

Emisión de dioxinas y furanos (PCDD/PCDF) en Colombia: evaluación y diagnóstico

Dioxins and furans emissions in Colombia: assessment and diagnosis

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE

Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería. Docente Asistente de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: cagarciau@udistrital.edu.co

JUAN CARLOS GARCÍA UBAQUE

Médico, magister en Salud Pública, Doctor en Salud Pública. Investigador del Grupo Salud Trabajo de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contacto: jcgarciau@unal.edu.co

MARTHA LUCÍA VACA BOHÓRQUEZ

Psicóloga, Magister en Administración y Negocios. Consultora e Investigadora de la Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Contacto: ml.vaca68@uniandes.edu.co

Fecha de recepción: 30 de Julio de 2012

Clasificación del artículo: Revisión

Fecha de aceptación: 1 de Octubre de 2012

Grupo de Investigación: GIIUD

Palabras clave: *Control de la contaminación atmosférica, Residuos industriales, Cinética química.*

Key words: *Air pollution, Industrial pollution, Sustainable development.*

RESUMEN

Se presentan la proyección y el diagnóstico sobre el estado de emisiones de dioxinas y furanos en Colombia para el año 2010, a partir de la revisión y actualización de los resultados que arrojó el primer inventario nacional de fuentes y vectores de liberación de dioxinas y furanos 2002. Este primer inventario se desarrolló fundamentado en la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA en el “Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos -Toolkit-” [1]. En él se identificaron las fuentes generadoras de dioxinas y furanos del país de acuerdo con las categorías citadas en el material

guía y se cuantificaron sus liberaciones a partir de la recopilación de información para cada uno de los procesos y utilizando factores de emisión por defecto propuestos en el Toolkit. Con base en indicadores actualizados para cada una de las categorías, se encontró que el total de emisiones del país es de 945,50 g EQT/a (gramo de equivalente tóxico al año) y las principales fuentes son: la combustión no controlada con el 55,12% del total y la incineración de desechos con el 15,75%. Los principales vectores de emisión son el aire con el 60,67% y los residuos con el 30,32%. El índice de emisión por habitante en Colombia (21,02 g EQT/a) es relativamente bajo comparado con países con niveles similares de desarrollo industrial.

ABSTRACT

This study presents the screening and diagnosis of Colombian inventory emissions of Dioxins and Furans for 2010. Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases methodology was used. PCDD/PCDF emission sources were identified for every category in

Toolkit from information obtained of processes and emission factors. Total emissions for Colombia were 945, 50g *EQT/a* and the most important categories were uncontrolled combustion processes (55, 12%) and waste incineration (15, 75%). Principal vectors were air (60, 67%) and residues (30, 32%). Emission rate per capita in Colombia is 21, 02 g *EQT/a*.

* * *

1. INTRODUCCIÓN

Las Dioxinas y Furanos (PCDD / PCDF) son dos familias de compuestos que agrupan un total de 5,020 variaciones pertenecientes a la llamada docena sucia de Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), reconocidos en el convenio de Estocolmo [2]. Están conformados por dos anillos bencénicos con sustituciones de cloro y bromo unidos por uno o dos puentes de oxígeno (figura 1). Se encuentran como productos subsidiarios involuntarios de muchos procesos. Los PCDD/PCDF son extremadamente estables, persistentes y bio-acumulables en el medio ambiente e incluso se pueden llegar a encontrar en sitios alejados del lugar de formación bien sea en el aire, suelo, agua, cadena de alimentos de animales y seres humanos y algunos residuos. Su movilidad aire-agua-suelo-agua puede ser posible y este tipo de movilidad constituye un gran riesgo para los seres humanos.

Como parte del convenio de Estocolmo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA elaboró el documento guía “Instrumental

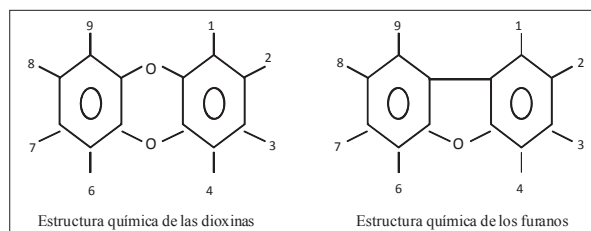


Figura 1. Estructura química de dioxinas y furanos. Fuente: Elaboración propia.

Normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos (*Toolkit*)” [3], [4] para la realización de inventarios de estas sustancias. El Toolkit constituye una herramienta para los países en vía de desarrollo que permite elaborar inventarios nacionales de dioxinas y furanos con base en información secundaria y la aplicación de factores de emisión por defecto, sin afrontar el costo de realizarlos fundamentándose en determinaciones analíticas. En la tabla 1, se presentan las principales fuentes de emisión de dioxinas y furanos (PCDD/PCDF) y en la tabla 2, los principales vectores medioambientales a través de los cuales se realiza la emisión.

