frecuencia ocurren los fuegos?
- b. ¿qué extensión cubre cada fuego?
- c. ¿qué cantidad de biomasa se quema efectivamente por unidad de área afectada?

Las respuestas a otras dos preguntas determinan cuál será el factor de emisión:

- d. ¿qué tipo de biomasa se quema (especie, tejido vivo, hojas senescentes, hojarasca)?
- e. ¿bajo qué condiciones ambientales ocurre el fuego?

Un resumen de esta secuencia de preguntas se presenta esquemáticamente en la Figura 2.

La mayor ventaja de analizar los distintos tipos de ecosistemas por separado es que las respuestas estas cinco preguntas seguramente diferirán entre ellos. El mayor obstáculo para analizarlos por separado es la aparente falta de información para responderlas cuantitativamente para distintos ecosistemas. Por otro lado, nuestra revisión de la bibliografía revela que existe una gran cantidad de información relevante, en su mayoría recopilada para otros usos, que estaría disponible inmediatamente y podría ayudar en el proceso de clasificar los fuegos de vegetación. Luego de explicar de qué tipo es esa información, en las secciones siguientes se presenta un procedimiento en cinco pasos para evaluar la actividad de los fuegos, procedimiento que se ilustra con la cuantificación de los fuegos de vegetación en Sudamérica.

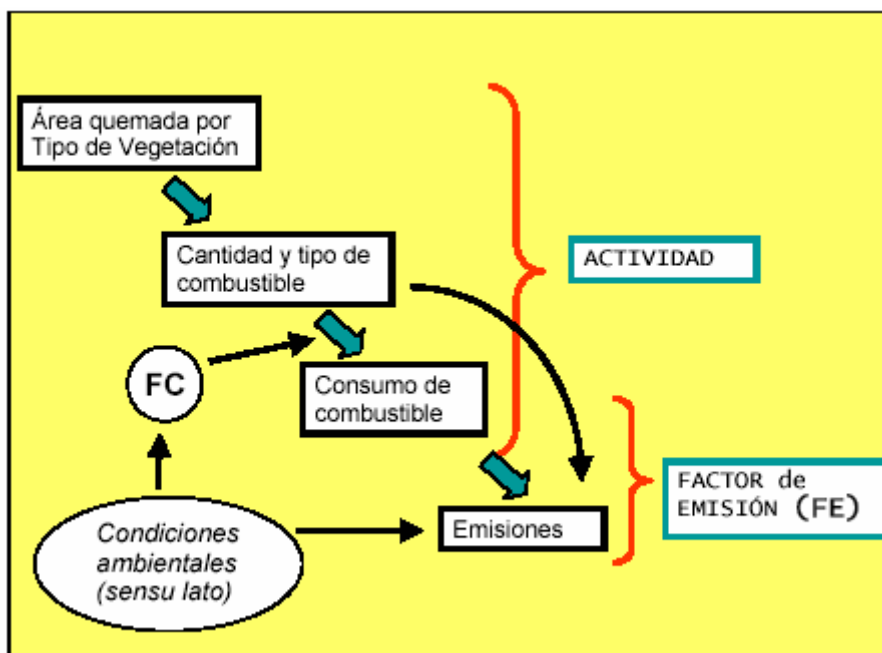


Figura 2: Pasos en la evaluación de emisiones, adaptado de Battye y Battye (2002). FC: factor de combustión, es decir la proporción de la biomasa presente efectivamente quemada; FE: cantidad de contaminante emitido por unidad de biomasa consumida.

## 4.2 Argumentos para usar clasificaciones “fisonómicas”

El tipo de información relevante para clasificar y luego cuantificar los fuegos de vegetación no podría ni debería ser de un detalle tal que obligue a analizar la identidad de las especies vegetales presentes en cada tipo de ecosistema. En la práctica tampoco parece siquiera aconsejable intentar clasificar la vegetación de acuerdo a las especies dominantes, es decir, las que contribuyen la mayor biomasa. Los principios básicos de relevamiento de recursos naturales (postulados ya por Long en 1968) indican que el nivel de detalle de los descriptores usados para caracterizar a un recurso debe guardar una relación armónica con la escala espacial del estudio. Para representar la vegetación de una región o un país, los descriptores más adecuados no son las especies (categorías taxonómicas, también llamadas florísticas) sino los tipos de vegetación u otras categorías fisonómicas.

Al igual que al describir la fisonomía de una persona, estos tipos se refieren al aspecto visual de esa vegetación. Tal aspecto está determinado básicamente por cuántos representantes hay presentes, en términos absolutos y relativos, de cada forma de vida, es decir las tradicionales categorías de árboles, arbustos, lianas, pastos, etc., cada una de las cuales en la mayoría de los casos abarca un número relativamente elevado de especies. Tres ejemplos de tipos de vegetación son las selvas (alta cobertura absoluta, representada en su mayoría por árboles de hoja persistente acompañados por lianas y epifitas), las estepas arbustivas (baja cobertura vegetal, constituida predominantemente por formas leñosas bajas con algunas herbáceas anuales), y las praderas (alta cobertura de pastos, en su mayoría perennes). En algunos casos muy contados, el nombre del tipo de vegetación alude a la especie presente (ejemplo: bosque de coníferas o sabana de palmeras), pero estas excepciones son sólo aparentes, ya que se

deben a que las particularidades del tipo de especie y su grado de dominancia afectan fuertemente la fisonomía.

Existen argumentos para afirmar que el fuego no sólo tiene distinta probabilidad de ocurrencia y distintos efectos en cada tipo fisonómico de vegetación, sino también en relación a las demás preguntas de la sección anterior. Por ejemplo, se sabe que el área ocupada por cada fuego individual y la recurrencia de fuegos en un punto dado se correlacionan negativamente con la proporción del suelo cubierta por árboles (van der Werf *et al.* 2003, Mouillot y Field 2005). Por otro lado, los focos tienden a durar alrededor de una semana en los bosques y menos de un día en las sabanas y pastizales (Fischer y DiBella, datos inéditos para el centro-oeste de Argentina). A su vez, la velocidad de avance del frente de fuego es mayor cuanto mayor es la proporción de vegetación herbácea (Kunst y Rodríguez 2003). Teniendo además en cuenta que los ecosistemas con más árboles presentan mayor biomasa por unidad de área (ej. Tabla 1), para ellos sería esperable que el fuego no sólo permanezca durante más tiempo encendido en un punto dado, sino que además actúe con más intensidad (i.e. liberando mayor cantidad de calor por unidad de tiempo; NWCG 1996) que en pastizales y sabanas.

Intentar representar la diversidad de ecosistemas a través de la identidad de sus especies, además de ser poco práctico en general (siendo el número de especies del orden de decenas a cientos por km<sup>2</sup>, decenas de miles para la región), tampoco estaría justificado para su uso en la caracterización de los fuegos si se toman en cuenta las incertidumbres que existen en la cuantificación de los demás factores a considerar. Si en el futuro, al avanzar en el conocimiento de las características determinantes de los factores de emisión se encontrara que la composición de determinada especie o grupo taxonómico las justifican (ej. familias con alto contenido de fenoles, cloro o ciertos metales), entonces tendría sentido complementar la información fisonómica con la taxonómica. Algo similar podría decirse acerca de la inclusión de grupos que, sin ser taxonómicos, representen adaptaciones funcionales comunes más detalladas que las representadas por las formas de vida clásicas (por ej. pastos con metabolismo fotosintético “C<sub>4</sub>”).

### 4.3 Estimación de las emisiones por unidad de área: Los 4 primeros pasos

Para cumplir con el primer paso en el proceso descrito en la Figura 2 es necesario clasificar la vegetación de cada país en unos pocos (ej. 3 a 8) tipos fisonómicos de ecosistemas. Un ejemplo del tipo de mapas en los que podrían basarse las decisiones para tal tipificación es el producido recientemente para Sudamérica bajo el auspicio de la Unión Europea (Eva *et al.* 2004; ver <http://www-gvm.jrc.it/tem/regions/southamerica.htm>), pero probablemente la mayoría de los países cuentan con información de este tipo de fuentes propias, lo que puede facilitar los pasos siguientes en el proceso de inventario. De nuevo, no tendría sentido usar información demasiado detallada para la clasificación de vegetación, si por ejemplo luego, para estimar el área quemada, sólo se cuenta con reportes de fuego por provincia o división administrativa, sin referencia al tipo de vegetación quemado.

