



---

**Métodos de valoración económica  
para estimar valores de referencia  
de los componentes hídrico y  
atmosférico en el sector minero.**

---

AUTORIDAD NACIONAL DE  
LICENCIAS AMBIENTALES –  
ANLA- Subdirección de  
Instrumentos Permisos y Trámites  
Ambientales  
SIPTA

---

Elaboró: Raúl Báez Delgado  
Diego A. Castro Amado

---

Revisó: Yolanda Casallas Abril  
Silvia Vanegas Pinzón  
Alba Ruth Olmos Clavijo  
Carlos Alonso Rodriguez

---

Rodrigo Suarez Castaño  
**Director General**

---

Fecha: junio de 2021

---

## Tabla de contenido

Introducción .....	3
Lineamientos Metodológicos.....	3
Componente Hídrico .....	5
Planteamiento metodológico .....	6
Ejemplo del cálculo de productividad del agua .....	10
1. Identificar cambios en la productividad .....	10
2. Función de producción estimada.....	10
3. Evaluar monetariamente los efectos en productividad.....	12
Componente Atmosférico.....	12
Planteamiento metodológico .....	13
Ejemplo del cálculo de la función de producción de salud.....	15
1. Cuantificar el número de casos.....	15
2. Cuantificar los costos por morbilidad .....	17
3. Agregación de la valoración por morbilidad .....	20
Referencias .....	20

## Introducción

Es de suma importancia para el país, la necesidad de realizar la cuantificación económica de los beneficios y costos relacionados con los proyectos mineros, que sirvan como soporte técnico para el uso de los recursos naturales, así como la gestión integrada de los mismos; el análisis económico ambiental sirve como apoyo en el proceso de toma de decisiones definiendo el proceso por medio de algunos conceptos técnicos básicos.

El siguiente documento es un conjunto de herramientas que sirven como referente a los usuarios del sector minero para complementar la calidad de sus procesos de evaluación económica ambiental en lo relacionado a los componentes hidrológico y atmosférico, en el marco del licenciamiento ambiental. Para esto, se plantean los modelos teóricos que cumplen de manera estricta los aspectos técnicos de la evaluación económica descrita en la Guía de Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras o Actividades Objeto de Licenciamiento Ambiental, decretado con la Resolución 1669 (ANLA, 2017)

Cabe aclarar que el alcance del presente análisis está limitado en la definición del planteamiento metodológico para realizar las valoraciones económicas de los componentes hídrico y atmosférico. Por lo anterior, se presentan los lineamientos que permiten entender el proceso de análisis económico a los impactos ambientales de la explotación minera.

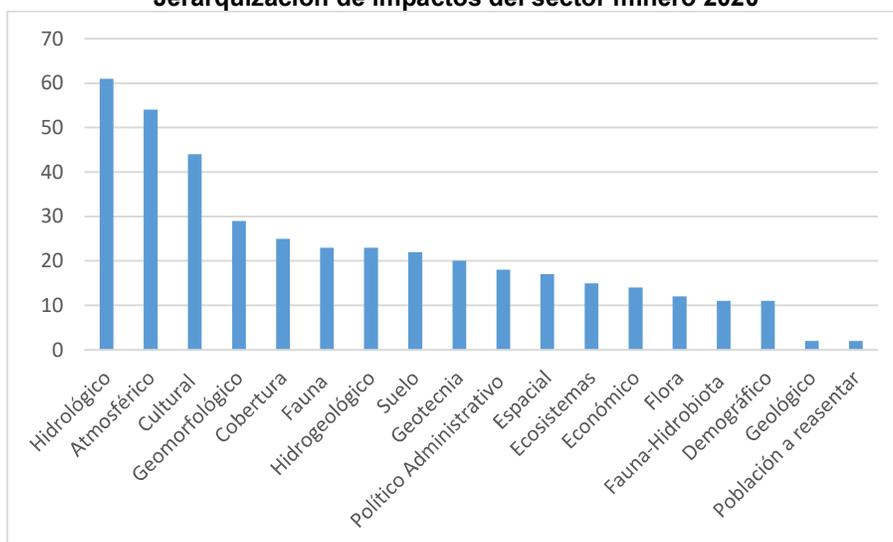
Así, el presente estudio está dividido en tres secciones, donde en primer lugar se encuentran los lineamientos metodológicos básicos que deben ser tenidos en cuenta en una valoración económica; en la sección dos se expone el planteamiento metodológico sugerido para estimar la función de productividad del componente hídrico y la sección tres, expone las consideraciones de la estimación de la función de producción de salud asociada a contaminación del componente atmosférico y al bienestar de las poblaciones aledañas a proyectos mineros.