Tabla 1. Fuentes de emisión de PCDD/PCDF.

Fuente	Procesos de formación química	Procesos térmicos	Procesos biológicos	Fuentes de reservorios
Motivo	Involucran sustancias precursoras y elementos que conforman los PCDD/PCDF.	La formación de Dioxinas y Furanos se ve favorecida a altas temperaturas.	Pueden formar PCDD/PCDF a partir de precursores encontrados en ellos.	Pueden haber acumulado PCDD/PCDF durante largos periodos de tiempo.
Ejemplos	Producción de fenoles clorados y la producción de pasta y papel, entre otros.	Incineración de desechos, utilización de combustibles sólidos y líquidos y procesamiento térmico de metales.	Compostaje.	Antiguos botaderos de desechos contaminados, suelos y sedimentos.

Tabla 2. Vectores de emisión de PCDD/PCDF.

Vector	Fuente
Aire	Combustión, Producción y fundición de metales, Secado, Calentamiento, cocción y Plantas térmicas. Las emisiones dependen de las condiciones de proceso y del sistema de control de contaminación del aire (SCCA)
Agua (dulce, océanos, estuarios, etc.)	Descarga de aguas residuales, lixiviados en botaderos o rellenos sanitarios, sitios contaminados o aplicación de productos contaminados.
Tierra (suelos)	Algunos productos contaminados son aplicados directamente a la tierra o en esta se dejan precursores que con el tiempo generan los PCDD/PCDF.
Productos (preparaciones químicas o bienes de consumo – papel, textiles, etc.)	Los fenoles clorados y sus derivados, como el pentaclorofenol (PCP) y su sal sódica, el ácido 2, 4,5-triclorofenoxiacético (2, 4,5-T) contienen altas concentraciones de PCDD/PCDF, así como los bifenilos policlorados (PCB).
Residuos	Líquidos, lodos y residuos sólidos que se manejan como desechos y productos reciclados. Desechos municipales, industriales, peligrosos, hospitalarios, etc. Desechos secundarios de procesos de combustión como cenizas volantes, escoria, hollín, etc. Incluye también residuos y lodos de producción química, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, aceites usados, entre otros.

2. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este diagnóstico, se tomó como punto de partida el Inventario de Fuentes y Liberaciones de Dioxinas y Furanos en Colombia, realizado con la metodología del *Toolkit* que presenta un procedimiento estandarizado de 5 pasos descritos a continuación y que permite el desarrollo de inventarios consistentes y comparables de fuentes de PCDD/PCDF.

- Matriz general para identificar las categorías principales de fuentes de PCDD/PCDF en el país.
- Subcategorías para identificar actividades individuales que generan PCDD/PCDF.
- Recopilación de información específica de los procesos o actividades a caracterizar, con el fin de clasificar las fuentes identificadas de

liberaciones de PCDD/PCDF. Se proveen los cuestionarios estandarizados para recopilar la información necesaria.

- Cálculo de las liberaciones de PCDD/PCDF con base en la información recogida a través de la siguiente ecuación (ecuación (1)):

$$L = Fe * Ta \quad (1)$$

Donde:

L = Liberación de dioxinas en gramo equivalente tóxico por año (g EQT/a).

Fe = Factor de emisión por defecto en microgramo de equivalente tóxico por tonelada ($\mu\text{g EQ-T/t}$).

Ta = Tasa de actividad en toneladas por año (t/a).

Compilación del inventario estandarizado de PCDD/PCDF. Para esto, el instrumental provee un formato estandarizado para asegurar que todas las fuentes son consideradas, aún cuando no se puedan cuantificar. De esta manera los inventarios generados con base en esta metodología, son documentos transparentes y comparables.

La proyección de los valores encontrados en el primer inventario se llevó a cabo manteniendo los factores de emisión utilizados y ajustando las tasas de actividad, para cada una de las categorías con base en la información sobre índices de producción o tasas de crecimiento.

3. RESULTADOS

En la tabla 3, se presenta la matriz de las 10 principales categorías y vectores en el *Toolkit*.

En las tablas 4 a 12 se presentan los resultados obtenidos en el Inventario realizado para Colombia en cada una de las categorías (C) y subcategorías (S) según la clase de factor de emisión considerado.

Tabla 3. Categorías principales.

