

## **Aproximación al Valor del Daño del Relleno Sanitario de La Pradera a partir del Método de Transferencia de Beneficios**

**Juan Diego Giraldo  
Medardo Restrepo**

### **I. Introducción**

En este documento se intenta una estimación monetaria de los daños ambientales provocados por el relleno sanitario de La Pradera haciendo uso de un método de valoración conocido como Transferencia de Beneficios.<sup>1</sup> Para ello se van a utilizar tres estudios internacionales que, por el mismo método, determinan el valor de los impactos ambientales negativos de rellenos sanitarios para Europa y el Reino Unido<sup>2</sup>.

El documento se divide en cuatro partes. En la primera se establece la manera en que se va aplicar la Transferencia de Beneficios en este caso. En la segunda, se lleva a cabo un análisis de los distintos resultados en términos de sus características y su aplicabilidad al caso de La Pradera. En la tercera, se realiza una estimación del valor de los impactos a partir de los resultados de los tres estudios y de información específica de La Pradera. En la última parte se presentan las conclusiones.



### **II. Estructura de aplicación de la Transferencia de Beneficios**

En términos sencillos, la Transferencia de Beneficios (TB) es un método de valoración que consiste en extrapolar los resultados de cuantificación de externalidades realizados en otros lugares a un sitio donde, por diversos motivos, no es posible aplicar directamente métodos

---

<sup>1</sup> Todos los valores presentados en este documento están en valores presentes de acuerdo a los criterios establecidos por los distintos estudios sobre los cuales se aplica la transferencia de beneficios. Solamente en la tercera parte en la sección de des amenidades se hace un cálculo propio del valor presente de pérdida en el valor de la propiedad por tonelada de basura depositada en el relleno.

<sup>2</sup> Hay un estudio para Europa (European Commission (2000)), otro para el Reino Unido (DEFRA (2004)) y el ultimo es un estado del arte de aplicación general (Eshet et, al, 2006). Más adelante se detallan mejor estos estudios.

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

de valoración tales como Precios Hedónicos, Costos de Viaje, Valoración Contingente, etc.<sup>3</sup> La TB recoge estudios donde sí se han aplicado directamente esos métodos.



Si bien la TB es un método de cuantificación aceptado por la literatura económica e incluso aparece como uno de los métodos sugeridos por el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en su resolución 1478 de 2003, en general, los valores de las externalidades obtenidos por la TB “son importantes como indicadores para las decisiones de política, pero el resultado deberá ser aplicado y ajustado con específica consideración a cada caso individual de política” (Eshet et. al, 2006). Esto se justifica por el hecho de que los resultados fueron obtenidos en lugares “con diferentes características geográficas, ecológicas y demográficas influenciando los niveles de impactos y valoración” Ya que muchas de las cuantificaciones son específicas de un sitio (sitio-específicas) “se hace difícil apuntar al valor más representativo y transferible”. En el mejor de los casos “una apropiada TB puede obtener razonables estimaciones para las decisiones de política” (Eshet et. al, 2006).

Según la guía del MAVDT emanada de la resolución 1478 de 2003 “la TB involucra los datos de modelos y valores encontrados en estudios primarios” (MAVDT, 2003). Sin embargo, en la práctica no siempre es el caso y es así que existen aplicaciones de la TB que “consisten en revisiones de la literatura que han tomado como sus puntos de partida estudios que han intentando recoger estimaciones de las externalidades... Estos estudios son referidos como estudios secundarios ya que ellos usan datos de valoraciones derivados desde otros, a menudo primarios, estudios” (DEFRA (2004)).

Adicionalmente, la guía del MAVDT indica que: “Esta metodología utiliza información existente para realizar una adaptación y utilizar la información económica que se obtiene de un lugar específico bajo ciertas condiciones de un recurso o una política a un lugar que

---



<sup>3</sup>Notacionalmente se dice que el sitio desde el que se extrapolan los resultados es el “lugar de estudio” y aquel donde son aplicados es el “lugar de política”.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

presente similares condiciones o políticas” (MAVDT. 2003). Nuevamente en la práctica la “similitud” no siempre está disponible ya que como se indicó muchas estimaciones son “sitio-específicas” y, además, la valoración de externalidades lograda a partir de estudios primarios tiene un carácter complicado debido a la incertidumbre que esta suele contener y la cual se acrecienta durante el proceso de extrapolación justamente por las particularidades propias del lugar de aplicación (European Commission (2000)).

Finalmente la guía del MAVDT dice que existen “dos grandes tipos de transferencias... El primero es la transferencia de valor...El segundo es de Función de Transferencia”. El primer caso consiste “en la estimación de un valor a partir de un único estudio o de un conjunto de estudios”. En el segundo caso se estima “una función de demanda de un sitio de estudio o una regresión de meta análisis que se construye a partir de las estimaciones de varios estudios”. Con respecto al primer caso, la guía agrega que “cuando se utiliza más de un estudio, es posible aproximarse al valor con una medida de tendencia central tal como la media” (MAVDT, 2003).

Dado lo anterior, es importante indicar que en este documento se va a utilizar el método de transferencia de beneficios para estimar un valor de los impactos ambientales negativos del relleno sanitario de La Pradera desde su apertura en 2003 hasta el 2006. Salvo algunos datos particulares obtenidos de fuentes primarias (datos del relleno y estadísticas oficiales) y que serán indicados cuando corresponda, aquí solamente se utilizan estudios secundarios que a su vez se han basado en otros estudios secundarios (algunos de estos últimos fundamentados en estudios primarios). Específicamente, se trata de tres estudios que se constituyen en los estados de arte más elaborados y completos sobre valoración de rellenos sanitarios que existen actualmente en la literatura. El primero, es un estudio de 2000 contratado por la European Commission, DG Environment y conducido por el COWI Consulting Engineers and Planners AS. El segundo, es un trabajo de 2004 encargado por el Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) del gobierno del Reino Unido y realizado por Enviros Consulting Limited en asocio con Economics for the

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS          PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL          DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

Environmental Consultancy (EFTEC). El tercero, se trata de un estado del arte publicado en 2006 en el Resources Conservation & Recycling por tres investigadores israelitas (Tzipi Eshet, Ofira Ayalon, Mordechai Shechter).



Los tres estudios dividen los impactos ambientales en tres categorías: emisiones atmosféricas, emisiones al suelo y al agua y pérdidas de amenidades (Disamenities).<sup>4</sup> Las dos primeras categorías reflejan efectos en la salud, en las construcciones y en la agricultura. La última da cuenta de efectos como el olor, el ruido, la degradación estética del paisaje, entre otros. Dado que estos estudios son la compilación de decenas de estudios (algunos de los cuales son mostrados en la tabla A.1 del anexo) los resultados que estos presentan son producto de sus propios cálculos de lo que ellos llaman “la mejor estimación”. Para el caso de La Pradera los valores estimados se derivarán de las “mejores estimaciones” de estos tres estudios.<sup>5</sup> En otras palabras, en este documento solamente se realiza el análisis a partir de los valores que los tres estudios citados identifican como la mejor estimación del total de estudios que ellos recogen. La Transferencia de valores no tendrá en cuenta valores distintos a los arrojados por los tres estudios ya citados.

Dado que la European Commission y el DEFRA son instituciones de gran prestigio, y que el artículo de Eshet et al es publicado en una revista de calidad internacional y se deriva de una presentación en un simposio de alto nivel sobre el tema, aquí se supone la buena calidad de las estimaciones logradas en los tres documentos mencionados. Adicionalmente, no se van a analizar las dificultades, limitaciones, debilidades, complicaciones y demás factores que condujeron a los resultados obtenidos por esos estudios. Tampoco se van a analizar la calidad y la pertinencia ni los valores de los estudios que sirvieron de referentes

---

<sup>4</sup> Por facilidad de escritura aquí se va a usar el término des amenidad para referirse a la última categoría.

<sup>5</sup> En la tercera parte se volverá sobre este asunto.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

de los tres trabajos recogidos en este documento. La metodología de cada una de estos tres estudios puede obtenerse a partir de la revisión de los mismos.<sup>6</sup>

En lo que respecta a la “mejor estimación” para el caso de La Pradera se va a utilizar lo dispuesto por la guía del MAVDT, según la cual:

*La metodología puede presentar algunas limitaciones por cuanto existe incertidumbre relacionada con la utilización de valores de estudios primarios... Sin embargo, la calidad de las estimaciones va a depender de la calidad y la cantidad de estudios disponibles. Dadas las limitaciones de la metodología, es importante que los evaluadores ... sean ‘conservadores’, es decir, realizar supuestos en donde los valores estimados sean un límite inferior y no sean sobrevalorados (MAVDT, 2003).*



En consecuencia, como los dos de los tres estudios son aplicados en el Reino Unido y Europa, y el otro es el actual estado del arte en lo que a TB se refiere para el caso de los rellenos sanitarios. Se considera que se cumple con los requisitos de calidad y cantidad recomendados por el MAVDT. Además, acogiendo el hecho de ser “conservadores” la mejor estimación en el caso de La Pradera será el límite inferior.

En lo que respecta al tipo de transferencia, en este documento se va a utilizar la transferencia de valor. Se van a tomar los valores presentados por los tres estudios, los cuales cuantifican los impactos haciendo uso de dos mediciones:

- Unidades monetarias (libras esterlinas, dólares o euros) por tonelada de emisión de un determinado contaminante.
- Unidades monetarias (libras esterlinas, dólares o euros) por tonelada de residuo sólido municipal (RSM) depositado en el relleno.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> En la bibliografía es posible encontrar la referencia precisa; incluida la dirección electrónica de donde pueden obtenerse.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

Los tres estudios utilizan diferentes unidades monetarias y distintos años base. DEFRA usa libras de 2003, La comisión Europea, euros de 2000 y Eshet et al, dólares de 2003. La transferencia implica la conversión a moneda local. En este caso se van a usar pesos de 2006 y para realizar la conversión se van a utilizar los índices de precios al consumidor de Europa, Estados Unidos y el Reino Unido; junto con la tasa de cambio con respecto al dólar del euro, la libra esterlina y el peso. Además, para un mejor ajuste en términos del poder adquisitivo de los distintos países se hace uso de los Ingresos Nacionales Brutos per cápita de Estados Unidos, Reino Unido, Europa y Colombia ajustados por paridad del poder de compra. Si la conversión se realiza sobre el valor de un impacto sobre la salud se usa el índice de precios de la salud; si es un impacto sobre la agricultura se usa el índice de precios de alimentos y si se trata del valor de la vivienda en ese caso se utiliza el índice de precios de la vivienda.

Una vez que se ha logrado la conversión a pesos colombianos viene una consideración adicional. En el estado ideal de la TB la mejor manera de cuantificar un impacto ambiental es en términos del costo por unidad de residuo sólido municipal (RSM) depositado en el relleno. En el caso específico de La Pradera, por ejemplo, un contaminante como el PM10 debería tener un costo en \$ de 2006/tonelada de RSM depositado en el relleno. Sin embargo, no siempre es fácil conseguir expresar el costo por unidad de basura depositada. En general es más fácil hallar estimaciones en términos de unidades de emisiones de los contaminantes “porque parece ser menos complicado obtener este tipo de valores” (Eshet et al (2006)). En este documento la intención es presentar la cuantificación en términos de la basura depositada siempre que sea posible lograrlo para las distintas emisiones al aire, al agua y el suelo desde un relleno sanitario lo mismo aplica para las des amenidades.

Con respecto a la temporalidad de la cuantificación de los impactos, hay que decir que los valores que aquí se produzcan corresponderán al total de basuras depositadas en el relleno,

---

<sup>7</sup> Un residuo sólido municipal es el residuo que proviene de los hogares y sus similares provenientes de la industria. Es distinto al residuo peligroso que no es considerado en los tres estudios ya citados.

desde su apertura en julio de 2003 hasta diciembre de 2006. Desde el punto de vista del tiempo de funcionamiento de un relleno sanitario, del total de la basura que es depositada, de la temporalidad y las características de las distintas emisiones puede resultar que la cuantificación aquí planteada no es suficiente, pero como en el caso de La Pradera en 2003 se estableció una compensación de 650 pesos de 2003 por tonelada de basura (680 pesos de 2006), entonces resulta apropiado comparar el total que se ha pagado (en pesos de 2006) desde el inicio del relleno con el valor obtenido a partir de la transferencia de beneficios.

Es necesario tener en cuenta que los valores que arroje este documento corresponden a aproximaciones de los verdaderos valores derivados del relleno. La literatura reconoce que una multitud de factores, condiciones y características influyen los resultados obtenidos en un lugar de estudio y que esos mismos factores llenan de incertidumbre los estudios primarios. Eso se traduce en que todos los estudios de valoración de impactos ambientales debidos a rellenos sanitarios en pocas ocasiones presentan resultados puntuales. En general los valores se presentan en intervalos que dan cuenta de la incertidumbre debida a multitud de causas (Eshet et al (2006)).