## Lineamientos Metodológicos

Este numeral contiene los lineamientos metodológicos para desarrollar la evaluación económica de referencia del sector minero, esto se debe tener en cuenta en la identificación y descripción de las unidades espaciales seleccionadas, con sus respectivos criterios, y adicionalmente la clasificación de los servicios ecosistémicos o afectaciones a la salud más comprometidas por los impactos generados sobre los recursos agua y aire, así como la relación con las comunidades.

En el caso de la actividad minera, la identificación y selección de los servicios ecosistémicos más comprometidos se realiza para los componentes hidrológico y atmosférico, debido a que se efectuó una revisión de la jerarquización de impactos realizada por el Grupo de Evaluación Económica, en donde se identifican los impactos relevantes remitidos a la ANLA en los proyectos del sector. Como lo muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de 39 expedientes analizados, los componentes más afectados son precisamente los elegidos.

**Gráfica 1**  
**Jerarquización de impactos del sector minero 2020**

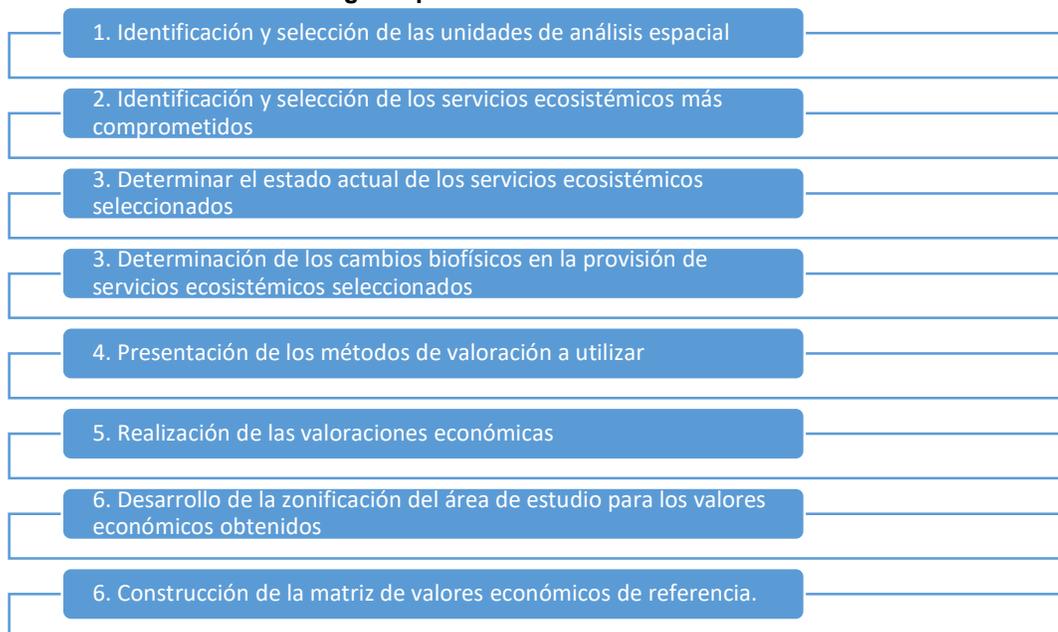


Fuente: ANLA 2020

Asimismo, la

**Gráfica 2** ilustra que luego de jerarquizar los impactos, el primer paso para una valoración de referencia, es identificar y seleccionar las unidades de análisis espacial, lo que implica la recopilación de información secundaria, geográfica y de bases de datos que pueda ser georreferenciada y estructurada por medio de un sistema de información geográfica; y mediante el análisis de superposición, reclasificación, intersección, combinación, fusiones, zonas de influencia, etc.