No.	Categoría (C)	Posibles vías de liberación				
		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1	Incineración de desechos.	X				X
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos.	X				X
3	Generación de energía y calefacción.	X		X		X
4	Producción de minerales.	X				X
5	Transporte.	X				
6	Procesos de combustión incontrolados.	X	X	X		X
7	Producción y uso de sustancias químicas y productos de consumo.	X	X		X	X
8	Varios.	X	X	X	X	X
9	Evacuación / Terraplenes.	X	X	X		X
10	Identificación de puntos calientes.	Se identificaron pero no se cuantificaron.				

Tabla 4. Resultados Categoría No. 1- Incineración de desechos.

C	S	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberaciones (µg/EQT/t)			Actividad t/a	Liberación anual (g/EQ-T/a)		
				Aire	Residuos			Aire	Cenizas	Escorias
					Cenizas	Escorias				
1			Incineración de desechos							
	a		Incineración de desechos sólidos municipales				1.803	6,311	0,000	0,135
		1	Tecnología simple, sin sistema ACP.	3.500	0	75	1.803	6,311	0,000	0,135
	b		Incineración de Desechos Peligrosos				22.585	7,905	20,327	0,000
		2	Combustión controlada, mínimo ACP	350	900		22.585	7,905	20,327	0,000
	c		Incineración de Desechos Médicos/Hospitalarios				29.305	88,433	0,000	0,589
		1	Tecnología simple, por lotes, sin SCCA	40.000		200	14	0,560	0,000	0,003
		2	Combustión controlada por lotes, mínimo SCCA	3.000		20	29.291	87,873	0,000	0,586
	e		Incineración de lodos de alcantarilla				5.071	0,254	0,117	0,000
		1	Hornos antiguos, por lotes sin o mínimo SCCA	50	23		5.071	0,254	0,117	0,000
	f		Incineración de desechos de madera y de biomasa				233.672	15,267	144,572	0,000
		1	Hornos antiguos, por lotes sin o mínimo SCCA	100	1.000		143.672	14,367	143,672	0,000
		2	Combustión moderna y continua, algún SCCA	10	10		90.000	0,900	0,900	0,000
	g		Combustión de cadáveres de animales				374	0,187	0,000	0,000
		1	Hornos antiguos, por lotes sin o mínimo SCCA	500			374	0,187	0,000	0,000
1			Incineración de desechos					118,347	165,015	0,724

Tabla 5. Resultados Categoría No. 2- Producción de metales ferrosos y no ferrosos.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Agua	Residuos		Aire	Agua	Residuos
2			Producción de metales ferrosos y no ferrosos							
	a		Sinterización de hierro				449.400	0,135	0	0,001
		3	Alta tecnología, reducción de emisiones	0,3	ND	0,003	449.400	0,135		0,001
	b		Producción de coque				608.060	1,090	0,036	0
		1	Sin limpieza de gas	3	0,06	ND	336.000	1,008	0,020	
		2	SCCA postcombustión y retención de polvo	0,3	0,06	ND	272.060	0,082	0,016	
	c		Producción de Acero y funde rías de hierro. Industria siderometalúrgica				800.000	4,946	0	7,415
		1	Chatarra sucia (aceites de corte, etc.), precalentamiento de chatarra control limitado	10	ND	15	494.330	4,943		7,415
		4	Altos hornos con SCCA	0,01	ND	ND	305.670	0,003		0,000
			Funde rías de hierro				637.000	6,370	0	0,000
		1	Cubilote de aire frío o tambor rotatoria y depuración de gas	10	ND	ND	637.000	6,370		0,000
	d		Producción de cobre				3.090	2,472	0	1,947
		1	Sec. Cu – tecnología Básica	800	ND	630	3.090	2,472		1,947
	e		Producción de aluminio				27.370	0,580	0	0,876
		1	Procesamiento térmico de chatarra de Al con tratamiento mínimo, baja retención de polvo.	150	ND	400	2.190	0,329		0,876
		3	Rescado de raspaduras / viruta	10	ND	NA	25.180	0,252		0,000
	f		Producción de plomo				9.500	0,382	0	0
		1	Producción de Pb a partir de chatarra que contiene tabiques de batería de PVC	80	ND	ND	4.750	0,380		
		3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl2 en hornos distintos de los altos hornos con scrubber.	0,5	ND	ND	4.750	0,002		
	g		Producción de zinc				2.126	2,126	0	
		1	Horno sin ningún control de polvo	1.000	ND	ND	2.126	2,126		
	h		Producción de bronce y de latón				4.031	0,0006	0	
			Hornos de fusión sencillos	1	ND	ND	213	0,0002		
		2	Hornos más complejos como hornos de inducción con sistemas de SCCA	0,1	ND	ND	3.818	0,0004		
	i		Producción de magnesio				2.000	0,500	18,000	
		1	Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl ₂ ; sin tratamiento del efluente, tratamiento limitado del gas	250	9.000	0	2.000	0,500	18,000	
	j		Producción de otros metales no ferrosos				136.765	0,404	0	
		1	Procesos térmicos, chatarra contaminada, control sencillo o nulo del polvo	100	ND	ND	1.333	0,133		
		2	Procesos térmicos de metales no ferrosos, chatarra limpia, filtros de mangas / inyección de cal / postcombustión	2	ND	ND	135.432	0,271		
	l		Trituradora (p.e. automóviles)				152.243	0,030	0	
		1	Plantas de desguace de metales	0,2	NA	ND	152.243	0,030		
2			Producción de metales ferrosos y no ferrosos					19,037	18,036	10,239