En este sentido, los valores que se presenten de los distintos estudios van a respetar los intervalos que ellos contengan. Las justificaciones de los mismos deberán buscarse directamente en los estudios, porque no es competencia de este documento hacer un análisis exhaustivo de las metodologías empleadas para obtener los valores. Adicionalmente, los valores aquí presentados, lo mismo que las cuantificaciones que puedan lograrse para el caso de La Pradera, no deben considerarse como los verdaderos valores de los impactos ambientales.

Los valores aquí presentados solamente deben ser apreciados en su capacidad para indicar el impacto real que un relleno sanitario puede tener sobre una comunidad vecina. Los valores extrapolados de los tres estudios deben sensibilizar a quienes toman las decisiones de política en la comprensión de los efectos y las implicaciones de un relleno sanitario.

Además, deben motivarlos a emprender las acciones que permitan realizar estudios primarios y así verdaderamente alcanzar un valor muy cercano al que realmente corresponde a nuestras características particulares. La autoridad ambiental debe apreciar los resultados aquí obtenidos como una forma de dimensionar la forma en que deberá ser compensada la comunidad afectada por un relleno sanitario, pero no debe pensar que el valor obtenido es el monto de esa compensación.

Los tres estudios reconocen que existe gran desconocimiento de los verdaderos impactos ambientales de los rellenos sanitarios y claman por la realización de investigaciones que puedan eliminar los vacíos que generan incertidumbres en los resultados. Aquí se comparte esa idea y se le pide a la autoridad de política ambiental que, además de regular el funcionamiento del relleno sanitario, también dedique algún esfuerzo en contribuir a la reducción de las incertidumbres, no solo locales sino también internacionales.

### **Sobre la cuantificación de los impactos**

La mejor manera de indicar como se va a realizar la cuantificación de impactos es por medio de un ejemplo. Para ello se va a tomar el estudio de DEFRA según el cual el PM10 tiene un efecto sobre la salud cuyo costo tiene un intervalo que va desde los 161 hasta 1.026 libras de 2003 por tonelada de PM10 emitido de un relleno en el Reino Unido.



Ya se dijo que en este documento se va a ser “conservador” y según la guía del ministerio ser conservador es tomar el límite inferior. Entonces se utiliza el valor de 161 libras. A continuación se pasan las 161 libras de 2003 a pesos de 2006. Para ello se usa la siguiente fórmula:

$$\$ 2006 = \pounds 2003 \left( \frac{IPC \text{ salud } 2006}{IPC \text{ salud } 2003} \right) \left( \frac{INB \text{ PPP percapita Col } 2006}{INB \text{ PPP percapita RU } 2006} \right) \left( \frac{1}{TC 2006 \text{ } \pounds / US\$} \right) (TC 2006 \text{ } \$ / US\$)$$

Donde:

IPC salud es el Índice de Precios al Consumidor para la salud





	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS  PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL  DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

TC 2006 es el tipo de cambio promedio anual de 2006.

En el caso de las 161 libras el costo de una tonelada de PM10 emitida a la atmósfera en pesos colombianos de 2006 es de \$167.711,39.

Si se conociese la cantidad de PM10 que se desprende por tonelada de basura entonces se podría lograr su cuantificación en términos de la cantidad de basura depositada. El estudio de la Comisión Europea de 2000 indica que si en un relleno sanitario se captura el gas producido y este fuese utilizado para generar electricidad y calor se emitirían 0.2 gramos de PM10 por toneladas de basura (véase tabla III.7). Según información proveniente del Empresas Varias de Medellín entre julio de 2003 y diciembre de 2006 se depositaron 2.401.197,78 toneladas de basura. Si en la pradera se captara el gas tal y como lo indica la Comisión Europea se generarían 0.2 gramos de PM10; lo que implicaría que desde 2003 hasta 2006 se generarían aproximadamente 480.24 toneladas de PM10. Con un costo de \$167.711,39/ton de PM10

Por consiguiente, si en La Pradera se produjera electricidad mediante la captura del gas del relleno se tendría que desde 2003 hasta la fecha el valor del impacto en salud del PM10 sería de aproximadamente de 80.5 millones de pesos de 2006. Es decir aproximadamente 33.54 pesos de 2006/tonelada de basura depositada. Sin embargo, esta valoración del PM10 no es aplicable a La Pradera porque hasta el momento en este relleno no se está usando el gas para producir electricidad y, según el estudio de la Comisión Europea de 2000, en los rellenos sanitarios donde no se capta el gas para producir energía no se emite PM10. Eso quiere decir que en caso de La Pradera según el método de transferencia de beneficios no deberá haber compensación por PM10 ya que los estudios indican que si no se capta gas para producir electricidad, no hay emisiones de este tipo de partículas. Sin embargo, el estudio realizado por la Comisión Europea solamente hace el análisis del gas del relleno, es decir del que se emite directamente del relleno y no incorpora en su análisis el transporte de la basura desde la fuente hasta el relleno.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

En ese caso la valoración del PM10 debería realizarse por unidad de emisión de los camiones que depositan la basura en el relleno. Esto requiere otro tipo de mediciones distintas a las contempladas en los tres estudios. No obstante esta diferencia en el procedimiento de cuantificación, lo que muestran los estudios es que una tonelada de PM10 tiene un costo de poco más de 167 mil pesos. Las mediciones locales deben indagar por el total emitido en el relleno de La Pradera, ya sea por las emisiones de gases o por los vehículos de recolección y transporte de basuras.

Según Empresas Varias de Medellín entre 2003 y 2006 se realizaron 252.212 viajes al relleno de La Pradera. Todo sería cuestión de indagar las emisiones de PM10 por viaje. El problema en este caso es identificar cuanto de ese PM10 emitido afecta a la comunidad cercana al relleno sanitario. Por tratarse de una fuente móvil son muchos los afectados por las emisiones de PM10 y no necesariamente lo son aquellos sobre quienes se piensa que deberían ser compensados. De esos 167 mil pesos ¿cuánto corresponde efectivamente a la comunidad afectada? Mejor aún, tratándose de PM10 ¿Quién es la comunidad afectada? Esas son justamente las incertidumbres que deben intentar esclarecer las investigaciones primarias sobre los impactos ambientales del relleno sanitario de La Pradera.

### **III. Análisis de Resultados**

El ejemplo anterior de las emisiones de PM10 da una buena idea de lo complejo que es la cuantificación de los impactos ambientales de un relleno sanitario. Los tres estudios sobre los que se basa la TB utilizada para La Pradera se fundamentan en al menos una decena de distintos estudios sobre el tema. En general todos los trabajos intentan explicar las mismas variables: emisiones de gases a la atmósfera, emisiones al suelo y el agua y desamenidades. Para ello se fundamentan en emisiones tales como los gases de relleno y sus distintos componentes, lo mismo que lixiviados ya sea agregado o en sus distintas partes y, finalmente, intentan cuantificar pérdidas estéticas del paisaje, malos olores, ruidos, reducciones en visibilidad, etc.

Las tablas III.1 y III.2 tomadas del estudio de DEFRA (2004) resumen las emisiones al aire y al suelo que se han identificado como producidas por el tratamiento de basuras tanto mediante su incineración como en su disposición final en un relleno. De todas las emisiones puestas en esas tablas solamente las investigaciones han logrado un cierto avance en las emisiones atmosféricas, y de todos los gases solamente de unos cuantos se han podido establecer aproximaciones numéricas de sus costos. Incluso obtener los valores de los gases no resuelve el problema porque la cuantificación a veces se logra mediante métodos de valoración que no necesariamente dan cuenta del verdadero daño causado. En la mayoría de los casos se logran cuantificaciones mediante técnicas de valoración indirectas sin poder estimar la función de daño ambiental debido a las emisiones (Eshet et al (2006)).

**Tabla III.1 Emisiones al aire por instalaciones para el tratamiento de basura (incineración y rellenos sanitarios)**

1,1-Dicloroetano
Amoníaco
Dióxido de carbono
Cloruro
Clorobenceno
Cloroetano
Cloroetileno
Dioxinas y furanos
Cloruro de hidrógeno
Fluoruro de hidrógeno

Metales: arsénico, cadmio, mercurio, níquel
Metano
Óxidos de Nitrógeno
Materia particulada
Bifenil policlorado
Dióxido de azufre
Tetracloroetileno
Compuestos orgánicos volátiles

Fuente: DEFRA (2004)

**Tabla III.2 Emisiones al suelo / agua subterránea / agua superficial por instalaciones para el tratamiento de basura (incineración y rellenos sanitarios)**

Anilina	Éter metil terciario butil
Arsénico	Fenoles monohídricos
Bifenil	Naftalina
BOD	Níquel
Cadmio	Nitratos
Cloruro	Nonil fenol
Cromo	Organoestaño

COD	Pentaclorofenol
Cobre	Ph
Cianuro	Fenoles
Di (2-etil exil) ftalato	Fósforo
Diclorometano	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
Dióxinas y furanos	Sólidos suspendidos
Etilbenceno	Talio
Fluoruro	Tolueno
Plomo	Xyleno
Mercurio	Zinc
Acido acético	

Fuente: DEFRA (2004)

En la mayoría de las pocas valoraciones alcanzadas, los resultados se presentan en intervalos bastante amplios los cuales tienen como propósito indicar la enorme incertidumbre que existe en los valores obtenidos. Otra muestra de la dificultad en la valoración de los daños ambientales es el hecho de que diferentes estudios producen diferentes estimaciones para las mismas emisiones. En teoría, distintas técnicas deberían producir idénticos y comparables resultados pero la incertidumbre, la complejidad y la cantidad de variables que influyen un método de valoración inducen a que las distintas metodologías terminen por ser aproximaciones sesgadas del valor monetario del daño

ambiental. La tabla A.1 del anexo tomada de Eshet et al (2006), es un breve ejemplo de ello<sup>8</sup>



La importancia de los tres estudios presentados en este documento es su capacidad para recopilar, sintetizar y definir lo que ellos llaman “las mejores estimaciones” de las diferentes emisiones. En algunos casos las mejores estimaciones se logran mediante la comparación entre distintos resultados, mediante ajustes de las condiciones propias de los lugares de política respecto a los lugares de estudio, pero en otros casos ello no es posible y las “mejores estimaciones” son producto de promedios entre los distintos resultados y en otros del sentido común.

Las dificultades de cuantificación de las distintas emisiones se han traducido en un conocimiento precario de los verdaderos impactos de un relleno sanitario. En general sus efectos se engloban en efectos sobre el cambio climático, la salud, la producción agropecuaria, el valor de la propiedad, el deterioro de las estructuras físicas y con mucha precariedad en las des amenidades. Las tablas III.3 y III.4 del estudio de la Comisión Europea de 2000 recogen las emisiones debidas a los rellenos sanitarios sobre las cuales es posible alguna cuantificación.

**Tabla III.3 Emisiones típicas al aire desde el relleno**

Componentes primarios del Gas del Relleno (GR)	Microelementos* del GR	Otras emisiones
CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	Polvo
CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Otros (p.ej. dioxinas)**
	H <sub>2</sub> S	
	CO	

<sup>8</sup> Para más detalle en la divergencia de los distintos estudios puede verse DEFRA (2004).

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

	H <sub>2</sub>	
	COV	

Fuente: European Commission (2000)

\* los microelementos presentes, particularmente el COV, pueden incluir distintos gases dependiendo de la naturaleza del RSM que se lleva al relleno.



\*\*Se produce cuando el gas del relleno es incinerado o se utiliza para recuperar energía.

**Tabla III.4 Emisiones típicas al suelo y agua desde el relleno**

Componente	Ejemplos
Principales iones	Ca, K, Na, NH <sub>4</sub> , CO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Cl
Metales pesados	As, Cd, Cr, Pb, Hg, Cu, Ni
Componentes orgánicos	Orgánicos clorados, fenol, benceno, pesticidas específicos
Otros	Componentes microbiológicos

Fuente: European Commission (2000)

Por su parte la tabla III.5 del DEFRA (2004), hace un compendio de los efectos en la salud que se han relacionado con las distintas formas de manejo de residuos sólidos (incineradores y rellenos). Esta tabla muestra que no necesariamente hay coincidencia en los resultados provenientes de los estudios científicos (investigaciones médicas, epidemiológicas y similares) y aquellos presentados por la literatura económica. En cierta medida la diferencia se halla en la ineludible necesidad de cuantificar de la ciencia económica. En algunas ocasiones, con pesar, debe reconocerse que no siempre es posible lograrlo. Pero que no sea posible la cuantificación no sugiere que el daño no exista, el problema es que muchas veces no es posible relacionar directamente la causa con el daño y es que en la mayoría de las ocasiones no se cuenta con las relaciones dosis-respuesta. Son tantas las variables y tan cambiantes las situaciones que no es posible establecer con alguna confianza los senderos de exposición entre emisiones y afectados, lo que imposibilita



	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

reconocer cómo determinadas concentraciones de emisiones se traducen en daños a la salud. Si no es factible identificar la relación dosis-respuesta no se puede lograr una buena cuantificación del daño debido a la emisión.