**Gráfica 2**  
**Pasos metodológicos para la valoración económica de referencia**



Fuente: Elaboración propia basado en (Valoración económica ambiental SAS, 2015)

El segundo paso es, la identificación y selección de los servicios ecosistémicos más comprometidos y el tipo de afectación al bienestar de las comunidades cercanas al desarrollo de los proyectos mineros, que se obtiene por medio de información secundaria sobre impactos. Para esto se propone realizar un análisis de eficiencia técnica relativa de los impactos ambientales evaluados en el proceso de licenciamiento, un análisis multicriterio modelado mediante un proceso analítico jerárquico, o la composición de árboles de valor detallado, esta última como parte de la teoría del valor económico total.

El tercer paso es determinar el estado actual de los servicios ecosistémicos seleccionados y establecer los cambios biofísicos en la provisión de estos. Para lo cual, se debe hacer un análisis de información sobre la calidad del aire y del agua contenidos en las bases de datos de los procesos de licenciamiento, y el análisis de datos mediante modelos matemáticos.

El cuarto paso es la presentación de los métodos de valoración a utilizar, mediante la identificación de la posibilidad de uso de los métodos de acuerdo con la información disponible y el valor económico a estimar. El quinto paso es la realización de las valoraciones económicas mediante estimaciones econométricas y análisis estadísticos.

El sexto y último paso, es el desarrollo de la zonificación del área de estudio para los valores económicos obtenidos y la construcción de los valores económicos de referencia. Para esto se determinan las zonas en las que se aplica cada tipo de valor o rango de valor dentro de los tipos estimados; y se establece la matriz de valores de acuerdo con los cambios marginales de las diferentes variables analizadas en los modelos.

## Componente Hídrico

El recurso hídrico cumple funciones en las diferentes actividades económicas, es el encargado del abastecimiento y saneamiento, configuración de los ecosistemas y paisajes, además de ser un factor de producción en diversas actividades económicas (Gómez-Limón & Martín-Ortega, 2011). Puntualmente, el componente hídrico puede estar asociado con servicios ecosistémicos tales como provisión de agua, regulación de oferta hídrica, regulación calidad hídrica, calidad escénica, recreación y turismo, entre otros. El manejo adecuado de este recurso es esencial para la conservación y buen funcionamiento de la sociedad (Sánchez, Almendarez, Morales, & Salinas, 2013).

Sin embargo, la presión sobre el recurso hídrico se incrementa cada vez más, a medida que aumenta la demanda de agua de toda la población mundial, se va agotando el agua subterránea, se contaminan y degradan los ecosistemas acuáticos, y resulta cada vez más costoso desarrollar nuevas fuentes de agua (Rosegrant, Cai, & Cline, 2002), así mismo es importante resaltar el uso que se le ha dado a este recurso, un ejemplo es la cantidad de agua embalsada en presas, la cual se cuadruplicó desde 1960. Las extracciones de agua de los ríos y lagos se duplicaron desde 1960 (70% a nivel mundial) (Sarukhán & Whyte, 2005).

Precisamente en el sector minero, dentro de la jerarquización realizada por la ANLA, los impactos más recurrentes son los referentes a la Alteración a la calidad del recurso aire<sup>1</sup> y a la Alteración en la calidad del recurso hídrico superficial<sup>2</sup>, generando presión sobre los servicios ecosistémicos que prestan estos recursos; la importancia del agua se debe a que es consumida por los hogares (OMS, 2014). Además de esto, como el recurso es utilizado por los diversos sectores de la economía como las actividades agrícolas, la ganadería, el turismo, entre otros, se convierte en un factor de presión entre las diferentes actividades económicas.