Excepto cuando haya certeza de que para un tipo de vegetación los fuegos resultan poco importantes, el segundo paso consistiría en determinar la biomasa presente. Por ejemplo, esto podría obviarse para casos como los desiertos cálidos o fríos, en los que la probabilidad de incendio es muy baja. En este segundo paso ya se refleja el proceso iterativo mencionado más arriba: dependiendo de lo que se decida acerca de la asignación de factores de emisión y factores de combustión (FE y FC, ver Figura 2), puede tener sentido, o no, estimar separadamente la biomasa para cada una de las formas de vida (ej. árboles y arbustos). Algo

similar puede decirse acerca de la inclusión de necromasa (hojarasca y mantillo, o *litter* y *duff*), que puede representar un alto volumen de material combustible y para la que podría ser necesario usar factores diferentes debido a su composición y a las condiciones en que se quema.

La bibliografía indica que la proporción de la biomasa presente que se quema en cada incendio, FC, es un dato casi constante si se analizan por separado dos fracciones de la biomasa total: la leñosa (madera) y la herbácea (predominantemente hojas). Una revisión de nueve estudios diferentes mostró que **normalmente se quema prácticamente todo el “combustible fino” (hojas y hojarasca, FC: 0,9-1,0), mientras que el “combustible grueso” se consume mucho menos (material leñoso, FC: 0,2-0,3)** (Tabla 3 en Ito y Penner 2004). Esta información es la más confiable y general que encontramos para cumplir con el tercer paso. De confirmarse, indicaría que resulta más adecuado separar la biomasa total en esas dos fracciones, y que no habría ventajas en hacerlo para distintas formas de vida. Este enfoque podrá mejorarse en la medida que se cuente con estudios de más detalle para tipos de vegetación particulares y característicos de cada país (véanse Battye y Battye 2002 y la discusión de la sección anterior en relación a la intensidad de fuego en cada tipo fisonómico de vegetación). Mientras tanto, sugerimos que en combinación con los rangos de valores de biomasa presentados en la Tabla 1 para varios tipos fisonómicos generalizados, los FC indicados más arriba pueden usarse para hacer estimaciones por defecto (*default*) de la biomasa quemada por unidad de superficie afectada.

Tabla 1: Superficie ocupada en Sudamérica por distintos tipos de ecosistemas, y estimación de su biomasa potencialmente combustible en dos fracciones de diferente probabilidad de quemado.

(a) Estimación propia, basada en diversas fuentes.

| Tipo de Vegetación           | Biomasa Maxima (t/ha) <sup>a</sup> |        | Biomasa Mínima (t/ha) <sup>a</sup> |        | Area Quemada GBA 2000 (km <sup>2</sup> ) | Area Total                 | Area Quem.  |
|------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|--|----------------------------|-------------|
|                              | herbácea                           | leñosa | herbácea                           | leñosa |  | DiBella <i>et al.</i> 2006 | % anual     |
| DiBella <i>et al.</i> (2006) |                                    |        |                                    |        |  |                            |             |
| Estepa Graminosa             | 3                                  | 1      | 2                                  | 0,5    | 2.078                                    | 812.772                    | 0,26        |
| Bosque Temp. Húm.            | 4                                  | 250    | 4                                  | 150    | 48                                       | 344.752                    | 0,01        |
| Bosq Trop/Subt. Seco         | 3                                  | 150    | 3                                  | 100    | 14.226                                   | 2.126.435                  | 0,67        |
| Bosq Trop/Subt. Hum.         | 4                                  | 200    | 4                                  | 50     | 1.676                                    | 1.000.252                  | 0,17        |
| Bosq Templado Seco           | 3                                  | 200    | 3                                  | 40     | 16.651                                   | 358.241                    | 4,65        |
| Estepa Arbustiva             | 2                                  | 20     | 2                                  | 10     | 12.210                                   | 896.926                    | 1,36        |
| Pradera                      | 10                                 | 0      | 8                                  | 0      | 3.580                                    | 753.703                    | 0,48        |
| Selva                        | 5                                  | 400    | 10                                 | 200    | 8.265                                    | 3.878.808                  | 0,21        |
| Sabana                       | 3                                  | 50     | 3                                  | 20     | 11.859                                   | 2.550.187                  | 0,47        |
| Humedal                      | 50                                 | 0      | 30                                 | 0      | 293                                      | 143.655                    | 0,20        |
| Desiertos                    | 1                                  | 1      | 1                                  | 1      | 242                                      | 69.936                     | 0,35        |
| <b>TOTALES</b>               |                                    |        |                                    |        | <b>71.127</b>                            | <b>12.935.667</b>          | <b>0,55</b> |

La importancia de cada uno de estos tipos de vegetación como fuente no está dada solamente por su biomasa y el área que ocupa, sino por la combinación de estos dos factores con la frecuencia de fuego. Por ejemplo, sistemas de relativamente baja biomasa como las sabanas y otros bosques secos abiertos presentan fuegos frecuentes de superficie que resulten en emisiones agregadas importantes (véase Tabla 2 más adelante). Por otro lado, pese a que los fuegos no son comunes en las selvas y otros bosques húmedos (al menos espontáneamente), estos tipos de vegetación pueden representar emisiones importantes debido a su altísima

biomasa. Para distintos países, otro factor de peso que puede decidir el esfuerzo que se dedicará a conseguir datos de más detalle será el área ocupada por cada tipo de vegetación.

El cuarto paso consiste en seleccionar factores de emisión ( $FE_{DF}$ ) que se consideren representativos para los distintos tipos de material combustible. Como antes, la disponibilidad de esta información puede sugerir la necesidad de subdividir las categorías de biomasa elegidas o, quizá más frecuentemente, de unir las. Por el momento basándonos en las pocas mediciones de  $FE_{DF}$  disponibles (e.g. Gullet y Touati 2003a, 2003b; Prange *et al.* 2003; Lemieux *et al.* 2004) y en datos sobre la composición química de distintas fracciones, pareciera razonable esperar mayores emisiones de de PCDD/PCDF por unidad de biomasa para el material herbáceo que para el leñoso, (quizá) especialmente si el primero está representado por gramíneas.

#### 4.4 Estimación del área quemada: Herramientas y fuentes de información

El quinto y último paso requerido para estimar las emisiones anuales a partir de cada tipo de vegetación consiste en la cuantificación del área quemada. La mayoría de los países, incluidos los sudamericanos, cuentan con agencias entre cuyas funciones están la de realizar un seguimiento y llevar registros de los fuegos (al menos para los ecosistemas boscosos, sean naturales o implantados). Estas agencias en algunos casos recogen información valiosa que va más allá del registro de la superficie afectada, y podría usarse para estimar la frecuencia de ocurrencia de fuegos por tipo de vegetación — e incluso factores de combustión, si se registrara la severidad de los incendios. Sin embargo, la experiencia parece indicar que en otros casos la calidad de esa información no es la deseable (véase Mouillot y Field 2005).

Una herramienta adecuada a este propósito que en cierto modo escapa al compromiso entre costos y detalle mencionado más arriba es la “percepción remota”, definida como la observación a distancia mediante el uso de sensores montados sobre plataformas satelitales. Estos equipos son capaces de ofrecer simultáneamente alta confiabilidad y muy buena resolución espacial y temporal (ver Tablas 2 y 3 en Battye y Battye 2002). Esta confiabilidad, naturalmente, es mayor para medir las variables para las que cada tipo de sensor fue diseñado y en consecuencia el tipo de órbita para el satélite elegida. Los datos producidos por los sensores meteorológicos VIRS (NASA) y AVHRR (NOAA), por ejemplo, fueron de los primeros en ser usados para detectar *hotspots*, o “anomalías térmicas” (e.j., Dwyer *et al.* 1999, Giglio *et al.* 2003), pero sólo permiten definir con certeza el número de fuegos, y a partir de ellos no es posible conocer el área de cada uno (Di Bella *et al.* 2006). Algo similar sucede, por ejemplo, con las estimaciones a través del sensor ATSR de la Agencia Espacial Europea (ESA). Hay un dato, sin embargo, que determina que este tipo de registros tenga alto valor comparativo. Éste es que, como el tamaño de cada uno de estos *hotspots* es relativamente poco variable entre años, la actividad dentro de una región está correlacionada con el número de fuegos (Mouillot y Field 2005). Para un país del tamaño de la Argentina, por ejemplo, el número de fuegos detectados es del orden de  $10^3$ - $10^4$  por año, mientras que para Brasil la cifra es del orden de  $10^4$ - $10^5$  por año.