Tabla 6. Resultados Categoría No. 3- Transformación de energía.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/TJ)		Producción TJ/a	Liberación anual (g/EQT/a)	
				Aire	Residuos		Aire	Residuos
3			Generación de energía y calefacción					
	a		Centrales eléctricas de combustibles fósiles			255.909	0,772	0,900
		2	Calderas de energía que queman carbón	10	14	64.074	0,641	0,900
		3	Calderas de energía que queman aceite pesado	2,5	ND	17.634	0,044	0,000
		4	Calderas de energía que queman aceite ligero / gas natural	0,5	ND	174.201	0,087	0,000
	b		Centrales eléctricas de biomasa			78.913	3,946	1,200
		1	Calderas alimentadas por biomasa (ex madera)	500	ND		0,000	0,000
		2	Calderas alimentadas por madera limpia	50	15	78.913	3,946	1,200
	c		Rellenos Sanitarios, combustión de biogás			693	0,006	0,000
		1	Calderas, motores/turbinas, fuego	8	NA	693	0,006	0,000
	d		Combustión de biomasa para uso doméstico (calefacción, cocina)			71.622	7,162	1,400
		1	Estufas alimentadas por madera contaminada / biomasa	1.500	2.000	0	0,000	0,000
		2	Estufas alimentadas por madera virgen / biomasa	100	20	71.622	7,162	1,400
	e		Combustión de combustibles fósiles para uso doméstico				6,953	48,000
		1	Estufas de carbón (t)	70	5.000	96.000	6,720	48,000
		2	Estufas de petróleo	10	ND	2.233	0,022	0,000
		3	Estufas de gas natural	1,5	ND	85.101	0,128	0,000
3			Generación de energía y calefacción				18,710	51,500

Tabla 7. Resultados Categoría No. 4- Producción de minerales.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/TJ)	Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)	
				Aire		Aire	
4							
	a		Hornos de cemento			5.799.131	1,837
		2	Hornos húmedos, temperatura ESP/FF 200-300 °C	0,6	2.812.578	1,688	
		3	Hornos húmedos, temperatura ESP/FF < 200 °C y todos los tipos de hornos secos	0,05	2.986.553	0,149	
	b		Producción de cal			153.800	1,538
		1	Ciclón / Sin control de polvo	10	153.800	1,538	
	c		Producción de ladrillos			1.764.151	0.353
		1	Ciclón / Sin control de polvo	0,2	1.764.151	0.353	
	d		Producción de vidrio			2.687	0,001
		1	Ciclón / Sin control de polvo	0,2	2.687	0,001	
	e		Producción de cerámica			328.476	0,066
		1	Ciclón / Sin control de polvo	0,2	328.476	0,066	
	f		Mezclado de asfalto			338.947	0,024
		1	Planta de mezclado sin limpieza de gases	0,07	338.947	0,024	
4			Producción de productos minerales				3,818

Tabla 8. Resultados Categoría No. 5- Transporte.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Consumo t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire				Aire		
5										
	a		Motores de 4 tiempos				3.651.752			0,365
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador		0,1		3.651.752			0,365
	b		Motores de 2 tiempos				233.091			0,583
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador		2,5		233.091			0,583
	c		Motores diesel				2.765.870			0,277
		1	Motores diesel		0,1		2.765.870			0,277
	d		Motores de aceite pesado				191.103			0,764
		1	Todos los tipos		4		191.103			0.764
	5		Transportes							1,989