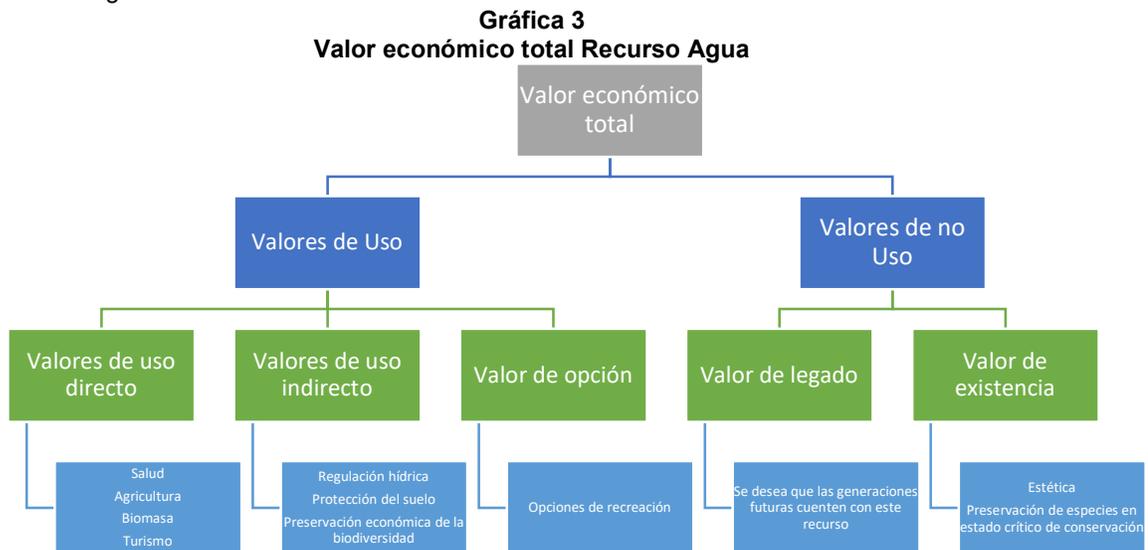
---

<sup>1</sup> Definición: Cambio en las concentraciones de los contaminantes criterio y/o tóxicos en el aire producto de las emisiones generadas como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.

<sup>2</sup> Definición: Cambios en las características fisicoquímicas, microbiológicas y/o hidrobiológicas de las aguas superficiales como consecuencia de un proyecto, obra o actividad.

En el caso del sector minero en lo que respecta al recurso hídrico, el cálculo sobre los valores de uso directo para las diferentes actividades económicas es relevante, aunque existan otros valores significativos como el de opciones de recreación que son identificados por la sociedad y por el cual ven afectado su bienestar. O los impactos generados por valores de uso indirecto como la regulación hídrica o la protección del suelo.

Como lo muestra la **Gráfica 3**, para un uso indirecto los servicios que se ven comprometidos son la recarga de acuíferos, el uso de recurso para transporte, la capacidad en retención de sedimentos y la capacidad que pueden tener los cuerpos de agua en la producción pesquera. (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2015). También se debe considerar como se compromete el recurso hídrico y los servicios ecosistémicos que prestará a generaciones futuras. A continuación, se presenta el ejemplo resumido del árbol de valor económico total para el recurso agua:



Fuente: VEA S.A.S 2015

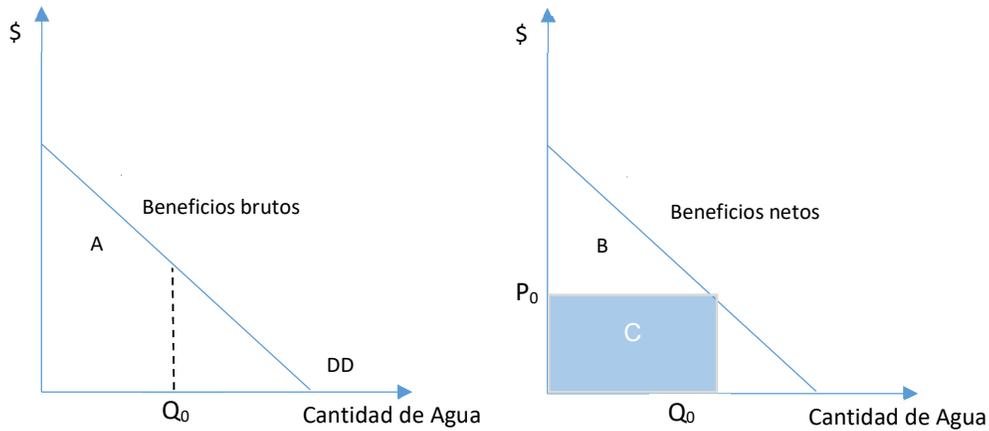
## Planteamiento metodológico

### *Estimación Demanda de Agua*

Según (Munevar, 2015) desde el punto de vista de la teoría económica la estimación del valor económico del agua (beneficios), se obtiene a través de la curva de demanda de agua. Como lo muestra la gráfica el área bajo la curva de demanda representa los beneficios brutos que reciben los usuarios por la provisión del servicio; por su parte el valor económico neto es la diferencia entre el valor económico total de agua menos el costo del consumo.

En la **Gráfica 4** se muestra: DD la curva de demanda de agua (curva de beneficios marginales o disponibilidad marginal a pagar);  $p_0$ : tarifa por metro cúbico de agua al mes;  $Q_0$ : consumo de agua mensual; A: área bajo la curva de demanda, es decir, beneficios brutos del consumo de  $q_0$ , valor económico total, equivalente a la disponibilidad a pagar total; B: beneficios netos, esto es, excedente del consumidor o valor económico neto, equivalente al área A menos el área C; C: costos de consumir  $q_0 = P_0 \times Q_0$ .

**Gráfica 4**  
**Valor económico del agua (Beneficios brutos) – (Beneficios netos)**



Fuente: (Munevar, 2015)

Vélez & Tham (2002) establecen en su estudio, un modelo que determina la demanda por agua y su posterior elasticidad<sup>3</sup>. Para este caso, la cantidad consumida depende del precio con un retraso en el tiempo y la cantidad consumida desfasada en dos periodos, es decir que las personas reaccionan a la demanda del agua, una vez se conoce el precio del metro cúbico, y aunque los hábitos de consumo son difíciles de cambiar, la cantidad depende del precio, pero también de los cambios de consumo de dos periodos atrás, lo cual permite establecer que el coeficiente del precio es el coeficiente de elasticidad  $\beta_1$  y permitirá hallar el factor de la elasticidad de este bien. es visto de la siguiente manera (Munevar, 2015):

$$Q_t = e^c * p_{t-1}^{\beta_1} * Q_{t-2}^{\beta_2} \quad (1)$$

Donde:

$Q_t$ = cantidad demandada de agua en el periodo t

$e^c$ = intercepción de la ecuación

$p_{t-1}$ = precio del agua en el periodo t-1

$q_{t-2}$ = cantidad consumida de agua en el periodo t-2

$\beta_1$ = coeficiente de elasticidad precio demanda del agua

$\beta_2$ =coeficiente de elasticidad del ingreso

Las variables tienen periodicidad mensual, y para efectos de la linealización del modelo, se aplica una modelación log-log:

$$\ln(Q_t) = \ln(C) + \beta_1 \ln(p_{t-1}) + \beta_2 \ln(p_{t-2}) \quad (2)$$

Para el caso del sector minero, partimos del supuesto que el agua puede considerarse un bien económico por su carácter de bien escaso (Robinson, 1992); en lo que concierne a su disponibilidad, el agua es limitada y su uso es vital para los seres humanos, lo que permite que el uso y disposición del recurso se vea comprometido cuando interactúan los diferentes agentes económicos.