La dificultad para estimar el área de cada fuego se debe, en parte, a la relativamente baja resolución de los sensores (*pixels* de alrededor de  $1 \text{ km}^2$ ), que por lo tanto no permiten distinguir un fuego pequeño de alta temperatura de uno que cubre un área grande pero tiene temperatura más baja. Como existen compromisos entre la resolución espacial y temporal, mejoras en la primera (de más detalle que una hectárea en los satélites de las series LANDSAT y SPOT diseñados en vista al relevamiento de recursos naturales) sólo pudieron

lograrse a expensas de una baja frecuencia de pasaje, de alrededor de 2-3 semanas y por lo tanto insuficiente para evaluar la dinámica (diaria y a veces horaria) de los fuegos de vegetación. Los satélites geoestacionarios, que permiten el seguimiento continuo de un área particular, tienen una resolución espacial aún peor (ej. GOES, decenas de km<sup>2</sup>).

Como producto de estas tecnologías, está disponible para su uso inmediato una base de datos del área mundial quemada en el año 2000 denominada GBA2000 Initiative (Grégoire *et al.* 2003, Tansey *et al.* 2005). A partir del sitio del European Joint Research Centre (TEM: monitoreo de ecosistemas terrestres, asociado con UNEP: <http://www-gvm.jrc.it/tem/>) puede obtenerse información resumida en grillas de diferente resolución temporal y espacial que permiten construir estadísticas como las que se muestran en la Tabla 2 (construida en base a una grilla de 1° latitud por 1° longitud). Naturalmente, estos datos son limitados en cuanto a la definición de las categorías de vegetación-cobertura, que son pocas, y además estáticos debido a que responden a un solo ejercicio que no está planeado repetir. Sin embargo, esta información espacialmente explícita de alta calidad está disponible sin la necesidad de ayuda de expertos en geo-referenciado o procesamiento de imágenes, sólo contando con técnicos con conocimientos básicos de GIS (sistemas de información geográfica). Además, como veremos, estos datos pueden mejorarse combinándolos con información propia, de un detalle equivalente, sobre tipos de vegetación, o bien con la del proyecto de mapeo de cobertura terrestre (GLC2000, o en el futuro GLC2005; ver sitio web de TEM)

Tabla 2: Superficie quemada en km<sup>2</sup>  
- [http://www-gvm.jrc.it/fire/gba2000/gba2000\\_statistics.htm](http://www-gvm.jrc.it/fire/gba2000/gba2000_statistics.htm)

|              | Bosques de Hoja Ancha | Pastizales y Cultivos | Bqs. Mixtos y de Coníferas | Arbustales-Bqe Xérico |
|--------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Argentina    | 1.063                 | 7.146                 | 164                        | 47.113                |
| Bolivia      | 2.462                 | 3.005                 | 37                         | 4.616                 |
| Brasil       | 829                   | 5.258                 | 17                         | 12.125                |
| Chile        | 9                     | 372                   | 0                          | 2.103                 |
| Colombia     | 42                    | 8.015                 | 6                          | 1.629                 |
| Ecuador      | 1                     | 69                    | 0                          | 98                    |
| Paraguay     | 50                    | 1.018                 | 0                          | 0                     |
| Peru         | 78                    | 3.127                 | 38                         | 3.133                 |
| Uruguay      | 0                     | 38                    | 0                          | 46                    |
| Venezuela    | 115                   | 3.563                 | 5                          | 2.791                 |
| <b>TOTAL</b> | <b>4.650</b>          | <b>31.611</b>         | <b>267</b>                 | <b>73.654</b>         |

#### 4.5 Usando los 5 pasos: Estimación de la actividad y su variación temporal

Un ejercicio aplicando los 5 pasos mencionados nos permitió estimar un consumo anual por fuegos para el sub-continente sudamericano en conjunto. Para esto, se usaron:

- los valores de biomasa (máxima y mínima) de la Tabla 1,
- área quemada (en el año 2000) también de la Tabla 1,
- FC 0,93 para el material leñoso y 0,27 para el herbáceo (Ito y Penner 2004).

De este modo, se estimó un rango de biomasa quemada entre 140 y 300 Tg (teragramos, equivalentes a 10<sup>12</sup>g = millones de toneladas). Las características particulares del año 2000 sugieren que muy probablemente se haya tratado de un año con baja incidencia de fuegos

(circulación tipo La Niña, ver más abajo), a lo que quizá deba agregarse una subestimación del área quemada debida a la técnica remota usada, que se basó en detectar 'cicatrices' visibles (Grégoire *et al.* 2003). Usando datos para el período 1998-2001 en un modelo mucho más complejo (llamado CASA = Carnegie-Ames-Stanford-Approach) que incluye, por ejemplo, estimaciones de la productividad primaria a partir de sensores remotos y simulación de procesos bajo el suelo, van der Werf *et al.* (2003) estimaron una actividad anual para Sudamérica del orden de 1.000 Tg de biomasa.

Las diferencias entre estimaciones son grandes, y aunque en parte reflejan diferencias metodológicas, también tienen una base genuina. Los fuegos de vegetación, como fenómenos fuertemente influenciados por factores climáticos, presentan una variabilidad interanual con una dinámica propia (y diferente, por ejemplo, a la de las actividades económicas que influyen otro tipo de emisiones). Por un lado, a la escala regional o continental, para las regiones tropicales de Sudamérica se detecta con claridad una mayor área quemada bajo las condiciones de sequía asociadas con el calentamiento de las aguas superficiales en el Pacífico oriental (circulación tipo El Niño). Lo contrario sucede para los años con circulación tipo La Niña, que crean condiciones en general desfavorables para los fuegos en el continente. Por otro lado, a una escala más local, los fuegos pueden responder a otro tipo de controles (ej. Costas del Caribe, poco influenciadas por la dinámica de ENSO, la Oscilación del Sur), o a los mismos controles de un modo diferente (las Pampas, o los Andes Patagónicos; véase Kitzberter *et al.* 2001).

Además, superpuesto a la marcha de temperaturas y lluvias, la incidencia del fuego tiende a oscilar para un ecosistema dado debido a la dinámica intrínseca de la biomasa. La acumulación de combustible que ocurre a lo largo de varios años sin fuegos hace que la probabilidad de ignición aumente a lo largo del tiempo; por el contrario, luego de un año o una secuencia de años con fuegos intensos, quedará poco combustible que quemar durante los años subsiguientes. De un modo similar, una secuencia Niño/Niña particular puede provocar la acumulación de biomasa gracias a lluvias superiores al promedio, y luego facilitar su secado a través de la sequía, preparando el escenario para la ocurrencia de fuegos excepcionales. Un caso de este tipo ocurrió en México en 1998 (potenciado además por la ocurrencia de un huracán que al matar muchos árboles permitió que se acumulara más leña seca de lo usual), cuando sólo en tres meses se registraron más de 10.000 fuegos que afectaron casi medio millón de hectáreas (Cairns *et al.* 1999). Yendo a un caso menos extremo, DiBella *et al.* (2006) encontraron para Sudamérica que el número de fuegos entre dos años consecutivos podía variar por un factor promedio de 2,4. Al comparar ecosistemas o países particulares, sin embargo, ese factor podía ser mucho mayor (DiBella y Fernández, datos inéditos). Agencias como la NOAA norteamericana mantienen registros de la secuencia de años Niño/Niña que (véase, por ej.:

[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)),  
permitiendo poner en contexto e interpretar los datos de cada año.