Tabla 9. Resultados Categoría No. 6- Combustión incontrolada.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Biomasa quemada t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Tierra	Residuos		Aire	Tierra	Residuos
6			Procesos de combustión incontrolada							
	a		Quema de biomasa virgen				1.975.840	53,366	18,340	0
		1	Incendios forestales	5	4	ND	85.595	0,428	0,342	
		2	Incendios de praderas y brezos	5	4	ND	150.754	0,754	0,603	
		4	Quema de residuos agrícolas tratados con plaguicidas (en el campo)	30	10	ND	1.739.490	52,185	17,395	
	b		Quema de desechos e incendios accidentales				266.740	240,478	0	123,264
		1	Incendios de vertederos	1.000	NA	ND	142.005	142,005		
		2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas	400	NA	400	183.900	73,560		73,560
		3	Quema no controlada de desechos domésticos	300	NA	600	82.840	24,852		49,704
		4	Incendios accidentales de vehículos (por incidente)	94	NA	18	650	0,061		0,012
	6		Procesos de combustión incontrolada					293,845	18,340	123,264

Tabla 10. Resultados Categoría No. 7- Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)				Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)			
				Aire	Agua	Productos	Residuo		Aire	Agua	Producto	Residuo
7			Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo									
	a		Fábricas de pasta y papel									
			<i>Calderas (por tonelada de pulpa tSA)</i>				222.950	0,016	0	0	0	
		1	Calderas de licor negro, quema de lodos y madera	0,07			1.000	222.950	0,016			
			<i>Lodos</i>	Agua		Residuos		25.745		0,0018	0	2,574
				µg EQT/tSA	ng EQT/m ³	µg EQT/ t sludge						

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)				Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)			
				Aire	Agua	Productos	Residuo		Aire	Agua	Producto	Residuo
			<i>Pasta y papel</i>	Aire	Agua	Productos	Residuos	160.906	0	0	1,285	0
		1	Papel kraft de fibras primarias (Cl ₂)			8		160.519			1,284	
		2	Papel sulfito de alta tecnología (Cl ₂)			1		387			0.001	0
	b		Industria química									
			<i>Pentaclorofenol (PCP)</i>	Aire	Agua	Productos	Residuos	10	0	0	20,000	0
		1	Producción europea/ americana (cloración del fenol con Cl ₂)			2.000.000		10			20,000	
			<i>Plaguicidas clorados</i>	Aire	Agua	Productos	Residuos	1.471	0	0	1,029	0
		4	Acético, 2-4-dicloro-fenoxiacético (2,4-D)			700		1.469			1,029	
		6	Clorobenceno			ND	ND	2				
			<i>Cloranilo</i>	Aire	Agua	Productos	Residuos	3	0	0	1,200	0
		1	p-cloranilo por cloración de fenol			400.000		3			1,200	
			<i>EDC VCM / PVC</i>	Aire	Agua	Productos	Residuos	230.979	0,000069	0,0069	0,023	0,046
		2	Plantas modernas					230.979	0,000069	0,0069	0,023	0,046
			PVC solamente	0,0003	0,03	0,1	0,2	230.979	0,000069	0,0069	0,023	0,046
	d		Plantas textiles	Aire	Agua	Productos	Residuos	49.263	0	0	0,005	0
		2	Límite inferior	NA	ND	0,1	ND	49.263			0,005	
	e		Plantas de cuero	Aire	Agua	Productos	Residuos	15.882	0	0	0,159	0
		2	Límite inferior	NA	ND	10	ND	15.882			0,159	
		7	Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo						0,016	0,009	23,700	2,620

Tabla 11. Resultados Categoría No. 8- Varios.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Productos	Residuos		Aire	Productos	Residuos
8			Varios							
	a		Secado de biomasa				4.848.420	45,002	2,285	0
		1	Madera limpia	0,007	0,1	ND	348.420	0,002	0,035	
		2	Forraje verde	0,1	0,1	ND	0			
		3	PCP – o biomasa tratada de otra manera	10	0,5	ND	4.500.000	45,000	2,250	
	b		Crematorios				1.357	0,014	0	0,003
		1	Sin control	90	NA	2,5	0	0,000		0,000
		2	Control intermedio	10	NA	2,5	1.357	0,014		0,003
		3	Control óptimo	0,4	NA	2,5	0	0,000		0,000
	c		Ahumaderos				603	0,004	0	0,121

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Productos	Residuos		Aire	Productos	Residuos
		2	Combustible limpio, sin postcombustión	6	ND	200	603	0,004		0,121
		3	Combustible limpio, con postcombustión	0,6	ND	20	0	0,000		0,000
	d		Residuos de limpieza en seco				1.333	0	0	0,00203
		1	Textiles pesados tratados con PCP, etc.	NA	NA	3.000	0,67			0,002
		2	Textiles normales	NA	NA	50	0,67			0,00003
	e		Consumo de tabaco				22.649.880.000	0,0023	0	0
		1	Cigarros puros (por unidad)	0,3 pgEQT/un	NA	NA	450.000	0,000		
		2	Cigarrillos (por unidad)	0,1 pgEQT/un	NA	NA	22.649.430.000	0,0023		
	8		Varios					45,022	2,285	0,126

Tabla 12. Resultados Categoría No. 9- Evacuación Terraplenes.