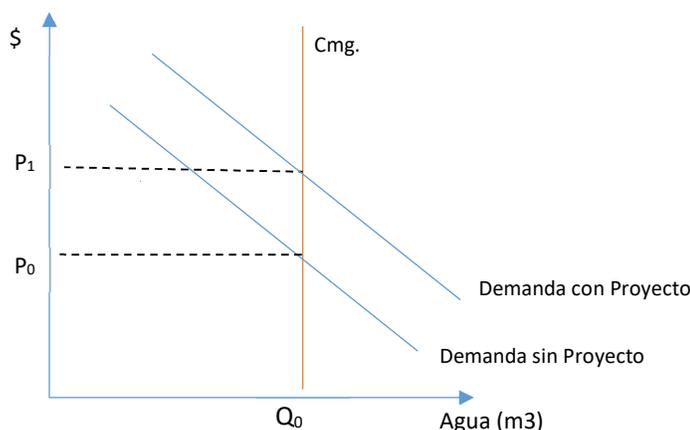
<sup>3</sup> Elasticidad: medir la capacidad de respuesta de la cantidad de un determinado bien o servicio a una modificación de precio. En otras palabras variación porcentual de la cantidad sobre variación porcentual del precio (N.Gregory., 2009)

Según Cruz (2003), el reconocimiento de estas propiedades tiene una consecuencia muy importante: el uso y la disposición del agua por parte de algún agente en cantidades que comprometan la disponibilidad del bien para el mismo u otros agentes genera efectos externos negativos. Es por esta razón que el agua, como bien económico, debe estar sujeto a regulaciones específicas que aseguren su suministro universal e impidan su desperdicio.

Al considerarse un bien económico, el agua puede ser estudiada bajo los principios de la teoría económica, en este caso la eficiencia en la asignación del recurso de tal forma que maximice el beneficio neto de la sociedad. De acuerdo con Cruz (2003), esto se puede hacer mediante un análisis del nivel de precio eficiente que genera una señal de mercado que puede inducir a los usuarios del recurso a optimizar su utilización.

Como lo muestra la **Gráfica 5**, ante una oferta inelástica de la provisión de agua, dado ( $Q_0$ )<sup>4</sup> los usuarios enfrentan un precio ( $P_0$ ). Posteriormente, con la llegada de un nuevo agente, la demanda de agua se desplaza hacia arriba, por lo que se establece un nuevo precio ( $P_1$ ), que permita igualar el costo marginal<sup>5</sup> de utilizar el recurso con el beneficio marginal<sup>6</sup> del mismo. En teoría, una vez igualado el costo marginal con el beneficio marginal la utilización del recurso será eficiente y racional<sup>7</sup>. Así, un productor que busque maximizar sus beneficios utilizará agua como insumo en su proceso de producción, hasta el punto donde el valor marginal que aporta el agua a la producción sea igual al costo marginal de adquirir el recurso ( $Q_0$ ). Este precio, reflejará la disponibilidad marginal privada a pagar de los usuarios del agua.

**Gráfica 5**  
**Determinación del precio de eficiencia del agua**



Fuente: Elaboración propia, ANLA, 2019

Sin embargo, el análisis presentado en la gráfica 5 se excluye el costo de oportunidad del recurso, el cual refleja el valor de su uso alternativo. Esto implica que desde el punto de vista económico el precio de eficiencia del agua debe ser reflejado por el mayor valor marginal de los usos disponibles, el cual requiere comparar diferentes alternativas para el uso de agua en el momento de la estimación del precio de eficiencia. Un ejemplo de esta situación puede analizarse en un proyecto productivo que requiere extraer agua subterránea de un pozo para usarlo en la producción minera. Inicialmente, el precio del agua estaría dado por valor marginal que aporta el agua a la extracción del mineral. Sin embargo, si el agua subterránea es apta para consumo

<sup>4</sup> El costo marginal de utilizar el agua debe incluir no sólo el costo de proveer el recurso sino además su costo de oportunidad. Debe reflejar el verdadero costo social de usar el recurso.

<sup>5</sup> El costo marginal es la variación en el costo total, ante el aumento de una unidad en la cantidad producida, es decir, es el costo de producir una unidad adicional. (N.Gregory., 2009)

<sup>6</sup> El beneficio marginal es la satisfacción obtenida por una persona al consumir una unidad adicional de un bien o servicio (N.Gregory., 2009); en otras palabras, es la diferencia entre lo que paga un consumidor por un bien o servicio y la cantidad máxima que en una situación cotidiana estaría dispuesto a pagar.