En base a nuestro cálculo de actividad para el año 2000, y suponiendo un  $FE_{DF}$  de  $1 \mu\text{g EQT/t}$  (idéntico para toda la biomasa), la estimación de emisiones de PCDD/PCDF al aire para toda Sudamérica es de entre 140 y 300 g EQT/año la que, por lo explicado, quizá pueda ser 3 ó 4 veces mayor (i.e. 400 a 1.200 g EQT) en años de gran actividad. Nótese que, aunque por el momento no hay información suficientemente certera que lo justifique, el procedimiento descripto permitiría fácilmente aplicar un  $FE_{DF}$  diferente para hojas y madera.

## 4.6 Tecnologías emergentes y cómo capitalizarlas

Muchos de los problemas presentados por las primeras tecnologías de percepción remota han sido resueltos satisfactoriamente por el MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) una familia de sensores y satélites diseñados por la NASA para varios usos específicos, incluyendo la detección de fuegos (Justice *et al.* 1999). Como la primera parte del nombre MODIS lo indica, parte de la solución radicó en reducir la resolución espacial (en comparación a las de LANDSAT y SPOT) de modo de permitir una frecuencia más elevada de paso. El problema de la medición del área fue resuelto mediante la reducción del *pixel* mínimo a menos de 10 ha (0,1 km<sup>2</sup>) con la posibilidad de detectar fuegos de área mucho menor ("subpixel fires"). Esto se logró con la combinación de dos bandas térmicas (alrededor de los 4 y 11  $\mu\text{m}$ ) y "algoritmos contextuales" de procesamiento de los datos capaces de distinguir fuegos calientes (en los que predomina la fase de llama, *ca.* 1000°K) de fuegos más fríos, de rescoldo (humeantes, fase *smoldering*, *ca.* 600°K; Kaufman y Justice 1998). Como se explicó anteriormente, esta última distinción resultaría particularmente interesante para la evaluación de las emisiones de PCDD/PCDF.

Un tipo de sensores satelitales radicalmente diferente es el representado por aquellos que, como MOPITT y TOMS, efectúan mediciones directas de la concentración de gases producidos por el fuego (tal como monóxido de carbono, CO, y ozono troposférico, O<sub>3</sub>). MODIS y GOES también hacen estimaciones de la producción de partículas de humo (aerosoles), pero indirectamente, a través de su capacidad de atenuación de la radiación ("densidad óptica"). La estimación de las emisiones de PCDD/PCDF a través de estos datos resultaría posible si existiera una correlación entre ellas y la densidad de aerosoles, lo que lamentablemente no parece ser cierto (Meyer *et al.* 2004).

MODIS representa una nueva generación que, de repetir el ciclo de los sensores AVHRR-NOAA, producirá datos durante por lo menos la próxima década. Sin embargo, la disponibilidad y confiabilidad de estos datos será más potencial que real en la medida que no existan los recursos y capacidades para procesar e interpretar la mucha información que son capaces de brindar. Entendemos que los recursos humanos y tecnológicos de la mayoría de los países sudamericanos son suficientes para el tipo de trabajo necesario. Con información y entrenamiento adecuados, es dable imaginar que los datos disponibles públicamente (generados por NASA, ESA, etc.) podrían ser usados de modo rutinario para producir mejores inventarios. Apelando a fuentes del inanciamiento orientadas al *capacity building*, no es difícil imaginar que este tipo de entrenamiento pueda alcanzarse de modo relativamente rápido a través de cooperación internacional –dentro de la región y desde afuera de ella.

## 5 QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS “IMPACTADOS” Y “NO IMPACTADOS” (CLASES 3 Y 4)

### 5.1 Actividad

La estimación de emisiones a partir de la quema en situaciones de cultivo presenta una ventaja muy grande en comparación con la de los fuegos de vegetación, ya que para los cultivos se cuenta con estadísticas de producción. Obviamente, los que se queman no son los productos cosechados, pero a partir de esos datos es fácil estimar el volumen de residuos a través de una relación muy bien estudiada, conocida como “índice de cosecha” (IC, el cociente entre fracción cosechada del cultivo y su biomasa aérea total). Los residuos potencialmente quemables, también llamados “rastrosos”, constituyen la biomasa no cosechada que permanece sobre la superficie del suelo. Una vez conocido el volumen de residuos, para evaluar las emisiones es necesario averiguar: (a) qué proporción de los residuos efectivamente se quema, y (b) cuál es en cada caso el  $FE_{DF}$  más adecuado. Responder estas preguntas presenta mayores dificultades que estimar del volumen de material quemable.

En la Tabla 3 se presenta la lista de los 20 cultivos más importantes para Sudamérica, de los cuales el primero (la caña de azúcar) representa el 56% de la masa cosechada, y los 7 primeros el 87% (estadísticas para el año 2004 <http://faostat.fao.org>). En la tabla se han individualizado aquellos cultivos para los cuales el fuego podría ser una práctica común de disposición de los rastrosos, y se ha estimado su IC. En la columna siguiente, se ha calculado la biomasa (total aérea) como cociente entre la producción y el IC, y luego el peso de los residuos por diferencia entre la biomasa y lo producido (que se supone 100% cosechado). La fórmula a usar para hacer este cálculo en un solo paso es la siguiente:

$$\mathbf{Residuos = (Biomasa - Producción) = Producción (1/IC - 1)}$$

Para el caso especial del arroz, los residuos están representados por la cascarilla, cuya biomasa se estimó equivalente al 20% del peso del grano cosechado. El paso restante para estimar la actividad de esta fuente consiste en evaluar qué proporción de los residuos efectivamente se quema y con qué eficiencia (su factor de combustión FC). En este caso, los valores se tomaron de los datos presentados por Colombia en su NIP-IPCC, a los que se le han hecho algunas modificaciones propias, e incluido en la columna “Fuego (%)”.

Tabla 3: Emisiones de PCDD/PCDF a la atmósfera para los 20 cultivos de mayor producción en Sudamérica. Sólo se presenta información detallada para aquéllos en los que el fuego se usa como herramienta de manejo de los residuos. IC: índice de cosecha (ver texto); Fuego (%): probabilidad de combustión de los residuos, producto de la frecuencia de quema y el factor de combustión. (a) Basado en la proporción de cosecha manual en Brasil (75%) y suponiendo un FC del 80%. (b) Los residuos en este caso están representados por la cascarilla del grano.

| Cultivo                | Producción (t)     | IC   | Biomasa (t) | Residuos (t)           | % Fuego         | Actividad (t)      | FE <sub>DF</sub> | kg EQT / año |
|------------------------|--------------------|------|-------------|------------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------|
| Caña de azúcar         | 502.308.863        | 0,70 | 717.584.000 | 215.275.000            | 60 <sup>a</sup> | 129.165.000        | 5                | 0,646        |
| Soja – Soya            | 86.520.103         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Maíz                   | 65.576.240         | 0,42 | 155.763.000 | 90.187.000             | 10              | 9.019.000          | 1                | 0,009        |
| Alfalfa                | 47.815.162         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Mandioca               | 34.016.789         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Trigo                  | 24.017.168         | 0,42 | 56.644.000  | 32.627.000             | 20              | 6.525.000          | 1                | 0,007        |
| Arroz <sup>b</sup>     | 23.411.933         |      |             | 4.682.000 <sup>b</sup> | 80              | 3.746.000          | 30               | 0,112        |
| Naranjas               | 20.808.802         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Maíz forrajero         | 17.610.000         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Banana                 | 15.437.219         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Papa                   | 13.714.214         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Sorgo forrajero        | 11.241.667         |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Tomate                 | 6.499.690          |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Palmera de aceite      | 5.950.298          |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Plátano - pseudobanana | 5.909.273          |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Uvas                   | 5.901.100          |      |             |                        |                 |                    |                  |              |
| Sorgo granífero        | 5.470.151          | 0,51 | 10.726.000  | 5.256.000              | 10              | 526.000            | 1                | 0,001        |
| Algodón                | 4.718.376          | 0,55 | 8.579.000   | 3.861.000              | 90              | 3.475.000          | 5                | 0,017        |
| <b>TOTALES</b>         | <b>896.927.048</b> |      |             | <b>351.888.000</b>     |                 | <b>152.456.000</b> |                  | <b>0,792</b> |

## 5.2 Factores de emisión

Para decidir qué factores de emisión (FE<sub>DF</sub>) aplicar para estos importantes cultivos para los cuales la quema de residuos es tan común casi no existen datos publicados (véase Gullet y Touati 2003b; Lemieux *et al.* 2004). Siguiendo un razonamiento similar al indicado para las Clases 1 y 2, se propone que cada país comience evaluando cuáles son sus cultivos más importantes en los que se practica regularmente la quema. De este modo, podrá obviarse la búsqueda de información detallada para los demás cultivos, los que muy probablemente representen una fracción poco significativa de las emisiones totales. Para hacer esta distinción puede seguirse el procedimiento indicado en la sección anterior. En la Tabla 4 se presenta la estimación así realizada de los residuos producidos por país para los seis principales cultivos que se queman en la región. Estos números de ningún modo deben considerarse exactos, pero sirven para sugerir las situaciones para las que debería priorizarse la recolección de información.