**Tabla III.5 Efectos en la salud tratados por estudio científico y literatura económica.**

	Estudio Científico	Literatura Económica
<b>Mortalidad</b>		
Muertes provocadas	✓	✓
Años de vida perdidos		✓
<b>Enfermedad Respiratoria</b>		
Admisiones Hospitalarias (todo tipo)	✓	✓
Admisiones casuales/emergencia		✓
Síntomas respiratorio bajo		✓
<b>Causas adicionales de Cáncer</b>		
Pulmón	✓	✓
Leucemia	✓	✓
Angiosarcoma	✓	
Fatal (todo tipo)		✓
No fatal (todo tipo)		✓
<b>Admisiones Hospitalarias Cardiovasculares</b>	✓	
<b>Malformaciones Congénitas</b>		



	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---



Tubo neural	✓	✓
Cardiovasculares	✓	✓
Hipospadia y epispadia	✓	
Pared abdominal	✓	✓
Gastrosquisis y exónfalo	✓	✓
Bajo peso al nacer	✓	
Muy bajo peso al nacer	✓	

Fuente: DEFRA (2004)

En algunos casos los economistas tratan de lograr ese valor mediante los costos de limpieza de la emisión, o los gastos para curarse de un determinado padecimiento que se cree puede ser debido a la emisión. En ninguno de esos casos se está aproximando realmente a la verdadera pérdida de bienestar del individuo, porque no se está cuantificando realmente el daño causado. La tabla III.6 del estudio de la Comisión Europea de 2000 muestra el estado del conocimiento del daño debido a las emisiones de un rellenos sanitario a partir de la identificación de las relaciones dosis-respuesta.

**Tabla III.6 Visión general del conocimiento del daño causado por las emisiones de rellenos sanitarios, ilustrado como relaciones de dosis-respuesta.**

Daño (Respuesta)	Medio	Efectos a la Salud		Cosecha más baja	Desaparición de los bosques	Daño a edificios	Efectos sobre el clima	Ecosistemas
		Mortalidad	Morbilidad					
Emisión (Dosis)								
CH <sub>4</sub>	Aire						*	(( ))
CO <sub>2</sub>	Aire						*	(( ))

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

COV	Aire	(*)		(( ))				
Dioxinas 1)	Aire	(*)	(*)					((*)
Polvo	Aire	((?))	((?))			((?))		
Lixiviado	Tierra y agua	((?))	((?))					((?))

Fuente: European Commission (2000)

Explicación: \* Efecto medible, (\*) efecto parcialmente medible, ((\*)) efecto no medible, (( )) no medible pero efecto menor, ((?)) no medible pero efecto incierto, en blanco: efecto no conocido.

1) Solo cuando el gas del relleno se incinera o se utiliza para recuperar energía.

Ya se dijo que actualmente las emisiones atmosféricas cuentan con los mejores resultados en lo que a su cuantificación se refiere. La diferencia de estas con respecto a las emisiones al suelo y al agua es que las primeras son más inmediatas y es relativamente más fácil lograr una relación dosis-respuesta. Además, algunas emisiones tienen impactos de envergadura global que por su visibilidad cuentan con buenas mediciones. Es el caso de los gases que contribuyen al calentamiento global y que corresponden al metano y al dióxido de carbono.<sup>9</sup>

Por su parte, las emisiones al agua y al suelo son más difíciles de rastrear. Diversos procesos naturales hacen que sus efectos solamente sean perceptibles de manera indirecta y en algunos casos no se conoce exactamente en donde se harán presentes. En otros casos la temporalidad de sus efectos no es inmediata y algunas veces sus implicaciones son visibles décadas después de cerrado el relleno (Vease European Commission (2000)).

Finalmente, las des amenidades son los impactos sobre los cuales hay más desconocimiento. Una explicación para ello es que las pérdidas de amenidad están más

<sup>9</sup> Debido a que el metano tienen implicaciones globales no parece que estos efectos deban ser compensados entre la comunidad afectada de La Pradera. Algunas investigaciones indican que estos gases tienen efectos nocivos sobre la agricultura y la salud de la población, pero no existe una medida confiable de estos efectos; por lo tanto sus efectos sólo se tienen en cuenta en sus implicaciones al calentamiento global (véase la tabla III.6)

basados en la experiencia sensorial y no en un efecto físico o material (European Commission (2000)). Por ejemplo, el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) que está muy relacionado con los malos olores no parece tener implicaciones en la salud. Lo mismo puede decirse de la basura que es arrastrada por el viento. También es cierto que muchas de las desamenidades tales como los roedores y los gallinazos, lo mismo que la basura al viento se pueden evitar con una mejor cobertura de la basura dispuesta en el relleno (European Commission (2000)). Adicionalmente, los tres estudios muestran que los métodos de valoración contingente a partir de los cuales se pregunta la disposición a pagar (DAP) por reducir el total de días de ruido y tráfico arrojan resultados que son insignificantes para estas desamenidades.

Una forma de cuantificar las desamenidades es mediante el método de precios hedónicos a partir del cual se busca dar cuenta de la reducción en el valor de la vivienda por la cercanía a un relleno sanitario. En todos los casos se observa que solamente las viviendas en un radio inferior a las 3,4 millas (5.5 kilómetros) de distancia del relleno ven reducidos sus precios. La tabla III.7 de la Comisión Europea de 2000 muestra la manera en que se reducen los precios de las viviendas en función de la cercanía al relleno. La estimación econométrica resultante de los precios hedónicos muestra que el porcentaje de cambio en el precio de la vivienda (PV) está determinado por la formula:



$$\Delta PV = 12.8\% - 3.76\% * D$$

Donde D es la distancia en millas de la casa al relleno.<sup>10</sup>

**Tabla III.7 Resultados numéricos de la función de DAP estimada**

Distancia del sitio en millas	Reducción del precio de la vivienda en %
0	12.8%

<sup>10</sup> La formula es válida en millas.

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

1	9.0%
2	5.2%
3	1.4%
3.4	0%

Fuente: European Commission, 2000

Hay dos formas de lograr un valor para las des amenidades debidas a un relleno. Una es en unidades monetarias por sitio. Sin embargo, la mejor forma de expresar este valor es en términos de unidades monetarias por tonelada de basura depositada. El estudio de la Comisión Europea muestra en la tabla III.8 la “mejor estimación” para el valor de las des amenidades debidas al relleno sanitario. Por su parte el estudio de DEFRA (2004) también tiene sus propias estimaciones de las des amenidades basados en precios hedónicos la cual se muestra en la tabla III.9. Tal y como ya se indicó, la posición conservadora implica que para el caso de La Pradera la mejor estimación es el límite inferior.



### III.8. Estimados de valoración de des amenidades (pesos de 2006 por tonelada de RSM depositado)

Tipo	Mejor estimación	Estimación inferior	Estimación superior
Costos de des amenidad en los rellenos	8.042,05	4.531,19	15.465,48

Fuente: European Commission (2000)

**Tabla III.9. Resumen de los resultados de impactos de des amenidad de estudios primarios. Pesos de 2006/ton de RSM depositado en el relleno**

Impacto del estudio	Bajo	Alto	Mejor estimación
Científico			
método de los precios hedónicos	2.797,88	4.017,76	2.797,88 - 4.017,76

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---



Fuente: DEFRA (2004)

La extrapolación de estos valores en el caso de La Pradera no parece soportarse en la práctica. Los resultados de una encuesta exploratoria realizada en la zona de afectación del relleno sugieren que los pobladores ubicados a menos de 3 kilómetros de este no perciben reducciones en el valor de sus predios (solamente el 20% de los entrevistados indicó que los valores de las propiedades se han reducido). Obviamente un relleno sanitario debe reducir el valor de la propiedad ubicada en su cercanía (Eshet et al (2006)), pero lo que puede explicar esta percepción de las comunidades es la visión que ellas tienen de sus propiedades. Se trata de familias pobres dentro de los dos primeros niveles del Sisben. Para ellas la tenencia de la tierra no corresponde a un fin comercial, la tierra se valora no en su precio de mercado sino en un precio intangible que normalmente es ajeno a las fluctuaciones de la oferta y la demanda. Los estudios internacionales no incorporan este tipo de precios intangibles dentro de las variables de estimación y por consiguiente allí siempre se reducen los precios de los predios cercanos al relleno.

Pero que no exista una percepción de mercado (apoyada en la casi inexistencia de un mercado de la tierra en la zona) no quiere decir que el valor comercial no disminuya y en ese caso la estimación internacional puede ser aplicable en el caso de La Pradera. Sin embargo, se sugiere realizar estudios propios que permitan determinar la ecuación local de cambio porcentual del valor de la propiedad en función de la distancia al relleno.<sup>11</sup>

Retornando a las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo, la tabla III.10 del DEFRA (2004) muestra las valoraciones por tipo de efecto de los distintos contaminantes emitidos a la atmósfera. Allí se dan cuenta de efectos en la salud, en las construcciones y en la agricultura. Un contaminante puede tener dos valoraciones distintas dependiendo de cuantos efectos posea. En esa tabla las valoraciones se dan por tonelada de emisión del contaminante.

<sup>11</sup> En la parte III se hace un ejercicio de cuantificación recurriendo a datos locales. Es interesante comparar el resultado allí obtenido con los valores mostrados en las tablas II.8 y II.9.

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

**Tabla III.10. Estimaciones en \$ de 2006/ton de contaminante de rellenos sanitarios en el Reino Unido.**



	Cobertura	Punto central bajo	Punto central alto
PM 10	Solo efectos en la Salud	161.097,98	1.025.623,80
SO <sub>2</sub>		670.064,03	2.969.462,55
En salud	Solo efectos en la salud	418.254,39	2.717.652,91
En materiales	Materiales	251.809,64	251.809,64
NO <sub>x</sub>	Efectos en la salud por los contaminadores secundarios, pero excluyendo el ozono	154.093,72	977.594,59
VOC (compuestos orgánicos volátiles)		256.844,42	659.089,08
En salud	Efectos en la salud incluyendo el ozono	3.001,83	405.246,48
En cosecha	Daños en la cosecha, incluyendo el ozono	253.842,60	253.842,60

Fuente: DEFRA (2004)

Lo propio hace la Comisión Europea en el 2000 y el resultado de su transferencia de beneficios se muestra en la tabla III.11. Nuevamente en el caso de La Pradera la mejor estimación es el límite inferior. Al igual que en caso del DEFRA (2004) los resultados se expresan en unidades monetarias por tonelada de emisión del contaminante.

**III.11. Estimados de valoración de emisiones de aire. \$ de 2006/ton de emisión**



Tipo de emisión	Mejor estimado	Estimado inferior	Estimado superior
CO <sub>2</sub>	3.144,96	235,87	3.931,19

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
--	--	--

CH <sub>4</sub>	117.935,82	55.036,72	238.230,35
N <sub>2</sub> O	1.179.358,18	1.179.358,18	1.179.358,18
Material particulado	18.869.730,94	9.827.984,87	25.631.384,53
SO <sub>2</sub>	7.076.149,10	3.223.579,04	10.221.104,26
NO <sub>x</sub>	12.579.820,63	2.586.725,62	16.868.753,23
VOC	1.179.358,18	595.182,76	2.327.266,82
CO	3.931,19	1.572,48	7.076,15
As	471.743.273,60	127.370.683,87	918.326.905,95
Cd	39.311.939,47	15.724.775,79	74.692.684,99
Cr	393.119.394,67	104.569.758,98	753.216.760,19
Ni	7.862.387,89	2.358.716,37	15.724.775,79
Dioxinas	7.862.387.893,39	1.839.576.261,48	13.861.452.755,15

Fuente: European Commision, 2000

DEFRA (2004) no presenta una tabla en la cual se muestran los valores de las emisiones al agua y al suelo. Ello se debe a que este estudio considera que no existen investigaciones que logren apropiadas cuantificaciones del lixiviado y sus distintos componentes. Además, también justifican la no inclusión de estudios sobre lixiviados argumentado que las metodologías aplicados por ellos no están acordes con los términos de referencia establecidos por el DEFRA. En ese caso su aporte se queda en sugerir la importancia de

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---



realizar investigaciones que disminuyan el desconocimiento sobre el lixiviado y sus efectos ambientales (DEFRA (2004)).

Por otra parte, el estudio de la Comisión Europea sí muestra resultados para emisiones al agua y al suelo. Las tablas III.12 y III.13 muestran los valores en términos de tonelada de basura depositada en el relleno. La variabilidad de los intervalos está en función de la técnica usada para capturar el lixiviado. De acuerdo a este estudio, una técnica apropiada permite capturar casi la totalidad del lixiviado, el cual según algunas estimaciones alcanza los 150 litros por tonelada de basura durante un periodo de treinta años. El estudio de la Comisión Europea da por descontado que el lixiviado recogido será depurado apropiadamente antes de ser vertido en un cuerpo de agua de tal manera que no existe un efecto por tal vertimiento.