C	S	Clase	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción m³/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Agua	Productos	Residuos		Agua	Productos	Residuos
9			Manejo de desechos							
	a		Lixiviado de rellenos	ng/EQT/m³			1.289.936	0,083	0	0
		1	Desechos peligrosos	200	NA		257.987	0,052		
		2	Desechos no peligrosos	30	NA		1.031.949	0,031		
	b		Aguas negras y su tratamiento				458.763.444	1,193	0	19,268
		1	Industriales, domésticas mezclada, con posibilidad de cloro				91.752.689	0,459	0	0
			Sin evacuación de lodo	5	NA	1.000	91.752.689	0,459		13,763
		2	Ambiente urbano				367.010.755	0,734	0	5,505
			Sin evacuación de lodo	2	NA	100	367.010.755	0,734		5,505
			Con evacuación de lodo	0,5	0,0005	100	0	0,000		
		3	Lugares remotos o plantas de tratamiento	0,1	NA	10	0	0,000		
	c		Vertido al agua				490.698.782	0,687	0	0
		1	Industriales domésticas, mezcladas con posibilidad de cloro	0,005			98.139.756	0,491		
		2	Ambiente urbano	0,0002	NA	NA	392.559.026	0,196		
		3	Lugares remotos o plantas de tratamiento	0,001	NA	NA	0	0,000		
	d		Compostado				501.836 t/a	0	7,528	0
		1	Todas las fracciones orgánicas	ND	100	NA	0			
		2	Desechos de jardín y cocina	ND	15	NA	501.836		7,528	
		3	Materiales verdes, ambientes no impactados	ND	5	NA	0			
		1	Todas las fracciones	ND	ND	ND				
	9		Manejo de desechos					1,962	7,528	19,268

Tabla 13. Compilación de resultados.

Categorías	Liberaciones anuales (g ETQ/a)					Totales	%
	Aire	Agua	Tierra	Prods	Resid		
1. Incineración de desechos	118,35	0,00	0,00	0,00	165,74	284,09	30.05
2. Producción de metales ferrosos y no ferrosos	19,04	18,04	0,00	0,00	10,33	47,41	5.01
3. Transformación de Energía	18,71	0,00	0,00	0,00	51,50	70,21	7.43
4. Producción de productos minerales	3,82	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	0.40
5. Transportes	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,99	0.21
6. Procesos de combustión no controlados	293,84	0,00	18,34	0,00	123,26	435,44	46.05
7. Producción y uso de sust. químicas y bienes	0,02	0,01	0,00	23,70	2,62	26,35	2.79
8. Varios	45,02	0,00	0,00	2,28	0,13	47,43	5.02
9. Vertederos (de basura) / gestión de desechos	0,00	1,96	0,00	7,53	19,27	28,76	3.04
10. Identificación de posibles puntos peligrosos							
Total (g ETQ/a)	500,79	20,01	18,34	33,51	372,85	945,50	100
Porcentaje %	52,97	2,12	1,94	3,54	39,43		100

La tabla 13 muestra el resumen de la cuantificación de las emisiones por cada categoría y cada vector

El resultado del inventario arroja un valor de generación total de dioxinas y furanos de 945,50 g (EQT)/a para las condiciones reportadas.

Las categorías que participan con un mayor aporte a la liberación total del país son: Procesos de Combustión no Controlados que genera el 46.05% del total de las liberaciones, Incineración de Desechos con el 30.05%, Transformación de Energía y Calefacción con el 7.43%, Producción de Metales Ferrosos y no Ferrosos con el 5.01% y Varios con el 5.02%.

Dentro de la categoría de Procesos de combustión no controlados, la subcategoría correspondiente a quema de desechos e incendios, tiene un aporte del 83,53% del total de la categoría y dentro de esta subcategoría los mayores aportes los realizan las actividades de incendios de vertederos e incendios de viviendas y fábricas. La subcategoría de quema de biomasa aporta el 16,47% de las liberaciones y dentro de ella la actividad que realiza prácticamente la totalidad de los aportes es quema de residuos agrícolas.

Con respecto a la categoría de Incineración de Desechos, la subcategoría que realiza el mayor aporte

a las liberaciones es la incineración de desechos médicos, con una participación del 71,53% y en segundo lugar la incineración de desechos peligrosos con una participación del 22,69% del total de los aportes de esta categoría. Las liberaciones realizadas por las actividades contempladas en estas dos categorías representan el 70,87% del total de las liberaciones del país.