Una vez que cada país haya identificado los cultivos con más impacto potencial en la actividad de esta fuente, queda por decidir qué factor (o factores) de emisión usar. Más allá de lo indicado en el *Toolkit* (UNEP 2005), se proponen consideraciones de dos tipos para mejorar el uso de la información existente y que podrían sugerir líneas de investigación futura. El primer grupo de consideraciones se refiere al tipo de material quemado (uso de agroquímicos), y el segundo a las condiciones de quema (residuos quemados en el campo vs. residuos del procesamiento industrial).

Por un lado, debería evaluarse cuáles de los cultivos quemados tienen alta probabilidad de contener precursores de formación de PCDD/DF (ej. residuos de pesticidas de estructura química afín) o catalizadores (ej.  $\text{Cu}^{2+}$ ). En el Apéndice 1 se presenta la lista de los agroquímicos clorados de uso más común en los cultivos que producen más residuos. Esta lista de ningún modo debe considerarse completa y, aunque lo fuera, debe hacerse notar que contiene información que puede desactualizarse muy rápidamente. Además de la estructura molecular de las sustancias activas correspondientes hay por lo menos dos aspectos a destacar de esa lista:

El primero de esos aspectos se refiere a la *cantidad* (dosis) aplicada de cada pesticida por hectárea o unidad de biomasa. Los cuatro cultivos más importantes para la región (caña de azúcar, maíz, trigo y arroz) pertenecen a la familia de las gramíneas (monocotiledóneas), y en términos de volumen el pesticida que más emplean es el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (“2,4-D”, el herbicida más usado en el mundo) para controlar las malezas “de hoja ancha”, es decir dicotiledóneas. No se ha encontrado información acerca del efecto de este producto sobre el factor de emisión. Su contenido de cloro es alto (32%); sin embargo, las dosis usadas son de menos de 1 kg/ha, que al aplicarse sobre 2-5 toneladas de biomasa / ha, de ningún modo pueden elevar la proporción de cloro del combustible más de unas 100 ppm (vs. el 1% posiblemente requerido para afectar  $\text{FE}_{\text{DF}}$ ; véase más arriba), aún suponiendo que todo el cloro aplicado permanece en los residuos en el momento de la quema. Si se suma el volumen total de plaguicidas clorados por país y se hace un cálculo similar se obtienen relaciones del mismo orden (ver última columna de la Tabla 4).

Tabla 4: Masa aproximada de residuos producida por principales cultivos con probabilidad de quemarse en Sudamérica. La metodología de cálculo es la usada para construir la Tabla 3, con factores ajustados para cada país y cultivo. (a) Los pesticidas se listan en orden decreciente de importancia, e incluyen la suma de herbicidas, insecticidas, fungicidas y bactericidas.

| País           | Residuos de Cosecha (t/año) |                   |                    |                   |                  |                   | Pesticidas Totales (t/año) |
|----------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
|                | Algodón                     | Arroz             | Caña Az.           | Maíz              | Sorgo gr.        | Trigo             |                            |
| Argentina      | 157.900                     | 955.000           | 12.018.300         | 14.067.700        | 2.025.800        | 20.096.100        | 47.493                     |
| Bolivia        | 39.900                      | 274.400           | 2.989.000          | 643.500           | 141.700          | 148.900           | 3.298                      |
| Brazil         | 1.867.000                   | 11.939.100        | 255.923.600        | 39.261.800        | 2.005.800        | 8.229.800         | 45.770                     |
| Chile          |                             | 107.500           |                    | 1.238.500         |                  | 2.652.300         | 10.509                     |
| Colombia       | 81.500                      | 2.399.500         | 23.102.600         | 1.367.800         | 267.700          | 50.400            | 30.586                     |
| Ecuador        | 700                         | 991.100           | 3.362.600          | 610.500           | 9.800            | 16.600            | 4.585                      |
| Paraguay       | 159.600                     | 112.600           | 2.264.800          | 1.050.400         | 39.500           | 986.900           | 8.155                      |
| Peru           | 57.900                      | 1.636.700         | 4.950.600          | 1.107.400         | 100              | 232.900           | 3.983                      |
| Uruguay        |                             | 1.137.600         | 113.000            | 209.100           | 65.400           | 735.100           | 2.677                      |
| Venezuela      | 11.400                      | 891.500           | 6.122.500          | 1.939.900         | 574.400          | 200               | 2.720                      |
| <b>TOTALES</b> | <b>2.375.900</b>            | <b>20.445.000</b> | <b>310.847.000</b> | <b>61.496.600</b> | <b>5.130.200</b> | <b>33.149.200</b> | <b>159.776</b>             |

El segundo aspecto relacionado con la lista de plaguicidas clorados del Apéndice 1 se refiere al *momento* de aplicación de esos productos. Como se dijo, el mayor volumen corresponde generalmente a los herbicidas. Sin embargo, típicamente, las malezas que éstos combaten constituyen un problema hacia el principio del ciclo de cultivo, y no hacia el final, es decir cuando se acerca el momento de quema (Molina Durán *et al.* 1999). Basándose en este razonamiento, se sugiere prestar especial atención a los productos más usados hacia el fin del ciclo. Un ejemplo sería el de insecticidas usados en algodón (para el que en el Apéndice 1 se listan más de 30 productos), y muy especialmente los herbicidas y otros productos identificados como “maduradores”, destinados justamente a ser aplicados inmediatamente antes de la cosecha. En el caso de la caña de azúcar, la aplicación de maduradores puede estar asociada con la cosecha mecánica, en cuyo caso la quema es menos probable, pero este tipo de información debe ser corroborada para cada país y, en lo posible, zona productora.

Por otro lado, deberían distinguirse los residuos que habitualmente se queman dispersos en el campo (ej. cereales, paja y “cogollo” de caña azúcar) de aquellos, producto del procesamiento industrial, que se recogen y luego se queman (ej. cascarilla de arroz, “bagazo” de caña; para detalles sobre este último cultivo, véanse Molina Durán *et al.* 1999 y CITMA 2003). En el caso de los residuos quemados en el campo, por tratarse esencialmente de quemas prescritas (baja humedad del aire, residuos secos, viento moderado), muy probablemente presenten las mejores condiciones de combustión que pueden obtenerse a cielo abierto. Para los residuos que se queman luego de la cosecha, en cambio, la probabilidad de que se los queme en pilas (de por sí poco aeradas y que además pueden estar húmedas) hace que, además de la presencia de organoclorados y catalizadores, deban evaluarse las condiciones de quema. Con esta información, podrá decidirse entre un factor de emisión mayor o menor sobre una base más firme combinando, como sugiere el *Toolkit*, estos datos de tipo de quema con el grado de impactado de la biomasa en base a la dosis y momento de aplicación de los agroquímicos considerados de riesgo.

Por último, para completar el ejemplo y calcular un valor aproximado para la región, en la Tabla 3 se han incluido los  $FE_{DF}$  que de acuerdo a las consideraciones anteriores parecieron adecuados. En base a todos los supuestos explicitados, para las Clases 3-4 se calculó una emisión por esta fuente de alrededor de 150 g EQT/año para Sudamérica, es decir similar al límite inferior del rango estimado más arriba para las Clases 1-2.