**Tabla III.12. Resumen de los resultados de la valoración de emisiones al suelo y al agua. En \$ de 2006**

Tipo de emisión	Por tonelada de emisión al agua	Por tonelada de emisión al suelo
Plomo (Pb)	133.178.993,53	3.740.982,96
Cadmio (Cd)	465.378.280,76	1.132.769.641,60
Mercurio (Hg)	764.656.917,91	27.683.273,94
Dioxinas	47.005.367.896.989,20	n,d
Antimonio (Sb)	90.805.627.689,78	90.805.627.689,78
Arsénico (As)	230.444.550,60	8.978.359,11
Bario (Ba)	23.194.094,38	27.683.273,94
Berilio (Be)	33.614.976.524,29	33.614.976.524,29



	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Cobre (Cu)	3.740.982,96	748.196,59
Cromo (Cr)	13.077.728.246,71	239.422.909,72
Níquel (Ni)	8.978.359,11	2.992.786,37
Selenio (Se)	12.064.670.059,97	12.064.670.059,97
Zinc (Zn)	748.196,59	748.196,59

Fuente: Commission European, 2000



**III.13. Estimados de valoración de emisiones al agua y al suelo. \$ de 2006/ ton de RSM depositados en el relleno<sup>12</sup>**

Lixiviado	Mejor estimado	Estimado inferior	Estimado superior
L1	0,00	0,00	755,68
L2	1.137,26	755,68	1.518,84

Fuente: European Commission (2000)

Tal condición no es necesariamente aplicable en Colombia ya que la norma indica que solamente se requiere una depuración del 80% del total que se vierte a los cuerpos de agua. Dadas las concentraciones de contaminantes del lixiviado se espera que el efecto de ese 20% sea significativo. Otro factor a tener en cuenta es la composición de la basura en la generación de lixiviado. Las estimaciones de la Comisión Europea suponen que los orgánicos ocupan entre el 40 y el 60% de total de la basura depositada. Por lo menos la composición de la basura que llega al relleno sanitario parece satisfacer los supuestos

<sup>12</sup> El estudio de la Comisión Europea de 2000 utiliza dos notaciones diferentes para referirse a dos tipos de rellenos sanitarios. L1: es un relleno sanitario que captura el lixiviado tiene planta de tratamiento del mismo y atrapa gas para generar electricidad y calor. L2: es un relleno que no captura y no trata el lixiviado y tampoco captura gas. En el caso de La Pradera el relleno se acerca a L1 en lo que respecta al lixiviado y es L2 en lo que se refiere a la captación de gas. No es completamente L1 en lixiviado porque bajo el estándar de Europa un L1 depura casi el 100% del lixiviado. En Colombia ese porcentaje es del 80% de acuerdo a la norma vigente.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

Europeos ya que de acuerdo al PGIR de Medellín el 59.48% del total de la basura generada en la ciudad corresponde a residuos orgánicos.<sup>13</sup> Habría que considerar variables adicionales como la infiltración de agua de lluvia, la técnica de captación y todo un listado de elementos mencionados por el estudio de la Comisión Europea de 2000 para establecer bases de comparación con las cuantificaciones logradas por ese estudio.

Tal y como lo indica Eshet et al (2006) no es fácil encontrar estudios que reporten cuantificaciones en unidades monetarias por tonelada de RSM depositado en el relleno. En los estudios del DEFRA (2004) y la Comisión Europea de 2000 las emisiones a la atmósfera se reportan en términos de las toneladas de emisión. Se reportan valores en términos de basura depositada para el caso de las emisiones al agua y al suelo en el caso de la Comisión Europea y para las desamenidades en ambos estudios. En este sentido la tabla A.2 del anexo tomada de Eshet et al (2006) da cuenta de una valoración monetaria en unidades de basura depositada.



Es importante observar que de los gases recogidos en los estudios del DEFRA y la Comisión Europea solamente el metano y el dióxido de carbono logran cuantificación por tonelada de basura, lo cual no es extraño dada la popularidad de la que gozan estos gases. Los autores no aclaran cuáles son los otros “gases convencionales” emitidos, ni cuáles son las emisiones que se toman en cuenta para cuantificar el transporte.

#### **IV. Estimación del valor de los impactos**

En esta parte se intentan cuantificaciones de los impactos de La Pradera a partir de información local. Los resultados aquí obtenidos pueden o no estar en concordancia con los valores mostrados en las tablas anteriores. Debido a la incertidumbre existente en los estudios internacionales, de una parte, y a las debilidades informacionales en el caso de La Pradera, de otra parte, no puede afirmarse cuáles valores son los realmente válidos en este

---

<sup>13</sup> No es de esperarse que esa composición cambie significativamente dentro del resto de usuarios del relleno sanitario.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS  PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL  DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

caso en particular. Sin embargo, sí se considera que las valoraciones aquí calculadas se hacen con apego a las metodologías de cálculo existentes en los tres estudios. Además, al utilizarse información local se está logrando una cuantificación más aproximada a las condiciones locales.



### **A. Efectos por contaminación del aire, suelo y aguas.**

La transferencia de beneficios realizada en función a los impactos ocasionados sobre estos tres elementos, estuvo limitada por la disponibilidad de información que como en las otras dimensiones, se tiene en el escenario local. Cada uno de los valores o rangos de valor presentados en los documentos del DEFRA (2004), la Comisión Europea 2000 y Eshet et al (2006) trataron de ajustarse a las particularidades generadas en los procesos de disposición y tratamiento de residuos sólidos en Colombia, específicamente las que se tienen con el funcionamiento del relleno sanitario (RS) “La Pradera”. Para esto, se abordaron fuentes tanto primarias como secundarias,<sup>14</sup> se visitó expertos y se contó con la ayuda de representantes especializados en el tema que permitieron conocer la validez de la información encontrada, identificar vacíos y avalar, además, el uso de estadísticas alternativas en aquellos casos donde era imposible obtener un valor apropiado a partir del conocimiento que se tiene de las condiciones locales.<sup>15</sup>

Los valores definidos por la Comisión Europea de 2000, el DEFRA de 2004 y lo presentado en el estado de arte de Eshet et al de 2006, se han construido a partir de los resultados alcanzados en estudios previos implementados en Estados Unidos, El Reino Unido y la Unión Europea. Todos han sido obtenidos combinando en diferentes proporciones estudios científicos y económicos. Así, en el caso de efectos sobre la salud, en DEFRA de 2004, más del 75% del trabajo se dedica al análisis científico de los cambios en

<sup>14</sup> En las fuentes primarias se tienen los datos suministrados directamente por Empresas Varias de Medellín, En los datos secundarios están los aportados por el PGIR de Medellín. Ambos aparecen referenciados en la bibliografía.

<sup>15</sup> En la nota de agradecimiento se indica quienes fueron las personas de quienes recibimos colaboración y aporte en este sentido.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

la salud humana como consecuencia de alteraciones en la cantidad de elementos que componen el aire, suelo o agua. En contraste, el efecto por des amenidades implica un 100% de estudios económicos.

Los valores que a continuación se van a presentar, deben ser entendidos como el resultado de un ejercicio didáctico a través del cual se espera generar resultados utilizando fórmulas ya aplicadas en países donde el tema se ha investigado con mayor profundidad. Si bien estos valores por ningún motivo deben considerarse como la cantidad a compensar si pueden servir de referencia en el lineamiento de políticas o tomas de decisión. Debe entenderse que los insumos de información básicos requeridos para obtener dichos valores no existen en Colombia, que las condiciones naturales bajo las cuales se emiten diversos tipos de contaminantes varían entre diversos puntos geográficos, que los costos de salud y productividad tampoco son similares entre los países referentes y Colombia y que incluso, la población afectada entre uno y otro escenario varía significativamente.

### **1. Impactos sobre el aire:**

La información requerida para la realización de cuantificaciones en términos de impactos sobre la salud, implica la existencia de estudios continuos sobre las cantidades de contaminantes emitidas por el funcionamiento del relleno que permitan su ajuste a medidas en términos de masa. Por ejemplo, se requiere saber cuántos kilogramos de PM10, Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC por sus siglas en inglés), NO<sub>x</sub> o SO<sub>2</sub> son emitidos en el tiempo por disposiciones realizadas en el relleno si se les quiere asociar un valor por efectos en la salud. Así mismo, el conocimiento de dichas cantidades permite asociar valores a pérdidas de productividad en cultivos, deterioro de infraestructura o materia expuesta a cierto tipo de partículas, destrucción de hábitats y ecosistemas e impactos sobre el calentamiento global.

A la hora de aplicar los anteriores valores al caso del RS “La Pradera”, sin embargo, este tipo de información no existe o se presenta en medidas incompatibles con las unidades

requeridas para dicha valoración. Datos suministrados a partir de un estudio contratado por Empresas Varias de Medellín,<sup>16</sup> junto con otros entregados directamente por esta institución fueron empleados para la obtención de variables como las citadas en las tablas IV.1 a IV.5, obteniéndose algunas de ellas en medidas de concentración que en el caso de los VOC y PM10 no fue posible transformar. Solo en el caso del mercurio, plomo, cobre, cadmio y cromo, se tiene la fórmula  $(Y \text{ mg/m}^3) * (24,45) / (\text{peso molecular})$  que permitió pasar los valores obtenidos de estos elementos de  $\text{mg/m}^3$  a gramos. Por tanto, la transferencia de beneficios solo se realiza en función de estas variables.



Las siguientes tablas, muestran la disponibilidad de información que se tiene para el caso del Relleno Sanitario La Pradera:

**Tabla IV.1: Resultados del Monitoreo de Material Particulado, zona de disposición final La Música**

**Equipo: Hi Vol y PM 10**

Fecha	Lugar	Concetración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
2003	Entrada Pradera	643,2
	Escuela	257,9
	Zona de tratamiento	295
	Separación	81,7
	Disposición	318,6
2004	Entrada Pradera	138,83
	Oficinas	98,86
	Zona de tratamiento	251,88
	Vaso de la Carrilera	113,65
	Musica	54,30
2005	Entrada Pradera	112,00
	Oficinas	98,00

<sup>16</sup> Plan de Monitoreo y seguimiento de variables ambientales del relleno sanitario Curva de Rodas y parque ambiental La Pradera. Convenio 109/2004 EEVVM E.S.P - U de A.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

	Zona de tratamiento	451,00
	Vaso de la Carrilera	221,00
	Musica	594,00



Fuente: Empresas Varias de Medellín. Convenio 109 de 2004

**Tabla IV.2: MEDICIONES DE BIOGAS**

Año	Lugar	% CH <sub>4</sub>	% CO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub> S	% CO
2003	Planta de tratamiento	ND	0,18	ND	ND
	Planta de Separación	ND	1,75	ND	ND
	Plataforma de disposición	ND	0,19	ND	ND
2004	Zona de disposición La Música Punto 1	0,001702	ND	ND	0,00276
	Zona de disposición La Música Punto 2	0,006028	ND	ND	0,007418
	Zona de disposición La Carrilera	0,03467	ND	ND	0,00102
2005	Zona de disposición La Música Punto 1	ND	ND	ND	ND
	Zona de disposición La Música Punto 2	ND	ND	ND	ND
	Zona de disposición La Carrilera	ND	ND	ND	ND

Fuente: Empresas Varias de Medellín. Convenio 109 de 2004



Observaciones:

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

ND. No detectable. No se detecta la presencia de la sustancia química bajo análisis  
 ppm: % compuesto \*10.000

**Tabla IV.3: Metales en el aire**

Año	Ubicación	Cobre µg/m <sup>3</sup>	Cadmio µg/m <sup>3</sup>	Plomo µg/m <sup>3</sup>	Cromo µg/m <sup>3</sup>	Mercurio µg/m <sup>3</sup>
2003	Entrada al parque – Puente sobre el río Medellín	0,031548	0,00003	0,06228	0,01046	0,00007
	Entre oficina y antigua escuela	0,10046	0	0,05649	0,00843	0,00008
	Zona de tratamiento	0,34403	0,00019	0,06587	0,00895	0,00011
	Área de disposición final La Carrilera	0,05336	0,00255	0,14084	0,0073	0,00057
	Área de disposición final La Música					
2004	Entrada al parque – Puente sobre el río Medellín	0,001888	<LDM*	<LDM	<LDM	0,00000773
	Entre oficina y antigua escuela	0,003431	<LDM	<LDM	<LDM	0,0000108
	Zona de tratamiento	0,03472	<LDM	<LDM	<LDM	0,0000101
	Área de disposición final La Carrilera	0,004536	<LDM	<LDM	<LDM	0,00000407
	Área de disposición final La Música	0,002652	<LDM	<LDM	<LDM	0,00000342
2005	Entrada al parque – Puente sobre el río Medellín	0,00517	<LDM	0,00092	<LDM	0,00700
	Entre oficina y antigua escuela	0,01319	<LDM	0,00099	<LDM	0,00431
	Zona de tratamiento	0,00749	<LDM	0,00484	<LDM	0,02496