En cuanto a los vectores, los mayores porcentajes corresponden a la liberación al aire 52,97% y en los residuos 39,43%. En menor proporción tenemos la liberación a la tierra 1,93%, en los productos 3,51% y al agua 2,12%.

Las liberaciones totales al vector aire fueron de 500,79g (EQT)/a la principal fuente son los procesos de combustión no controlada, que representaron el 58.68% dentro esta categoría se halla la quema de residuos agrícolas, los incendios forestales, los incendios accidentales y los incendios de botaderos como las principales fuentes. Para la incineración de desechos el mayor aporte en las liberaciones al aire lo realiza la incineración desechos hospitalarios. Las liberaciones totales al agua fueron de 20,01g (EQT)/a, las principales fuentes fueron la producción de metales ferrosos y no ferrosos, específicamente, la producción de óxido de magnesio. Respecto de las liberaciones totales a la tierra de 18,34 g (EQT)/a, en ella contribuyen

principalmente las actividades de quema biomasa virgen. Para el caso de liberaciones en productos, el valor fue de 33,51 g (EQT)/a, el mayor aporte lo realiza la producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo, específicamente la utilización de pentaclorofenol. Las liberaciones en residuos fueron de 372,77 g (EQT)/a, los aportes principales los hacen la quema no controlada de biomasa, específicamente la quema de desechos e incendios y la categoría de transformación de energía y calefacción, específicamente la combustión de carbón para uso doméstico.

Con base en la población, superficie y producto bruto interno [5] se pueden obtener los siguientes índices de liberación de dioxinas y furanos para Colombia (tabla 14):

Tabla 14. Índices de emisión en Colombia.

Emisión / Habitante año	45.792.000 Habitantes	945,42g EQT/a	20,63 EQT	μg
Emisión / Km ² año	2.070.408 Km ²		456,63 EQT	μg
Emisión/ Habitante PIB	U \$ 26.711.000		574,14 EQT	g

A continuación (tablas 15 y 16), se presenta una comparación de las emisiones de varios países de la región para cada una de las categorías del Toolkit y una comparación de las emisiones per cápita con estos mismos países [6] - [9].

4. CONCLUSIONES

La generación total de dioxinas y furanos en Colombia es aproximadamente de 945,50 g(EQT)/año, este valor es relativamente bajo y es coherente con la tecnología existente y el grado de industrialización del país.

Las principales fuentes de liberación de PCDD/PCDF corresponden a los *Procesos de combustión no controlados y a la incineración de desechos*, dado que en los procesos de combustión no controlados se manejan grandes volúmenes especialmente en incendios y quemas accidentales de biomasa

(incendios forestales), quema de residuos agrícolas y preparación de suelos.

Aunque la incineración de desechos no maneja volúmenes muy grandes dado que su mayoría se dispone en rellenos sanitarios, la cantidad de emisiones si es alta puesto que la tecnología empleada para estos fines, en muchos casos, es inadecuada.

Los factores de emisión son bastante elevados para las clases consideradas en la categoría 1, en contraste con las categorías 4, 5 y 8. La categoría 2 presenta gran variabilidad en los resultados de sus diferentes subcategorías, fenómeno que también se aprecia en las categorías 6, 7 y 9.

La tecnología de incineración de residuos es bastante incipiente, en la mayoría de los casos tan solo se cuenta con una cámara de combustión y los sistemas de control de emisiones son elementales en algunos casos y prácticamente nulos en la mayoría.

Las categorías 4 y 5 referente a la producción de minerales y al transporte respectivamente son las que representan menores generaciones de PCDD/PCDF. En el caso de transporte, los combustibles empleados están libres de Pb y aunque los sistemas de control en los vehículos de transporte no son muy elevados, el factor de emisión asignado en estos casos es relativamente bajo. Respecto de la producción de minerales se puede decir que así se generen a altas temperaturas y en algunos casos los combustibles empleados presenten cierto grado de contaminación, los factores de emisión asignados por el *Toolkit* para esta industria no son muy altos.

Los principales vectores de liberación de PCDD/PCDF son aire y residuos.

El índice de emisión por habitante para Colombia es relativamente bajo, comparado con países con un nivel industrial similar.

Las principales medidas a adoptar encaminadas a la reducción de las liberaciones, deben tener un carácter preventivo y estar orientadas a la no generación en la propia fuente a partir de la adopción de las *Mejores Técnicas Disponibles y Mejores Prácticas*.

Tabla 15. Comparación con las emisiones de otros países.