Habiéndose usado un  $FE_{DF}$  igual para las dos fuentes, queda claro que: (i) la actividad de las quemas agrícolas sería del mismo orden de magnitud que la de los fuegos de vegetación en los años en que éstos son menos activos, y (ii) que las emisiones para los cultivos es altamente dependiente del  $FE_{DF}$  asignado a la caña de azúcar, ya que su actividad representa el 90% de la suma de las actividades de los cultivos emisores principales. En comparación con los fuegos de vegetación, estas emisiones estarían menos sujetas a variaciones interanuales, ya que no es esperable que las prácticas agrícolas cambien tan rápidamente ni que la producción de los distintos cultivos en distintos países varíe al unísono.

Combinando lo encontrado para los fuegos de vegetación y la quema relacionada con los cultivos, la suma de emisiones al aire por combustión de biomasa a cielo abierto en Sudamérica (Categoría 6a del *Toolkit*) representaría entre 300 y 1.300 g EQT/año.

## 6 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta que las emisiones de PCDD/PCDF, como las de cualquier otra sustancia, resultan de la multiplicación de la suma de la actividad de cada una de las fuentes (t/año) por su respectivo factor de emisión (EQT/t), es igualmente importante contar con números confiables para ambos factores, y no es posible decidir *a priori* cuál de los dos analizar primero. Del análisis presentado se concluye, por un lado, que habría elementos que permiten postular diferentes factores de emisión dentro de los fuegos agrícolas, ya sea por su grado de impactado con agroquímicos o por las condiciones de quema (residuos quemados en el campo vs. pilas de procesamiento industrial). Por otro lado, se concluye que los datos existentes permitirían caracterizar la cantidad de biomasa quemada en fuegos de vegetación y por quema de cultivos de un modo más exacto que lo presentado en general hasta ahora en los inventarios.

Resumiendo lo encontrado para Sudamérica en cuanto a la actividad de estas dos fuentes, puede decirse que:

- Las emisiones de los fuegos de vegetación presentan una alta variabilidad interanual, independiente de las incertidumbres metodológicas, que es propia de los procesos de origen natural involucrados (tanto meteorológicos como ecológicos);
- La biomasa quemada anualmente en los cultivos, debida fundamentalmente a las prácticas relacionadas con la caña de azúcar, puede ser del mismo orden de magnitud que la de los fuegos de vegetación en años en los que éstos son escasos, y por lo tanto;
- Si los factores de emisión para los cultivos fueran suficientemente altos, sus emisiones podrían igualar e incluso superar a las de los fuegos de vegetación.

También se destaca que las herramientas de percepción remota y, especialmente, los datos espacialmente explícitos, frecuentes y repetibles que están generando, representan una “mina de oro” desde el punto de vista de la evaluación de la dinámica del uso del suelo, incluyendo la dinámica de fuegos (ver Apéndice 2). Se sugiere que la limitante para el uso más generalizado de estos datos no es técnica sino humana, y que los esfuerzos de entrenamiento que aprovechen los recursos humanos disponibles rendirán frutos muy rápidamente.

Si se contara con financiamiento para mejorar las estimaciones de actividad de fuegos a través de proyectos de investigación, se sugiere:

- ⇒ Intensificar los esfuerzos que permitan refinar las estimaciones de área quemada, el factor que todavía presenta más incertidumbre en términos de percepción remota (Boschetti *et al.* 2004). Un programa de investigación muy fructífero –que probablemente requiera más organización que recursos– sería relacionar la información remota con los datos de terreno (qué y cómo se quema en cada tipo de ecosistema) que toman las agencias encargadas de monitorear los fuegos en cada jurisdicción.
- ⇒ Relacionado con lo anterior, establecer trabajo en cooperación con los investigadores que procesan datos remotos, de modo de facilitar el desarrollo de algoritmos que permitan clasificar los fuegos en categorías útiles desde el punto de vista de sus emisiones (por ej., fuegos de llama vs. de rescoldo).
- ⇒ En cuanto a los cultivos, evaluar mejor la actividad para la caña de azúcar. Esto no sólo es importante para Sudamérica (que produce alrededor del 38% del total mundial), sino para

el planeta todo (en el que Brasil, India y China producen el 56% de ese total; FAO 2004). Se trata de un cultivo que produce un gran volumen de residuos y para el que más de la mitad de la superficie se cosecha a mano, por lo que la mayor parte de los agricultores usan el fuego para facilitar el trabajo.

El ajuste de los factores de emisión, en cambio, parece difícil sin nuevas mediciones en condiciones que representen adecuadamente a estos fuegos. Si se contara con financiamiento para tal tipo de trabajo experimental, se sugiere:

- ⇒ Para los fuegos de vegetación, medir separadamente las emisiones a partir de biomasa leñosa (madera) y biomasa herbácea (de hojas; si es posible separando árboles de pastos). Estos componentes no sólo se encienden en fuegos de distintas temperatura (un factor relativamente fácil de controlar experimentalmente), sino que se consumen en proporciones muy distintas y relativamente bien conocidas.
- ⇒ Si fuera posible trabajar directamente en el campo, comparar las condiciones de quema en Selvas con las de Sabanas/Bosques xéricos, ya que estos dos tipos de vegetación son los que más contribuyen a la actividad total en la región.
- ⇒ Para los cultivos agrícolas sujetos a manejo con fuego, medir separadamente las emisiones a partir de biomasa con el grado de “impactado” típico de cada cultivo (ej. biocidas y reguladores de crecimiento de uso generalizado y aplicados en las dosis y momentos usuales). Como se mostró, los volúmenes aplicados no serían suficientes para elevar contenidos de cloro de los residuos a niveles significativos, por lo que deberá prestarse atención a las dosis y persistencia de organoclorados, organofosforados, y catalizadores (Fe, Cu, Cr).
- ⇒ (No necesariamente experimental) Una hipótesis plausible tanto para fuegos de vegetación como los agrícolas es que los  $FE_{DF}$  podrían verse influenciados por la frecuencia con que un área reciba vientos portadores de aerosoles marinos. Para los ecosistemas ubicados hasta 200 km de la costa (dependiendo de su ubicación con respecto a los vientos predominantes), la deposición atmosférica puede representar entre 10-40 kg Cl ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Biggs 2004), lo que elevaría el contenido tisular en un 1% para ecosistemas con 1-4 t de biomasa ha<sup>-1</sup>. Tres observaciones consistentes con esta hipótesis: los mayores factores de emisión obtenidos para material similar de un área costera en Oregon vs. un área más continental en Carolina del Norte (Gullet y Touati 2003a; ver mapa deposición en <http://nadp.sws.uiuc.edu>); los altos factores de emisión obtenidos para caña de azúcar cultivada en las islas de Hawai (Gullet, inédito); y la similitud observada en Australia para las emisiones de una misma localidad, independientemente del tipo de biomasa quemada (Meyer *et al.* 2004).

## 7 BIBLIOGRAFÍA CITADA

Azcón-Bieto J, Talón M (2000) Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill/Interamericana.

Battye W, Battye R (2002) Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire. EPA 68-D-98-046. 82 pp.

Biggs AJW (2004) Rainfall salt loads in Southern Queensland, Australia. *13<sup>th</sup> International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane, Australia.* Paper 680, 4 pp.

Bond WJ, Woodward FI, Midgley GF (2005) The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, **165**: 525–538.

Boschetti L, Eva HD, Brivio PA, Grégoire JM (2004) Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products. *Geophysical Research Letters*, **31**: L21501.

Broad IJ, Hammer GL (2004) Genotype and environmental effects on harvest index of sorghum. *Proceedings of the Australian Agronomy Conference.*

Cairns MA, Hao WM, Alvarado E, Haggerty PK (1999) Carbon emissions from spring 1998 fires in tropical Mexico. In Proceedings of the Joint Fire Conference and Workshop, *Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a*

*New Age in Fire Management.* Vol. I. pp. 242-248. Boise, Idaho.