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

	Área de disposición final La Carrilera	0,00968	<LDM	0,00260	<LDM	0,01280
	Área de disposición final La Música	0,07144	<LDM	0,00664	<LDM	0,01176



Fuente: Empresas Varias de Medellín. Convenio 109 de 2004

\*LMD: Límite de detección del método

**Tabla IV.4: Metales en el aire: Unidades en gramos**

<b>Cobre Mw 63,546</b>	<b>Cadmio Mw 112,40</b>	<b>Plomo Mw 207,2</b>	<b>Cromo Mw 51,996</b>	<b>Mercurio Mw 200,59</b>
0,049016118	8,24454E-05	0,31551297	0,01329782	0,00034331
0,156084672	0	0,2861806	0,01071708	0,00039235
0,534519308	0,000522154	0,33370005	0,01137815	0,00053949
0,082905416	0,007007859	0,71350107	0,00928051	0,00279552
0	0	0	0	0
0,002933385	n.d	n.d	n.d	3,7911E-05
0,005330744	n.d	n.d	n.d	5,2968E-05
0,053944454	n.d	n.d	n.d	4,9535E-05
0,007047582	n.d	n.d	n.d	1,9961E-05
0,004120412	n.d	n.d	n.d	1,6773E-05
0,008032627	n.d	0,00466076	n.d	0,03433098
0,020493299	n.d	0,00501538	n.d	0,02113807
0,011637211	n.d	0,02451963	n.d	0,12241446
0,015039813	n.d	0,0131717	n.d	0,06277665



	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

0,110996307	n.d	0,03363851	n.d	0,05767604
-------------	-----	------------	-----	------------

Fuente <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2004-101/calc.htm>

\*En gramos: fórmula (Y mg/m<sup>3</sup>)(24,45)/(molecular weight)

MW: Molecular weight (peso molecular)



**Tabla IV.5: VOC**

Año	Estación	Número de lectura (ppm)					Valor
		1	2	3	4	5	Máximo
2003	Zona de Disposición Final	0,005					
	Zona de Separación	0					
	Zona de Tratamiento	0,003					
2004	Donde se realiza disposición en el momento (La musica)	0,30	0,20	0,20	0,70	0,20	10,00
	Borde de la primera plataforma, no se ha dispuesto material de cobertura	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Punto medio en la plataforma de disposición	2,30	1,70	1,20	0,20	0,20	23,00
	Área de disposición final La Carrilera	ND	ND	0,30	0,20	ND	ND



2005	Donde se realiza disposición en el momento (La Musica)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	2
	Borde de la primera plataforma, no se ha dispuesto material de cobertura	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	2
	Punto medio en la plataforma de disposición	2,4	0,3	0,4	0,3	0,2	2
	Área de disposición final La Carrilera	0	0,4	0	0,4	0,6	6
	Zona aledaña a las oficinas de operación	0	0	0	0,2	0	1
	Zona de biotratamiento	0	0	0,2	0,3	0,2	1
	Punto ubicado aleatoriamente sobre el lugar de disposición que se encontraba en funcionamiento en el vaso de la Música	0	0,6	0,6	0,6	0,2	13

Fuente: Empresas Varias de Medellín. Convenio 109 de 2004

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Utilizando los valores sobre metales pesados mostrados en tabla IV.4, el rango de 293-1916U\$/(kg emitido) presentado por Eshet et, al 2006<sup>17</sup> y las fórmulas expuestas para transformación a pesos colombianos de 2006 detalladas en la primera parte se tiene lo siguiente:

**Tabla IV.6 Estimaciones por emisión de metales al aire utilizando monitoreos realizados en Pradera**

Año 2003	Sumatoria metales pesados liberados (mercurio, plomo, cobre, cromo, cadmio) (Gramos)	Limite inferior –pesos de 2006-- (Valorando a 293 dólares de 2003/kg el conjunto de metales pesados emitidos)	Limite superior –pesos de 2006-- (valorando a 1916 dólares 2003/kg el conjunto de totales pesados emitidos)
Entrada al parque – Puente sobre el río Medellín	0,378252	\$ 64.756	\$ 423.453
Entre oficina y antigua escuela	0,4533747	\$ 77.616	\$ 507.552
Zona de tratamiento	0,88065916	\$ 150.766	\$ 985.896
Área de disposición final La Carrilera	0,81549038	\$ 139.609	\$ 912.939

Fuente: Empresas Varias de Medellín. Convenio 109 de 2004

Donde solo se calculan los costos para el 2003 por ser el único año que presenta mediciones para todos los metales nombrados.<sup>18</sup>



<sup>17</sup> Este rango aparece en la tabla A.1 del anexo expresado en pesos de 2006 por tonelada de emisión.

<sup>18</sup> Estas mediciones solamente fueron realizadas un sólo día del año. Para obtener los valores calculados se se supone que dichas medidas son estándar para los 1279 días de funcionamiento que hasta Diciembre 31 de 2006 llevaba de funcionamiento el relleno.

La tabla IV.7 tomada del estudio de la Comisión Europea de 2000 presenta las estimaciones teóricas de las emisiones por tonelada de residuos sólidos municipales depositados en un relleno.

**Tabla IV.7 valores para los factores de emisión del aire de los Rellenos sanitarios (en g o mg/tonelada de RSM depositado)**

g/tonelada	Estimación Inferior		Mejor estimación		Estimación superior	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2
CH4	23.572	39.286	35.357	58.929	47.143	78.572
CO2	-64.822	-108.037	-97.233	-162.055	-129,644	-216.073
CO	33	1	49	2	66	3
H2S	12	20	18	30	24	40
HCl	4	7	7	10	9	13
HF	1	1	1	2	2	3
HC	122	200	184	300	245	400
Cl HC	3	4	4	5	5	7
PM10	0,2	-	0,3	-	0,3	-
NOx	4	-	6	-	8	-
SOx	1	-	2	-	2	-
<b>mg/toneladas</b>						
Dioxinas	0,00003	-	0,00005	-	0,00006	-
Cd	0,3	0,6	0,5	0,8	0,7	1,1
Cr	0,04	0,07	0,06	0,1	0,08	0,1

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Pb	0,3	0,5	0,5	0,8	0,6	1,0
Hg	0,003	0,004	0,004	0,01	0,005	0,01
Zn	4,3	7,2	6,5	11	8,7	14

Las estimaciones inferiores y superiores se obtienen usando la gama de gas de relleno (GR) producido en los Rellenos sanitarios de RSM, el cual es 100-200 Nm<sup>3</sup> GR/tonelada RSM depositado.



Fuente: European Commision 2000

Con el ánimo de contrastar los resultados de la tabla IV.6, se presenta a continuación los rangos de valor encontrados cuando se utilizan los datos teóricos sobre emisión de metales pesados al aire presentados en tabla IV.7 de la Comisión Europea 2000. Dichos valores, se dan directamente en función de las toneladas de basura dispuestas, y toma en cuenta los años que los residuos requieren para realizar su proceso de desintegración completo. Nótese que aún cuando no se tiene en cuenta el cobre, porque su valor de emisión no es presentado en el documento, y aunque se escogen los límites inferiores para el escenario L2 (relleno sin recuperación de energía) los valores mostrados en la tabla IV.7 divergen ampliamente de los observados en IV.6 presentados a partir de las mediciones que se realizaron en Pradera.

**Tabla IV.8: estimaciones por emisiones en el aire utilizando valores teóricos**

Kilogramos generados por el total de basuras dispuestas en el relleno a Diciembre 31 de 2006 (para Cd, Cr, pb, hg)	Limite inferior –pesos de 2006-- (Valorando a 293 dólares 2003/kg el conjunto de metales pesados emitidos)	Limite superior –pesos de 2006-- (valorando a 1916 dólares 2003/kg el conjunto de totales pesados emitidos)
¿?	206.663.423	1.351.423.613

La explicación a la diferencia en los resultados entre emisiones teóricas y los obtenidos de los monitoreos radica en que los valores teóricos se determinan como la cantidad total que

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

una tonelada de basura libera en el tiempo. En el caso de los valores determinados para La Pradera, los mismos corresponden a las liberaciones específicas que para un día se realizan y por tanto pueden encontrarse en niveles inferiores a los que en promedio la descomposición de residuos puede generar.

Los efectos sobre la salud por exposición a metales pesados, están relacionados con cánceres mortales cuando los individuos se exponen a altas concentraciones de los mismos por largos periodos de tiempo. Con la información disponible para La Pradera, no es posible realizar más cálculos que determinen efectos sobre la salud. Se requieren mediciones prácticas junto con estimaciones teóricas de NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, dioxinas y HCL – HF para poder construir un rango de valor. Contar con tales datos permitirá calcular daños sobre cultivos, ecosistemas e infraestructura, ya que esos contaminantes están relacionados con dichos efectos.

## **2. Impacto sobre el agua:**

Los cambios en la calidad del agua y el suelo consecuencia de los lixiviados que se generan en el relleno, tienen también influencias negativas sobre la salud humana, cultivos y actividades productivas que se generen en su zona de influencia. En la literatura consultada, los valores económicos asignados a estos cambios se advierten deben tomarse con cuidado (DEFRA (2004), Comisión Europea 2000) ante la inexistencia de funciones dosis-respuesta o los senderos de exposición que permitan realizar estimaciones mejor elaboradas. De hecho, los valores que se presentan están expresados en función de los costos de remoción que se tendrían (principalmente en el recurso hídrico) de los elementos contaminantes.

Diversos tipo de partículas químicas son lanzados al agua y suelo en forma de lixiviados. Tal como se muestra en la tabla III.12 de la Comisión Europea en el 2000, se han diseñado valores expresados en costos por tonelada de emisión para valorar dichas emisiones. Así mismo, la agregación de estas emisiones da lugar a un rango de valor definido en la Comisión Europea 2000 como el costo mínimo y máximo por tonelada dispuesta (véase



	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

tabla III.13). Utilizando los datos de toneladas de basura dispuesta entre julio de 2003 y diciembre de 2006 se obtienen los siguientes rangos de valor.

**Tabla IV.9: Estimación por emisiones al agua y suelo utilizando rango por tonelada de basura**

Toneladas dispuestas a Diciembre de 2006	pesos de 2006 por total de basura dispuesta en “Pradera” a Diciembre 31 de 2006
2.401.197,78	1.703.919.693-3.424.709.878

También pueden considerarse los valores individuales para cada contaminante. Para ello se recurre a la tabla IV.10 tomada de la Comisión Europea.

**Tabla IV.10. Factores de emisión para los lixiviados de vertederos de residuos sólidos municipales (todos los factores en g/tonelada de residuos sólidos municipales vertidos)**

g/tonelada	Mejor estimación		Estimación inferior	Estimación superior
	L1	L2	L1	L2
<b>Sustancias orgánicas</b>				
Carbonilo, tritio	-	2.177	5	4.350
Butanol deuterado	-	4.277	3	8.550
Carbonilo, deuterio	-	11.411	21	22.800
Comp. Orgánicos con nitrógeno	-	189	2	375
<b>Macrocomponentes inorgánicos</b>	-			
Fósforo total	-	2	0.02	3
Cloruro	-	349	23	675
Sulfato	-	582	1	1.163



Carbonato de hidrógeno	-	595	92	1.098
Sodio	-	583	1	1.155
Potasio	-	281	8	555
Amonio	-	169	8	330
Calcio	-	541	2	1.080
Magnesio	-	1.127	5	2.250
Hierro	-	413	0.5	825
Manganeso	-	105	0.005	210
Silicatos	-	6	1	11
<b>Metales pesados</b>	-			
Arsénico	-	0.1	0.002	0.2
Cadmio	-	0.03	0.00002	0.1
Cromo	-	0.1	0.003	0.2
Cobalto	-	0.1	0.001	0.2
Cobre	-	1	0.001	2
Plomo	-	0.4	0.0002	1
Mercurio	-	0.01	0.00001	0.02
Níquel	-	1	0.002	2
Zinc	-	75	0.005	150

Notas

\*las mejores estimaciones son calculadas como la media aritmética de los inferiores y superiores estimaciones

Fuente: European Commission (2000)



	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

De la tabla anterior y de estadísticas de los monitoreos realizados en La Pradera se puede obtener un valor en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno para distintos componentes del lixiviado.

Dado que en La Pradera hay sistema de captación de lixiviado se puede suponer tal y como lo sugiere la Comisión Europea que no hay filtraciones al suelo (European Commission (2000)). En consecuencia solamente se van a calcular valores por tonelada de emisión al agua. Adicionalmente, también se utiliza la estimación presentada por el estudio de la Comisión Europea, según el cual se emiten 150 litros de lixiviados por tonelada dispuesta en un relleno a lo largo de 30 años.