Categorías	Argentina	Cuba	Paraguay	Uruguay	Colombia
1. Incineración de desechos	126,15	57,16	3,521	4,834	284,09
2. Producción de metales ferrosos y no ferrosos	96,43	21,88	1,554	2,848	47,31
3. Generación de energía y calefacción	73,18	56,1	3,702	1,289	70,21
4. Producción de productos minerales	6,54	4,67	1,13	1,026	3,82
5. Transportes	3,08	0,42	0,365	1,359	1,99
6. Procesos de combustión incontrolados	1.674,03	170,76	145,75	15,553	435,44
7. Producción y uso de sustancias químicas	88,95	0,52	0,00021	0,787	26,35
8. Varios	8,1	0,24	0,249	0,002	47,43
9. Evacuación	34,36	7,04	0,169	0,288	28,76
TOTAL	2.110,92	319	155,83	28	945,50

Tabla 16. Comparación de las emisiones per cápita

PAIS	EMISIÓN g EQT/año	POBLACIÓN	EMIS/PNA µg EQT
ARGENTINA	2.110,92	37.400.000	56,44
CUBA	319,00	11.217.000	28,44
PARAGUAY	155,83	5.206.101	29,93
URUGUAY	28,00	3.313.000	8,45
COLOMBIA	945,50	45.792.000	21,02

ticas Ambientales [10], así como orientar esfuerzos hacia el control y seguimiento de los procesos y actividades que más contribuyen a dichas liberaciones.

Instalar sistemas de control que involucren efectivos tratamientos de los gases producto de combustión de diferentes materiales en las industrias en las que los requerimientos energéticos son importantes.

La eliminación gradual de las prácticas de quema de residuos agrícolas y quema de desechos a cielo abierto, dando especial prioridad a la cascarilla de arroz y a la caña de azúcar por el gran volumen de producción de dichos desechos, buscando nuevas alternativas para la disposición, el aprovechamiento y uso adecuado de estos.

Establecer programas de vigilancia y control para

estas actividades así como medidas de sanción.

Dar a conocer de forma masiva entre la comunidad en general esta problemática ambiental con el fin de general conciencia ambiental y de esta forma en los espacios académicos motivar para la generación de estudios e investigaciones encaminadas a la búsqueda de soluciones a este problema.

Mayor compromiso de parte de las autoridades y de los entes legisladores con el tema ambiental con el fin de promover leyes encaminadas a la protección ambiental y a la solución de estos problemas, las cuales han de ser eficaces y que realmente puedan ser cumplidas.

Minimizar el uso de biomasa como combustible, así como el uso de combustibles sin previo tratamiento.

5. FINANCIAMIENTO

Para el desarrollo del primer inventario se contó con la financiación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las diferentes entidades consultadas por el apoyo logístico y la colaboración prestada en el suministro de

la información secundaria sin la cual no se habría podido desarrollar este proyecto. Igualmente, agradecen al Ministerio de Ambiente por permitir la divulgación de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- [1]. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, “Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos –Toolkit”, PNUMA, Ginebra, Mayo 2003.
- [2]. U.S. Environmental Protection Agency, Exposure Analysis and Risk Characterization Group. “*The Inventory of Sources of Dioxin in the United States. External Review Draft*”, US-EPA, EPA/600/P-98/002Aa, Washington D.C., 1998.
- [3]. United Nations Environmental Programme UNEP, “Asia Toolkit Project on Inventories of Dioxin and Furan Releases – National PCDD/PCDF Inventories”, UNEP Chemicals, Geneva, July 2003.
- [4]. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible / Ingeniería Ambiental de Colombia INAMCO, “*Inventario Nacional de Fuentes y Liberaciones de Dioxinas y Furanos de Colombia. Línea base año 2002*”, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá D.C., 2007.
- [5]. Colombia, Departamento Nacional de Estadística, “*Cuentas Nacionales Base 2005*”. [On line]. Disponible: http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=85. Consultado el 1 de septiembre de 2012.
- [6]. Paraguay, Secretaría del medio Ambiente. “Informe Nacional de liberaciones de Dioxinas y Furanos: Paraguay 2002” Asunción, 2003.
- [7]. Cuba, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, “*Inventario nacional de fuentes y liberaciones de dioxinas y furanos: Cuba, Año 2000*”,
- [8]. Argentina, Ministerio de Salud, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, “*Inventario Nacional de liberaciones de Dioxinas y Furanos: Argentina 2001*”, Buenos Aires, 2004.
- [9]. Uruguay, DINAMA, “*Inventario nacional de liberaciones de Dioxinas y Furano:s Uruguay 2000, Informe Final*”, Montevideo, Marzo, 2002.
- [10]. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. Directrices sobre Mejores Técnicas Disponibles y orientación provisoria sobre Mejores Prácticas Ambientales según el Art. y el Anexo C del Convenio de Estocolmo, PNUMA, Estocolmo, 2004.