Carmona-Moreno C., Belward A, Malingreau, J-P, Garcia-Alegre M., Hartley A, Antonovskiy M, Buchshtaber V, Pivovarov V (2005) Characterizing inter-annual variations in global fire calendar using data from earth observing satellites. *Global Change Biology*, **11** : 1537-1555.

Chandrajith-DeSilva AL, Janendra WA, DeCosta M (2004) Varietal variation of growth, physiology and yield of sugarcane in Sri Lanka under two contrasting water regimes. *Fourth International Crop Science Congress.* Brisbane, Queensland, Australia.

CITMA – Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (2003) Inventario Nacional de Fuentes y Liberaciones de Dioxinas y Furanos para Cuba, año 2000. La Habana.

Clinton BD, Vose JM, Swank WT, Berg EC, Loftis D (1998) Fuel consumption and fire characteristics during understory burning in a mixed white pine-hardwood stand in the Southern Appalachians. *Research Paper SRS-12, U. S. Department of Agriculture, Forest Service.*

Dentoni MC (2003) Meteorología y manejo del fuego. En Kunst C, Bravo S, Panigatti JL (eds.) *Fuego en los Ecosistemas Argentinos.* INTA, Santiago del Estero. Pp 27-38,

DiBella CM, Jobbágy EG, Paruelo JM, Pinnock S (2006) Environmental and land use controls of fire density in South America. *Global Ecology & Biogeography*, vol. 15, en prensa.

- Dwyer E, Pereira JMC, Grégoire J-M, DaCamara CC (1993) Characterization of the spatio-temporal patterns of global fire activity using satellite imagery for the period April 1992 to March 1993. *Journal of Biogeography*, **27**: 57–69.
- Eva HD, Belward AS, De Miranda EE, Di Bella CM, Gond V, Huber O, Ones SJ, Sgrenzaroli M, Fritz S (2004) A land cover map of South America. *Global Change Biology*, **10**: 731–744.
- Eva HD, Lambin EF (2000) Fires and land-cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale. *Journal of Biogeography*, **27**: 765–776.
- Foulds W (1993) Nutrient concentrations of foliage and soil in South-western Australia. *New Phytologist*, **125**: 529-546.
- Frandsen WH (1987) The influence of moisture and mineral soil on the combustion limits of smoldering forest duff. *Canadian Journal of Forest Research*, **17**: 1540–1544.
- Freckleton RP (2004) The problems of prediction and scale in applied ecology: the example of fire as a management tool. *Journal of Applied Ecology*, **41**: 599-603.
- Giglio L, Kendall JD (2003) A multi-year active fire dataset for the tropics derived from the TRMM VIRS. *International Journal of Remote Sensing*, **24**: 4505–4525.
- Grégoire J-M, Tansey K, Silva JMN (2003) The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **24**: 1369–1379.
- Gullet BK, Touati A (2003a) PCDD/F emissions from forest fire simulations. *Atmospheric Environment*, **37**: 803-813.
- Gullet BK, Touati A (2003b) PCDD/F emissions from burning wheat and rice field residue. *Atmospheric Environment* **37**, 4893–4899
- Ito A, Penner JE (2004) Global estimates of biomass burning emissions based on satellite imagery for the year 2000. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **109** D14 S05.
- Kaufman Y, Justice C (1998) MODIS Fire Products: Algorithm Technical Background Document (Version 2.2; EOS ID# 2741).
- Kitzberger T, Swetnam TW, Veblen TT (2001). Inter-hemispheric synchrony of forest fires and the El Niño-Southern Oscillation. *Global Ecology & Biogeography*, **10**:315.
- Kunst C, Rodríguez N (2003) Comportamiento del fuego: una introducción. En Kunst C, Bravo, Panigatti JL (eds.) *Fuego en los Ecosistemas Argentinos*. INTA, Santiago del Estero. Pp 189-197.
- Lavric ED, Konnov AA, De Ruyck J (2004) Dioxin levels in wood combustion – a review. *Biomass and Bioenergy*, **26**: 115 –145.
- Lemieux PM, Lutes CC, Santoianni DA (2004) Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review. *Progress in Energy and Combustion Science*, **30**: 1-32.

- Lobert JM, Keene WC, Logan JA, Yevich R (1999) Global chlorine emissions from biomass burning: Reactive Chlorine Emissions Inventory. *Journal of Geophysical Research*, **104**: 8373-8389.
- Long, G (1968) Conceptions générales sur la cartographie biogéographique intégrée de la végétation et de son écologie. CNRS doc. 46. Centre d'études phytosociologiques et écologiques. Montpellier, France.
- McMahon CK (1983) Characteristics of forest fuels, fires and emissions. *En Proceedings 76th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association*. Atlanta, Georgia. 24 pp.
- Medina AA, Dussart EG, Estelrich HD, Morici EA. 2000. Reconstrucción de la historia de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia* (Burk.) de Arizona, sur de la Provincia de San Luis. *Multequina*, **9**: 91-98.
- Meyer C, Beer T, Muller J, Gillett R, Weeks I, Powell J, Tolhurst K, McCaw L, Cook G, Marney D, Symons R (2004) *Dioxin emissions from bushfires in Australia*. National Dioxins Program.
- Mouillot F, Field CB (2005) Fire history and the global carbon budget: a 1° x 1° fire history reconstruction for the 20th century. *Global Change Biology*, **11**: 398–420.
- Molina Durán EJ, Molina Castro CH, Molina Durán CH, Molina Durán JP. 1999. Estudio de caso sobre el manejo convencional y agroecológico del cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia // [www.cipav.org.co](http://www.cipav.org.co)
- NWCG – National Wildfire Coordination Group (1996) *Glossary of Wildland Fire Terminology*. NFES #1832.
- Oosterheld M, Loreti J, Semmartin M, Paruelo JM (1999). Grazing, fire and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. En: *Ecosystems of Disturbed Ground*, (Ed. L.R. Walker), Elsevier, New York, pp. 287-306.
- Prange JA, Gaus C, Weber R, Papke O, Muller JF (2003) Assessing Forest Fire as a Potential PCDD/F Source in Queensland, Australia. *Environmental Science and Technology*, **37**: 4325-4329.
- Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS (1997) From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences – U.S.A.*, **94**: 13730-13734.
- Riggan PJ, Hoffman JW (2003) FireMapper: a thermal-imaging radiometer for wildfire research and operations. *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, **4**: 1843-1854. Big Sky, Montana, paper no.1522.
- Seiler W, Crutzen PJ (1980) Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change*, **2**: 207-247.
- Tansey K, Grégoire J-M., Binaghi E, *et al.* (2005) A global inventory of burned areas at 1km resolution for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION data. *Climatic Change*, **67**: 345-377.

UNEP - United Nations Environment Programme (2005) Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases; 2<sup>nd</sup> ed. UNEP Chemicals, Geneva.

van der Werf GR, Randerson JT, Collatz GJ, Giglio L (2003) Carbon emissions from fires in tropical and subtropical ecosystems. *Global Change Biology*, **9**: 547-562.

## 8 APÉNDICE 1

Biocidas de uso más generalizado en Sudamérica que contienen cloro en su molécula activa. Los cultivos listados son los 5 mayores potenciales de generadores de residuos usualmente quemados (ver Tabla 3 en el texto principal). Preparado por el Ing. Agr. Santiago Verón [veron@ifeva.edu.ar] en base a distintas fuentes, incluyendo contactos con investigadores y extensionistas de la región.