**Tabla IV.11: estimación por emisiones al agua y suelo por elementos**

euros de 2000 por kg de emisión al agua*		Gramos/tonelada dispuesta		Valor en pesos de 2006 por el total de basuras dispuestas en Pradera a Diciembre 31 de 2006	
		Estimación mínima	Estimación máxima		
Plomo (Pb)	178 €	0,0002	1	\$ 440.760	\$ 2.203.799.786
Cadmio (Cd)	622 €	0,00002	0,1	\$ 154.018	\$ 770.091.835
Mercurio (Hg)	1.022 €	0,00001	0,02	\$ 126.533	\$ 253.065.548
Cobre (Cu)	5 €	0,001	2	\$ 61.904	\$ 123.808.977
Cromo (Cr 1)	17.479 €	0,003	0,2	\$ 649.217.131	\$ 43.281.142.094
Níquel (Ni)	12 €	0,002	2	\$ 297.142	\$ 297.141.544
Zinc (Zn)	1 €	0,005	150	\$ 61.904	\$ 1.857.134.651
Total				\$ 650.359.393	\$ 48.786.184.436

\* Los valores en Euros se toman de la tabla 5.14 del documento anexo del estudio de la Comisión Europea de 2000. La tabla II.12 de este documento presenta esos mismos valores en pesos de 2006 por tonelada de emisión.

Ahora, utilizando los valores encontrados en La Pradera:

**Tabla IV.12: emisiones al agua y suelo en Pradera**

Año	Monitoreos Pradera: mg/L		
	2003	2004	2005
Plomo (Pb)	0,26	0,026	0,085



Cadmio (Cd)	0,019	0,002	0,002
Mercurio (Hg)	0,0016	0,002	0,0057
Cobre (Cu)	0,078	0,0134	0,0134
Cromo (Cr I)	0,02	0,143	0,974
Níquel (Ni)	0,719	0,098	0,505
Zinc (Zn)	1,56	0,312	1,1

Fuente: Empresas Varias de Medellín. 2005

**Tabla IV.13: emisiones al agua y suelo en Pradera por tonelada de basura dispuesta**

Año	Monitoreos Pradera: Kg/ton		
	2003	2004	2005
Plomo (Pb)	0,000039	0,0000039	0,00001275
Cadmio (Cd)	0,00000285	0,0000003	0,0000003
Mercurio (Hg)	0,00000024	0,0000003	0,000000855
Cobre (Cu)	0,0000117	0,00000201	0,00000201
Cromo (Cr I)	0,000003	0,00002145	0,0001461
Níquel (Ni)	0,00010785	0,0000147	0,00007575
Zinc (Zn)	0,000234	0,0000468	0,000165

Fuente: Empresas Varias de Medellín. 2005



Convirtiendo de mg/L a Kg/ton asumiendo 150 litros de lixiviado por tonelada de relleno.

European Commission (2000)

Ahora, suponiendo que el valor presentado por cada año es el escenario de emisión que se tendría constantemente para emisiones por tonelada de basura:

**Tabla IV.14: estimación por emisiones al agua y suelo utilizando datos de Pradera (\$ de 2006)**

Año	Valor en pesos de 2006 por el total de basuras dispuestas en Pradera a Diciembre 31 de 2006		
	2003	2004	2005
Plomo (Pb)	\$ 85.948.192	\$ 8.594.819	\$ 28.098.447
Cadmio (Cd)	\$ 21.947.617	\$ 661.140	\$ 661.140
Mercurio (Hg)	\$ 3.036.787	\$ 661.140	\$ 1.884.249
Cobre (Cu)	\$ 724.283	\$ 4.429.638	\$ 4.429.638
Cromo (Cr I)	\$ 649.217.131	\$ 47.271.505	\$ 321.975.149

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Níquel (Ni)	\$ 16.023.358	\$ 32.395.857	\$ 166.937.834
Zinc (Zn)	\$ 2.897.130	\$ 103.137.830	\$ 363.626.965
Total	\$ 779.794.497	\$ 197.151.929	\$ 887.613.421

Como se observa en la tabla IV.14, todos los valores divergen notablemente en función de las mediciones realizadas para cada año. También se observa que comparado con el rango total de la tabla IV.11 los valores correspondientes a 2003 y 2005 se encuentran dentro del mismo. Habría que investigar que pasó en 2004.



Los datos encontrados en las últimas estimaciones son inferiores a los mostrados en la tabla IV.9 por dos razones. Primero, porque contempla valores muchos más extremos de emisión y segundo, porque no incluye todos los contaminantes que se emiten y están valorados en las tablas III.12 y IV.10.

Finalmente, como en el caso del aire, existen también implicaciones adicionales sobre el bienestar de los individuos relacionadas con las emisiones de lixiviados. Pero, dadas las condiciones de información que se tienen para Pradera, no es posible realizar un cálculo de las mismas.

### **B. Des amenidades**

De la tabla III.7 del estudio de la Comisión Europea de 2000 es posible obtener una estimación de valor de las des amenidades debidas al relleno sanitario de La Pradera. Específicamente es posible hallar una aproximación a la reducción en el valor de la propiedad en la zona de afectación del relleno. Es decir, se puede cuantificar la reducción en el valor de los predios en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno.

Dado que en el caso de La Pradera la zona de afectación del relleno sanitario se ha identificado dentro de un radio de tres kilómetros del relleno y como en el primer kilometro no existe población asentada entonces los cálculos se harán para un radio de entre 1 y 3

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS  PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL  DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

kilómetros.<sup>19</sup> De acuerdo a la tabla III.7 el valor de los predios comienza a decaer a una distancia de 3 millas al sitio del relleno. El DEFRA (2004) sugiere que el valor de los predios se incrementa en 3.684.870,68 pesos de 2006 por cada milla de distancia al relleno. (DEFRA (2004)). Utilizando las conversiones apropiadas y manteniendo las escalas equivalentes los cálculos se van hacer para una zona comprendida entre 1,6 y 3,2 kilómetros (1 y 2 millas) del relleno sanitario y con un incremento en el valor de los predios de 2.303.044,175 pesos de 2006 por kilómetro de distancia al relleno.

De lo anterior se obtiene la siguiente fórmula que permite cuantificar la depreciación total en el valor de la propiedad dentro de la zona establecida.

$$DT = 2 * 2.303.044,175 * Dn * \pi * (3,2^2 - 1,6^2)$$

Donde:

*DT*: es la depreciación Total



*Dn*: es la densidad de viviendas, medida en vivienda por kilómetro cuadrado

En un estado ideal se debería contar con el número total de predios dentro del radio estipulado o en su defecto la densidad de predios dentro del radio. Como ello no es posible y buscando ser conservadores se va a recurrir a la caracterización de la zona que se ha logrado a partir de las encuestas y visitas de campo, junto con algunos supuestos sobre densidades poblaciones dentro del área establecida.

Según la caracterización los tres kilómetros de radio del relleno sanitario comprenden el 25% de la vereda La Pradera y el 30% de la vereda Bellavista del municipio de Don Matías. El 20% del Uvito y Piedra Gorda y el 50% de La M, Las Beatrices y Vainillal. Todos estos

---

<sup>19</sup> Los estudios sugieren que el radio de reducción en el valor de los predios es hasta 5.5 kms (3 millas), pero las caracterizaciones ambientales en La Pradera indican que los efectos alcanzan hasta los 3 kms (2 millas) y como la guía del MAVDT de 2003 sugiere ser conservadores en la selección de la mejor estimación entonces por tal motivo se toma una zona entre 1.6 y 3.2 kms (1 y 2 millas) de distancia al relleno.

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---



en el municipio de Santo Domingo. Por el lado de Barbosa se tiene al 50% de la Cuesta y Pacho Hondo.

La siguiente tabla muestra los datos de extensión y vivienda de las veredas mencionadas.

Vereda	Área (kms <sup>2</sup> )	Número de viviendas
El Uvito	4,63	16
Las Beatrices	1,66	No disponible
La M	1,77	94
Piedra Gorda	9,87	103
Vainillal	1,76	31
Bellavista	17,91	215
La Frisolera	14,85	131
La Pradera	6,18	54
La Cuesta	4,07	101
Pacho Hondo	1,7	65

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación Departamental



Suponiendo que la densidad de viviendas es constante a lo largo del territorio de las veredas y a partir de las proporciones territoriales de cada una de estas dentro de los tres kilómetros de distancia del relleno, se tiene que el área afectada por vereda junto con el total de viviendas afectadas y su correspondiente densidad de vivienda por kilómetro cuadrado son los siguientes:

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Vereda	Área (kms <sup>2</sup> )	Número de viviendas	Vivienda /km <sup>2</sup>
El Uvito	0,926	3,2	3,455723542
Las Beatrices	0,83	No disponible	
La M	0,885	47	53,10734463
Piedra Gorda	1,974	20,6	10,43566363
Vainillal	1,76	15,5	8,806818182
Bellavista	5,373	64,5	12,00446678
La Frisolera	2,97	26,2	8,821548822
La Pradera	1,545	13,5	8,737864078
La Cuesta	2,035	50,5	24,81572482
Pacho Hondo	0,85	32,5	38,23529412

La caracterización de la zona indica que en las veredas La M y las Beatrices de Santo Domingo existe diferencia con respecto a las demás veredas afectadas en términos de la calidad de los predios. Las visitas a la zona muestran que en estas veredas las fincas gozan de mayor equipamiento y mejores características arquitectónicas que el resto de las veredas en ese caso se van a tomar las Beatrices y La M separadas del resto de veredas.

Debido a que no existe un dato acerca del número de viviendas en las Beatrices se va a suponer que la densidad de vivienda es la misma de La M. Por consiguiente en las Beatrices y La M la densidad de viviendas es de 53,11 viviendas/km<sup>2</sup>. En lo que respecta al resto de veredas la densidad promedio es igual a 14,41 viviendas/km<sup>2</sup>. A partir entrevistas a pobladores de las distintas veredas se puede inferir que el valor del metro cuadrado en la zona fluctúa entre 3.125 y 12.500 pesos de 2006. La separación que aquí se hace intenta

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---



reflejar esa diferencia en los precios de la tierra tal y como lo muestran el diferencial de precios por metro cuadrado.<sup>20</sup> Suponiendo que la menor densidad poblacional no corresponde a La M y las Beatrices se tiene que en un radio de entre 1.6 y 3.2 kilómetros de distancia del relleno la depreciación total oscila entre 1.601.431.449,45 y 5.902.291.761,31 pesos de 2006. Ajustado a valor presente con una tasa de descuento del 3.5%, tal y como lo indica el estudio de DEFRA (2004) y suponiendo 20 años de funcionamiento del relleno se obtiene que la depreciación anual está entre un rango de valor de 105.271.183,9 y 387.991.157,1 pesos de 2006.

A partir de datos suministrados por Empresas Varias de Medellín se sabe que en La Pradera se deposita un promedio anual de 600.299,445 toneladas de basura por año (en el periodo comprendido entre 2003 y 2006). Dividiendo la depreciación anual por este valor promedio se obtiene que la reducción en el valor de los predios en un radio entre 1.6 y 3.2 kilómetros del relleno está entre 175,36 y 646,33 pesos de 2006 por cada tonelada de basura depositada en el relleno.

Recuérdese que este rango de valor da cuenta de diferencias en el valor de los predios. Es bueno contar con un solo valor que determine la depreciación total en el valor de los predios independientemente de esa diferenciación. Sin embargo, las visitas de campo mostraron que hay diferencia en la percepción de los predios por parte de distintos propietarios en la zona. Ya se indicó más arriba que la falta de un mercado de tierras solamente permite la obtención de precios subjetivos y que estos no tienen porque responder a las leyes de la oferta y la demanda. No obstante esta característica de buena parte de los predios cercanos al relleno, no puede desconocerse que ellos también poseen un valor comercial y eso se puede ver en el hecho de que en las Beatrices y la M un uso de suelo diferente se traduce en un mayor valor de los predios (\$12500 por metro cuadrado).

---

<sup>20</sup> Más adelante se vuelve sobre esta diferenciación.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

Dado que sus propietarios tienen motivaciones distintas por ellos, es de esperarse que la apreciación monetaria de los mismos sea distinta.

Ya que estos predios no son la única propiedad de sus dueños y tampoco le sirven como medio de sustento hay una forma distinta de valorarlos y seguramente esta valoración está dada en términos de un precio de mercado, o al menos de un precio más cercano a este. Se puede esperar, que por tal motivo, una valoración menos subjetiva de los predios arroje un precio por metro cuadrado cercano a los 12.500 pesos. Tampoco puede desconocerse que este valor también se motiva por la mejor calidad en la dotación y la infraestructura de estos predios. Sin embargo, las condiciones geográficas y las distancias al relleno son las mismas que las existentes para los predios que valen 3.125 pesos el metro cuadrado.



Por lo anterior, se puede suponer que los 12.500 pesos reflejen mejor un precio de mercado, y los 3.125 muestren una tenencia basada en la supervivencia y no en la recreación o el lujo como acontece con los primeros. Puede entonces plantearse un valor promedio en la depreciación total anual. Como la intención de la economía es lograr un precio lo más cercano posible al precio de mercado entonces puede hacerse un promedio ponderado en el cual se le otorgue un peso del 60% a los predios de mayor valor. Naturalmente esta selección puede tener algo de arbitrario, pero bajo las actuales condiciones de información resulta ser un promedio bastante conservador ya que se apoya un poco más en precios menos subjetivos, pero también suaviza por diferencias en el uso y en la tenencia de los predios al aceptar que no todos gozan de igual infraestructura física. Así, no se subestima por apreciaciones subjetivas, pero tampoco se sobrestima por valoraciones basadas en fincas de recreación.<sup>21</sup>

En consecuencia, suponiendo las ponderaciones sugeridas se tiene que la disminución promedio ponderada en el valor de los predios ubicados entre 1,6 y 3,2 kilómetros del

---

<sup>21</sup> Mejores y más detallados estudios deberían eliminar esta diferencia en los valores o en su defecto determinar el valor exacto de las ponderaciones.



	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

relleno sanitario de La Pradera es de 457,94 pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno.



### **El costo del transporte**

Los tres estudios utilizados en este documento no recogen de manera detallada el problema del transporte en un relleno sanitario. Todos indican la necesidad de estudios que puedan abordar convenientemente el problema del transporte, pero no van más allá de una mera justificación del porqué no prestan mucha atención a este tópico. Solamente Eshet et al (2006) presenta unas estimaciones basadas en estudios primarios y lo hace descatando el principal motivo por el cual los estudios del DEFRA (2004) y de la Comisión Europea de 2000 justifican no incluir valores del daño debido a las emisiones del transporte. Y es que Eshet et al utiliza estimaciones de más de 10 años. Dentro de los requisitos para el uso de la Transferencia de Beneficios se tiene que los estudios realizados deben ser lo más reciente posibles (European Commission (2000)). No obstante este requisito en este documento se utilizan los valores empleados por Eshet et al (2006) y se hace una aproximación a la cuantificación del impacto del transporte entre 2003 y 2006. Igual que en el caso anterior se utilizan las 2.401.197,78 toneladas de basura depositas en el relleno durante este lapso de tiempo y así se obtiene la siguiente estimación del costo de las emisiones del transporte por tonelada de basura depositada.<sup>22</sup>

Pesos de 2006 por tonelada de basura	Total pesos de 2006
35,61 – 847,52	85.506.652,95 – 2.035,063.143

Fuente: Eshet et al (2006). Véase tabla A.2 del anexo.

<sup>22</sup> Ya se indicó que los autores no indican de que emisiones se trata. Aquí se supone que son las emisiones típicas de un camión de basura de acuerdo a la normatividad establecida para Estados Unidos entre 1993 y 1994 que son los años de los estudios primarios en los cuales se basa Eshet et al (2006),

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

### C. Agregación de resultados

En esta sección se va hacer un ejercicio que consiste en usar las distintas tablas presentadas hasta ahora con el fin de obtener el valor de los distintos contaminantes en pesos de 2006 por tonelada de RSM depositado en el relleno. Lo que se quiere hacer es obtener un resultado parecido al mostrado en la tabla A.2 del anexo tomada de Eshet et al (2006), pero recogiendo cantidades que mejor se aproximen a las necesidades de valoración de este documento.

Inicialmente hay que recordar que debido a su efecto global el metano y dióxido de carbono no serán considerados en la cuantificación (Eshet et al (2006) si lo hace). Se van a utilizar las cuantificaciones determinadas por DEFRA (2004) y European Commission (2000) y mostradas tablas III.10, III.11 y IV.7 para obtener el valor en pesos de 2006 de las emisiones atmosféricas por tonelada de basura depositada en el relleno de La Pradera. Ya que en este relleno no hay incineración de basura entonces se va a suponer que se trata de un relleno tipo L2. Este supuesto solamente es válido para las emisiones atmosféricas. A partir de los valores contenidos en las tablas y realizando las conversiones apropiadas se obtiene el siguiente resultado para emisiones atmosféricas debidas a un relleno sanitario tipo L2.

**Tabla IV.15 Valor de las emisiones atmosféricas en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno**

	Estimación Inferior	Estimación superior
CO	0,001572480	0,021228450
Cd	0,009434865	0,082161953
Cr	0,007319883	0,075321676
Total	0,018327229	0,178712080

**Fuente:** cálculos propios

Comparando con todos los contaminantes que se emiten a la atmósfera como lo indican las tablas III.10 y III.11 resulta significativo que solamente sea posible expresar tres de ellos en términos de toneladas de basura depositada. Este resultado está acorde con Eshet et al (2006) que indica que es muy difícil lograr valores monetarios por toneladas de basura.

Para el caso de lixiviado suponer que el relleno es del tipo L2 no resulta apropiado, porque en este tipo de rellenos no hay ni recuperación de energía ni captación y tratamiento del lixiviado. Sin embargo, tampoco resulta muy acertado suponer un relleno sanitario tipo L1 porque para esos rellenos se supone que la captación del lixiviado es cercana al 100% lo mismo que su tratamiento, por lo que se supone que un relleno tipo L1 no hay emisiones al agua y al suelo, por lo menos no en cantidades medibles. En el caso de La Pradera puede suponerse que no hay emisiones al suelo, pero que las emisiones a las fuentes de agua son de un 20% del total del lixiviado capturado. Este supuesto está acorde con la normatividad colombiana que pide depurar el 80% del lixiviado antes de ser vertido en los cuerpos de agua. Aquí se considera que las estimaciones inferiores para un relleno tipo L1 de la tabla IV.10 son una buena forma de aproximarse al daño de ese 20% no depurado.

Recurriendo a los resultados de la European Commission de 2000 recogidos en las tablas III.12 y IV.10 y haciendo las conversiones apropiadas se obtiene:

**Tabla IV.16 Valor de las emisiones al agua en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno**

	<b>Estimación inferior</b>
Plomo (Pb)	0,026635799
Cadmio (Cd)	0,009307566
Mercurio (Hg)	0,007646569
Arsénico (As)	0,460889101
Cobre (Cu)	0,003740983

Cromo (Cr)	39,233184740
Níquel (Ni)	0,017956718
Zinc (Zn)	0,003740983
Total	39,763102459

**Fuente:** cálculos propios

Al igual que en el caso de las emisiones atmosféricas son pocos los contaminantes que logran su conversión a unidades monetarias por tonelada de basura. El resultado de esta tabla es comparable con las tablas III.13 y A.2 del anexo. En ambas tablas la cuantificación se realiza para el total del lixiviado y no desagregado como se ha hecho en la tabla anterior. En el caso de la tabla III.13 el Lixiviado para un relleno tipo L1 tiene un rango de valor entre 0 y 755,68 pesos de 2006 por tonelada de basura depositada. Para la tabla A.2 ese rango está entre 4,45 y 903,61 pesos de 2006 por tonelada de basura, pero en esta última no se diferencia por tipo de relleno.

Dados el rango de valor de las dos tablas y los supuestos establecidos para el relleno de La Pradera el valor de 39,76 pesos de 2006 por tonelada de basura se recomienda como la mejor estimación del valor del lixiviado.

En lo que respecta a las des amenidades las cantidades suministradas por European Commission (2000) y DEFRA (2004) y mostradas en las tablas III.8 y III.9 sugieren un rango de valor que va entre los 2.797,88 y los 15.465,48 pesos de 2006 por tonelada de residuo sólido municipal vertido en el relleno.

Finalmente Eshet, et al, 2006 en la tabla A.2 indica que los costos debidos a las emisiones del transporte oscilan entre 35,61 y 847,52 pesos de 2006 por tonelada de basura.

Tomando los resultados para emisiones atmosféricas, al agua, las des amenidades y el transporte se obtiene lo siguiente

**Tabla IV.17 Valores en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno**



	Estimación inferior	Estimación superior
Emisiones atmosféricas	0,02	0,18
Emisiones al agua	39,76	39,76
Des amenidades	2.797,88	15.465,48
Transporte	35,61	847,52
Total	2.873,27	16.352,94

**Fuente:** cálculos propios

De este resultado es notable que el cálculo de la estimación inferior es mayor que los actuales 680 pesos de 2006 por tonelada de basura que paga Empresas Varias de Medellín al municipio de Don Matías.<sup>23</sup> No se olvide que ese valor se obtuvo dejando de lado muchas emisiones contaminantes al aire y al agua, entonces es de esperarse que si se pudieran hacer todas las conversiones las estimaciones totales estén por encima de los valores mostrados en la tabla IV.17.

Pese a la imposibilidad de contar con buenas medidas de emisiones para La Pradera a partir de los datos provenientes de este relleno y contenidos en las tablas IV.6, IV.7 y IV.8 para el caso de las emisiones atmosféricas; las tablas IV.9, IV.10 y IV.14 para las emisiones al agua de La Pradera junto con los valores obtenidos de las pérdidas de valor en los predios y las emisiones del transporte de la sección B se puede buscar una estimación local en pesos de 2006 por tonelada de basura. No se debe olvidar que entre 2003 y 2006 en el relleno se depositaron 2.401.197,78 toneladas de basura. Así, los valores por tonelada de basura que

<sup>23</sup> Incluso es superior al 0.23% del salario mínimo legal vigente por tonelada que establece el plan nacional de desarrollo 2006-2010.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

aquí se obtengan serán sobre el total de toneladas que fueron depositadas en ese lapso de tiempo.

Para el caso de las emisiones atmosféricas las tablas ya indicadas y las respectivas conversiones indican que las emisiones de los distintos metales pesados tiene un rango de valor entre 0,04506 y 0,2946 pesos de 2006 por tonelada de basura.<sup>24</sup>. Por su parte los distintos componentes de los lixiviados tal y como aparecen en la tabla IV.14 alcanzan un valor de 406,86 pesos de 2006 por tonelada de basura. Si se toma el lixiviado de manera agregada tal y como lo hace la tabla IV.9 el valor del lixiviado oscila entre 709,61 y 1.426,25 pesos de 2006 por tonelada de basura dispuesta. Para simplificar en el caso del Lixiviado se va usar un rango entre 406, 86 y 1.426, 25 pesos de 2006 por tonelada de basura.

Se sabe que el valor de los predios se reduce entre 175,36 y 646,33 pesos de 2006 por tonelada de basura. Tomando el promedio ponderado de estos valores (tal y como ya fue indicado) esta reducción es de 457.94 pesos de 2006 por tonelada de basura. Finalmente, se usan las estimaciones para el transporte emanadas de la tabla A.2 del anexo que van entre 35,61 y 847,52 pesos de 2006 por tonelada de RSM. Juntando todos estos valores se obtiene.

**Tabla IV.18 Valores en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno (estimaciones a partir de datos del relleno de La Pradera sin promediar la reducción en el valor de los predios)**

	Estimación inferior	Estimación superior
Emisiones atmosféricas	0,05	0,30
Emisiones al agua	406, 86	1.426, 25

<sup>24</sup> Este rango se obtiene tomando el promedio de las distintas mediciones de los diferentes sitios contenidas en la tabla IV.6

Des amenidades	175,36	646,33
Transporte	35,61	847,52
Total	617,88	2.920,4



**Fuente:** cálculos propios

Nótese que los valores son inferiores a los estimados en la tabla IV.17. Esto puede explicarse por la deficiencia en las mediciones del relleno de La Pradera y también por los supuestos a los que hubo que recurrir para alcanzar las cantidades monetarias en términos de tonelada de basura. En todo caso la menor estimación resulta ser inferior a los 680 pesos de 2006 por tonelada de basura que Empresas Varias de Medellín paga al municipio de Don Matías. Por otro lado, la máxima estimación es superior a lo pagado por Empresas Varias y al 0.23% del salario mínimo legal vigente por tonelada de basura establecido en el artículo 101 del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. En ese caso el valor es cercano a los 938,4 pesos de 2006 por tonelada de basura.