(a) Herbicidas y reguladores de crecimiento aplicados inmediatamente antes de la cosecha.

| Cultivo        | Productos Clorados Más Usados |                          |                   |                |
|----------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
|                | Herbicidas                    | Maduradores <sup>a</sup> | Insecticidas      | Fungicidas     |
| <b>Caña</b>    | 2,4-D                         | Ariloxifenoxipropionico  | Bifrentin         | Triadimefon    |
|                | Acetoclor                     | Cicloexadiona            | Endosulfan        | Triadimefol    |
|                | Alaclor                       | Ethephon                 | Fipronil          |                |
|                | Atrazina                      | Fenoxaprop P etil        | Imidacloprid      |                |
|                | Azafenidina                   | Paraquat                 | Tiametoxan        |                |
|                | Clomazone                     | Quizalofop P-Ethyl       | Triclorform       |                |
|                | Dicamba                       |                          |                   |                |
|                | Diuron                        |                          |                   |                |
|                | Paraquat                      |                          |                   |                |
|                | Hexazinona                    |                          |                   |                |
|                | MCPA                          |                          |                   |                |
|                | Oxadiazona                    |                          |                   |                |
|                | Paraquat                      |                          |                   |                |
|                | Picloram                      |                          |                   |                |
|                | Simazina                      |                          |                   |                |
| S-metolacoloro |                               |                          |                   |                |
| <b>Maíz</b>    | 2,4-D                         |                          | Beta ciflutrina   | Captan         |
|                | Acetoclor                     |                          | Beta Cipermetrina | Cyproconazole  |
|                | Alaclor                       |                          | Bifrentina        | Epoconazole    |
|                | Atrazina                      |                          | Cipermetrina      | Propiconazol   |
|                | Dicamba                       |                          | Clorfluazurom     |                |
|                | Diclofop metil                |                          | Clorpirifos       |                |
|                | Dicloropropionico             |                          | Clotianidina      |                |
|                | Diurion                       |                          | Endosulfan        |                |
|                | MCPA                          |                          | Esfenvalerato     |                |
|                | Metacloro                     |                          | Fipronil          |                |
|                | Paraquat                      |                          | Gamma Cialotrina  |                |
|                | Picloram                      |                          | Imidacloprid      |                |
|                | S-metacoloro                  |                          | Lambda Cialotrina |                |
|                |                               |                          | Lufenuron         |                |
|                |                               |                          | Permetrina        |                |
|                |                               | Profenofos               |                   |                |
|                |                               | Teflutrina               |                   |                |
|                |                               | Tiametoxan               |                   |                |
|                |                               | Tricloroform             |                   |                |
| <b>Trigo</b>   | 2,4-D                         | Cloromecuato             | Beta ciflutrina   | Captan         |
|                | Cicloexadiona                 | Ethephon                 | Bifrentina        | Clorotalonil   |
|                | Clodinafop                    |                          | Ciflutrina        | Cyproconazole  |
|                | Clopiralid                    |                          | Cipermetrina      | Difenoconazole |
|                |                               |                          |                   |                |

| Cultivo        | Herbicidas  | Productos Clorados Más Usados |   |  |
|----------------|---|-------------------------------|---|--|
|                |   | Maduradores <sup>a</sup>      | Insecticidas  | Fungicidas   |
|                | Cloquintocet<br>Clorimuron etil<br>Dicamba<br>Diclofop metil<br>Diclofop metil<br>Diurom<br>Fluoroxipir<br>Haloxifop<br>MCPA<br>Metsulfuron<br>Paraquat<br>Paraquat<br>Picloram<br>Picloram<br>Quizalofop<br>Triasulfuron                 |                               | Clorpirifós<br>Endosulfan<br>Esfenvalerato<br>Fipronil<br>Gamma Cialotrina<br>Imidacloprid<br>Lambda Cialotrina<br>Lufenuron<br>Permetrina<br>Profenofos<br>Teflutrina<br>Tiametoxan<br>Tricloroform  | Epoxiconazole<br>Fenbuconazole<br>Fluquinconazole<br>Metconazole<br>PCNB<br>Procloraz<br>Propiconazol<br>Tebuconazole<br>Trialdimenol<br>Triticonazole       |
| <b>Arroz</b>   | 2,4-D<br>Butaclor<br>Clomazone,<br>Clorimuron<br>Dicloropropionanilida<br>Fenoxaprop-etil<br>MCPA<br>Metsulfuron<br>Oxadiargil<br>Oxadiazon<br>Paraquat<br>Picloram<br>Pretilaclor<br>Propanil<br>Quinclorac<br>Tiobencarb                | Paraquat                      | Beta ciflutrina<br>Bifentrina<br>Ciflutrina<br>Cipermetrina<br>Esfenvalerato<br>Fipronil<br>Imidacloprid<br>Permetrina<br>Tiametoxan<br>Triclorfon<br>Tricloroform  | Bromuconazole<br>Captan<br>Carpropamid<br>Clorotalonil<br>Cyproconazole<br>Difenoconazole<br>Epoxiconazole<br>Iprodione<br>PCNB<br>Procloraz<br>Propiconazol |
| <b>Algodón</b> | Acetoclor<br>Alaclor<br>Ariloxifenoxipropionico<br>Cicloexadiona<br>Clomazone<br>Dicloropiridino<br>Diuron<br>Fenoxaprop P etil<br>Flurocloridona<br>Metolaclor<br>MSMA<br>Oxifluoren<br>Paraquat<br>Quizalofop etil<br>Quizalofop P-etil | Cloromecuato<br>Diuron        | Alfa Cipermetrina<br>Beta ciflutrina<br>Beta Cipermetrina<br>Bifrentina<br>Ciflutrina<br>Cipermetrina<br>Clofentezina<br>Clorfenapir<br>Clorfluazurom<br>Clorpirifos<br>Clotianidina<br>Dicofol<br>Diflubenzuron<br>Endosulfan<br>Esfenvalerato<br>Fenvalerato<br>Fipronil<br>Flufenoxuron<br>Fluvalinato | Captan<br>Difenoconazole<br>Oxicloruro de cobre<br>PCNB<br>Piraclostrobina<br>Propiconazol<br>Tetraconazole<br>Triadimefon<br>Trialdimenol                   |

| Cultivo | Herbicidas | Productos Clorados Más Usados<br>Maduradores <sup>a</sup> | Insecticidas  | Fungicidas |
|---------|------------|---|---|------------|
|         |            |   | Fosmetion<br>Gamma Cialotrina<br>Imidacloprid<br>Indoxacarb<br>Lambda Cialotrina<br>Lufenuron<br>Novaluron<br>Permetrina<br>Profenofos<br>Protiofos<br>Teflubenzuron<br>Tetradifona<br>Tiacloprid<br>Tiametoxan<br>Tricloroform<br>Triflumuron<br>Zeta Cipermetrina |            |

## 9 APÉNDICE 2

Algunos sitios sugeridos en la *world-wide web* relacionados con el relevamiento de recursos naturales y el fuego. La lista no pretende ser exhaustiva sino sólo dar algunos ejemplos. Se advierte que estas direcciones cambian y desactualizan rápidamente, ante lo que se sugiere ingresarlas simplifícadamente (ej. [www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar) en lugar de [www.conae.gov.ar/emergencias...](http://www.conae.gov.ar/emergencias...)) y hacer búsquedas usando palabras clave.

- Global Burnt Area 2000 - European Joint Research Centre: <http://www-gvm.jrc.it/tem/> ver también Land Cover Monitoring
- Global Land Cover Facility - Univ. Maryland: <http://glcf.umiacs.umd.edu>
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales – Argentina:
- <http://www.conae.gov.ar/emergencias/emergencias.html>
- Fuegos Vegetación Sudamérica - INPE Brasil: [www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/](http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad – México [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos\\_calor/doctos/puntos\\_calor.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html)
- Red Latinoamericana de Teledetección e Incendios Forestales:
- <http://mob.conae.gov.ar/redlatif/>
- Plan Nacional de Manejo del Fuego – Argentina: <http://www.medioambiente.gov.ar/pnmf>
- Global Fire Monitoring Center - U.N. International Strategy for Disaster Reduction
- <http://www.fire.uni-freiburg.de/>
- Global Land Cover Characterization - U.S. Geological Service:
- <http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/>
- Estadísticas Agrícolas y de Uso de la Tierra – FAO: <http://faostat.fao.org/>
- Global Change Master Directory – NASA: <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/>
- MODIS Active Fire Mapping Program: <http://firemapper.sc.egov.usda.gov/>
- Años El Niño / La Niña – NOAA: [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- FIRENET - International Fire Information Network: [www.iawfonline.org/firenet.shtml](http://www.iawfonline.org/firenet.shtml)
- CURSOS Area Recursos Naturales Escuela para Graduados, Agronomía UBA: <http://www.agro.uba.ar/epg/cursos/curarea/8.htm>