**Tabla IV.19 Valores en pesos de 2006 por tonelada de basura depositada en el relleno (estimaciones a partir de datos del relleno de La Pradera promediando la reducción en el valor de los predios)**

	Estimación inferior	Estimación superior
Emisiones atmosféricas	0,05	0,30
Emisiones al agua	406, 86	1.426, 25
Des amenidades	457,94	457,94
Transporte	35,61	847,52
Total	900,46	2.732,01

**Fuente:** cálculos propios

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Ajustando la reducción en el valor de los predios por medio de una mejor aproximación al precio del mercado (después de todo se quiere cuantificar la pérdida en el valor de los predios y este valor sin lugar a dudas es el de mercado, no el subjetivo) se observa que el daño total es superior a los 680 pagados por Empresas Varias de Medellín y es un tanto menor a las 938 establecidos por el Plan Nacional de Desarrollo. Parece ser que este último valor establecido por la normatividad colombiana es la mejor estimación del daño causado por cada tonelada de basura que es depositada en el relleno sanitario de La Pradera.<sup>25</sup>

Sin embargo, no puede olvidarse que el límite inferior obtenido a partir de estimaciones internacionales es de 2.873,27 pesos por tonelada de basura y que los 900.46 se obtuvieron de mediciones muy precarias de emisiones, y mediante supuestos un tanto arbitrarios sobre la reducción en el valor de los predios y los daños debidos al transporte. Muy seguramente mejores mediciones arrojaran resultados cercanos a lo establecido por los estudios internacionales. Y eso se verifica en el hecho de que los límites superiores de las tablas IV.18 y IV.19 están muy cercanos al límite inferior de las estimaciones basadas en datos internacionales.



#### **IV. Consideraciones finales**

Como se advirtió anteriormente, los valores hasta aquí encontrados no pueden ser considerados como el valor de las compensaciones de los daños debidos al relleno de La Pradera.. Su lectura, debe mirarse más como el resultado de un ejercicio que podría llevar a estimaciones más cercanas a la realidad si se generará la información necesaria para su implementación. Las estadísticas que se tienen a nivel local, deben ser mejoradas y su investigación debe ampliarse si en algún momento se pretende obtener indicadores como los presentados en los estudios de referencia.

---

<sup>25</sup> Al parecer se ha encontrado una sustentación a un valor del cual no se ha podido establecer su origen con certeza. Aparentemente este valor pudo haber sido tomado de resultados estimados en CRA (2005).



	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---



Sin embargo, los valores aquí presentados deberán sensibilizar sobre los costos que a las comunidades afectadas puede generar un relleno sanitario como el de La Pradera. Los valores obtenidos, ya sea por una mera conversión de unidades monetarias o mediante estimaciones a partir de la poca información primaria disponible, indican que sí es posible la cuantificación y que sí es factible establecer un valor del daño debido al relleno sanitario de La Pradera. Los resultados son altamente sugestivos y deben crear incentivos a desarrollar estudios posteriores que permitan estimaciones más exactas.

La autoridad ambiental debe entender que las investigaciones primarias y los monitoreos constantes sobre las emisiones del relleno son fundamentales para la consecución de funciones dosis respuesta y senderos de exposición que permitan obtener mejores cuantificaciones de los impactos sobre el aire, el agua, el suelo y las amenidades. Es importante reconocer que se debe financiar verdadera investigación en este campo.

Los valores que han sido presentados aquí si bien no deben fundamentar la toma de decisiones en términos de los montos de compensación, sí son de gran relevancia en la comprensión del mecanismo compensatorio. Por lo tanto, la Transferencia de Beneficios tal y como se ha presentado en este documento debe servir de referente al momento de establecer las compensaciones a las comunidades afectadas. La información suministrada por este documento debe ser convenientemente usada para dotar de conocimiento a las distintas partes implicadas en la compensación. Si se entiende que la compensación deberá ser el resultado de un proceso de concertación entre las partes es imperioso que todos puedan disponer de la mayor información posible respecto a los verdaderos efectos de un relleno sanitario.

## **V. Agradecimientos**

La elaboración de este documento contó con la participación de varios expertos en distintos campos. El Profesor Remberto Rhenals del Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas ayudo en el diseño de las formulas de conversión a pesos de 2006. El

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

Ingeniero Carlos Uribe director del MDL de la Universidad de Antioquia fue vital para la comprensión de las emisiones de un relleno y de las limitaciones y las dificultades en su medición y relación con impactos ambientales precisos. El Ingeniero Luis Oliverio Cárdenas director de Planeación de Empresas Varias de Medellín estuvo dispuesto a responder las preguntas directas que sobre la operación del relleno se le hicieron además de que suministro información que resulto valiosa en las estimaciones realizadas. La Antropóloga Sandra Turbay de grupo de Medio Ambiente y Sociedad de la Universidad de Antioquia nos facilitó una caracterización socio-económica de la zona de afectación del relleno. A todos ellos muchas gracias

## VI. Bibliografía

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico –CRA– (2005) *metodología de costos y tarifas para el servicio público de aseo.*

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/djg\\_documento%20351%20de%202005.pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/djg_documento%20351%20de%202005.pdf)

Departamento Nacional de Planeación (2007) *Plan nacional de desarrollo, 2006-2010.*

[http://www.dnp.gov.co/paginas\\_detalle.aspx?idp=699](http://www.dnp.gov.co/paginas_detalle.aspx?idp=699)



Department for Environment Food and Rural Affairs –DEFRA- (2004), *Valuation of the external costs and benefits to health and environment of waste management options.*

[www.defra.gov.uk/environment/waste/research/health/pdf/costbenefit-valuation.pdf](http://www.defra.gov.uk/environment/waste/research/health/pdf/costbenefit-valuation.pdf).

Empresas Varias de Medellín (2004), *plan de monitoreo y seguimiento de variables ambientales del relleno sanitario curva de Rodas y Parque Ambiental la Pradera, convenio 109 de 2004.*

\_\_\_\_\_ (2005), *Plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio de Medellín.*

Eshet, T., O. Ayalon and M. Shechter (2006), *Valuation of externalities of selected waste management alternatives: A comparative review and analysis.* In: *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 46, Issue 4.

	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
---	---	---

European Commission, DG environment (2000), *A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste*.  
[http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/econ\\_eva\\_landfill.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/econ_eva_landfill.htm)

Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2003), *Resolución 1478 del 18 de diciembre de 2003*.  
[http://www.minambiente.gov.co/juridica\\_normatividad/normatividad/viceministerio\\_ambiente/norm\\_administrativos.htm](http://www.minambiente.gov.co/juridica_normatividad/normatividad/viceministerio_ambiente/norm_administrativos.htm).

**Bases de datos:**

Emisiones del relleno sanitario

Empresas Varias de Medellín

nota: Datos suministrados directamente por funcionarios de EEVVM

Universidad de Antioquia: *Plan de Monitoreo y seguimiento de variables ambientales del relleno sanitario Curva de Rodas y parque ambiental La Pradera*. Convenio 109/2004  
EEVVM E.S.P - UdeA.

Ingreso Nacional Bruto (INB) per cápita en Paridad de Poder de Compra (PPP)

Banco Mundial: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

IPC Colombia



DANE: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

IPC Euro

Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>

IPC Estados Unidos

Bureau of labor statistics: <http://www.bls.gov/>

	DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)	
---	--	---

IPC Reino Unido

National Statistics UK: <http://www.statistics.gov.uk/>

Población y superficie de la veredas de la zona de impacto

Departamento Administrativo de Planeación Departamental

<http://www.planeacionantioquia.gov.co>

Tasas de cambio Euro y libras a dólares

Bank of England: <http://www.bankofengland.co.uk/>

Tasa de cambio de pesos a dólares

Banco de la República: [www.banrep.gov.co](http://www.banrep.gov.co)

Toneladas de basura dispuestas en el relleno desde 2003 hasta 2006

Empresas Varias de Medellín.

Nota: los datos fueron enviados vía correo electrónico por el ingeniero Luis Oliverio

Cárdenas



DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS  
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL  
DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)



## ANEXO

Tabla A.1. Valores económicos unitarios (\$/ton de emisión, \$ 2006) calculado/usado en estimados de relleno sanitario y externalidades de incineración (promedio en paréntesis). Tomado de Eshet et al (2006).

Estudio	Año	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NOx	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	VOC	VCI	Metales	Lixiviado	Dioxinas
		Contaminante											
CSERGE	1993	756,717527 - 6053,74 (3,405,2288)	22078,34666 - 98640,355 (60359,35093)	60301,90374 - 238923,4519 (149612,6778)	10392941,74	176357,6356 - 305926,5107 (241142,0731)							
Powell y Brisson	1994	2893,33172 - 22078,35 (12485,8391)	22701,5258 - 98640,355 (60670,9405)	60301,90374 - 238923,4519 (149612,6778)	10392941,74	176357,6356 - 305926,5107 (241142,07311)							
ECON	1995	17805,1183	1197394,204	3348582,988	9365068,383	944773,0477							
EC(b) (Promedio EU 12)	1995	1780,51183		1096398,25 - 2147113,239 (1621755,7444)	4339909,739 - 5847457,332 (5093683,53528)	1394664,975 - 3284211,07 (2339438,02280)	3115,8957	653892,9685	753773,7967	139877009,1	643209897,5	1503642238	
EC (a) (caso German)	1996	1780,51183	38281,00428	8378309,958	13111095,74	3284211,07			1155786,488 0		852865165,2		9,13665E+11
Enosh	1996	10237,943	55195,86664	86798,19477	6212923,415	188954,6095							
EMC	1996	10237,943		59388,23853	10141683,81	170958,9324	55195,8666						
Rosendah	1997				118776477,1								
Eyre													
EU	1998			411149,3437 - 8222986,873 (4317068,1083)	593882,3853 - 26039458,43 (13476561,8198)	449891,9275 - 6748378,912 (3374189,456)							
UK				3654660,832	6852489,061	3149243,492							
E Externo (España-Francia)	1997	1691,48624 - 59602,63 (32049,2128)		2101429,979 - 8222986,873 (5162208,42589372)	2014631,784 - 26039458,43 (14024760,9446)	1894045,015 - 6883346,49 (4388695,75238)	20030,7581 - 704637,56 (362334,15680)	-					
Rabl et al. (a) (Promedio Francés)	1998			8245828,503	6212923,415	5488681,515	890,255914		319782,8228		130422491,3		
Rabl et al. (b)	1998			8497086,436	3015095,187 - 28643404,27 (15806408,100524)	6028551,828			319782,8228				7,44637E+12
Krewitt et al.	1999			1553230,854 - 2466896,062 (2284163,02030)	5847457,332 - 7948887,311 (5938823,853)	2699351,565 - 3734102,998 (2699351,56476)							
EU	2000	1780,51183 - 18695,37 (10237,9430)	23591,78171 - 989519,45 (506555,6148)	1964380,197 - 8378309,958 (5171345,07797)	10963982,5	449891,9275	890,255914 - 4006,1516 (2448,20376)	3667409,236 - 6303456,996 (4985433,11578)	333487,801				
RDC y PIRA	2001	1557,94785											
Eunomia	2002	10905,6349 - 11439,79 (11172,71171)	200441,1189 - 217756,6 (208943,0629)										
Tecnología AEA	2002			639565,6457 - 3746027,35 (1918696,93705)	776615,4269 - 10050317,29 (6395656,45685)	2339438,023			959348,4685				
Dijkgraaf y Vollebergh	2003	15134,3505	168703,4956	1503436,1		2114941,951							
Promedio total del valor		10594,0454	277848,8706	3111212,767	16517239,63	0	2421768,246		84796,8758		576522,7463		



	<p>DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL (PGIRS-R)</p>	
--	---	--

Tabla A.2. Resultados de la valoración (costos y beneficios) \$ de 2006/ton de residuo sólido municipal depositado en el relleno. Tomada de Eshet et al (2006)

Estudio	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Otros (convencionales)	Transporte (rural-urbano)	Lixiviado	Recuperación de energía	Total estimado
Contaminantes							
Schall (1992)b							1077,209655 - 6294,109309
CSERGE et al. (1993)b	56,97637847 - 903,609752	320,492129 - 3845,905546		35,61023654 - 847,52363	640,9842577	320,4921289 - 1366,542827	405,0664407 - 6516,673287
Powell y Brisson (1994)b	227,9055139 - 327,614176	968,598434 - 1680,803165		64,09842577 - 270,6378	636,5329782	574,2150642 - 796,7790426	712,2047308 - 2848,818923
Enosh (1996)					4,451279568 -	311,5895697	2893,331719
EMC (1996)							1335,38387
Miranda y Hale (1997)					436,2253976		1077,209655 - 5857,883911
EU (200a,b)b	445,1279568 - 10237,943		0 - 89,02559135		890,2559135	4451,279568	2670,767741 - 19585,6301
Eunomia (2002)	1357,640268 - 1428,86074	1998,62453 - 2167,773149	13,353839 - 35,61023654		903,6097522		3342,910955 - 4535,853879
Dijkgraaf y Vollerbergh (2003)c	2603,998547					2118,809074	9347,687092

a. Cada uno de los estimados es una suma de componentes diferentes y no necesariamente la suma de los valores en la línea.

b. El rango se refiere a: con (alta) y sin (baja) recuperación de energía.

c. Relleno sanitario moderno con recuperación de energía que incluye el cálculo de uso de la tierra con una tarifa de \$7958,89/ton de desperdicio