<sup>7</sup> Desde el punto de vista económico, el agua debe ser asignada de tal forma que maximice el beneficio neto para la sociedad (beneficios menos costos). Un precio igual por unidad permitirá que los costos marginales de los individuos se igualen con el precio y se igualen entre sí, de tal manera que permita minimizar los costos de cumplimiento de una meta de calidad ambiental (Principio Equimarginal).

humano, y su valor es mayor al de la productividad del agua en la minería, en términos de eficiencia económica el precio del agua para uso en el proyecto estaría dado por su valor alternativo (agua consumo humano) y no por el valor generado en el proceso extractivo minero.

### Oferta Hídrica

Con respecto a la **Oferta hídrica**, bajo el supuesto de una oferta inelástica existen diferentes metodologías para el cálculo; En la guía metodológica para el cálculo de la oferta hídrica el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010) indica que, para cualquier masa de agua, en áreas extensas y en largos periodos de tiempo, se puede utilizar la ecuación simplificada, considerando que los cambios de almacenamiento tienden a minimizarse y pueden suponerse nulos. Esto permite la construcción de mapas comparables entre sí. La expresión simplificada de la ecuación 3 define el balance de masa en milímetros de columna de agua (mm). Cabe aclarar que la unidad temporal la define el usuario según la disponibilidad de datos y la variación hidrológica de la época del año

$$ESC = P - ETR \quad (3)$$

Donde:

ESC = Escorrentía hídrica superficial (mm<sup>8</sup>)

P = Precipitación (mm)

ETR = Evapotranspiración real (mm)

La ecuación anterior permite la interpretación y el análisis de los principales componentes mencionados, para establecer la oferta hídrica y caracterizar las condiciones del régimen hídrico en las diferentes zonas y subzonas hidrográficas del país. (IDEAM, 2010)

Luego de contar con la demanda y oferta del componente hídrico, es importante incorporar el criterio de eficiencia dinámica ya que este es útil para decidir la asignación de recursos cuando el factor tiempo es relevante, tal cómo es el caso del uso de recursos renovables, es importante saber a qué tasa deben extraerse, ya que cuanto más extraiga hoy, menos stock quedará disponible para mañana. El criterio de eficiencia dinámica compara los beneficios netos recibidos en un período con los recibidos en otro período.

Según Castro y Casallas (2019): La variabilidad de las Tasas Descuento para proyectos objeto de licenciamiento Ambiental (TAD) estimadas para el periodo 2001-2016 indica que es posible plantear una TAD decreciente en el tiempo en Colombia, debido a la diferencia anual de los factores de descuento calculados. El **Cuadro 1** resume los resultados según el horizonte de vida del impacto.

**Cuadro 1**  
**Tasa de Descuento Decreciente para licenciamiento Ambiental en Colombia**

Promedio Años (t)	Tiempo (plazo)	TAD
		$r(t) = \frac{\mu}{1 + \frac{t\sigma^2}{\mu}}$
0 a 10	Corto	5%
11 a 20	Mediano	4%
21 en adelante	Largo	2%

<sup>8</sup> La expresión simplificada de la ecuación 3 define el balance de masa en milímetros de columna de agua (mm). Cabe aclarar que la unidad temporal la define el usuario según la disponibilidad de datos y la variación hidrológica de la época del año.

Fuente: (Castro, A, & Casallas, 2019)

El concepto que permite esta comparación es el de valor presente, que consiste en poner los beneficios netos de distintos periodos del tiempo en “moneda de igual valor”, es decir en términos de los beneficios actuales, el valor presente de un beneficio neto obtenido en el tiempo  $t$ ,  $Bt$ , se expresa como (ecuación 4):

$$VP(Bt) = \sum \frac{Bt}{(1+r)^t} \quad (4)$$

En donde  $VP(Bt)$  es el valor presente de los beneficios netos en el tiempo  $t$  y  $r$  es la tasa ambiental de descuento usada.

## Ejemplo del cálculo de productividad del agua

En el marco del licenciamiento se utilizan las metodologías de precio de mercado en donde se estima los valores económicos de servicios ecosistémicos que intervienen en los mercados comerciales, y es utilizado para cuantificar los cambios de valor en la cantidad o calidad de un bien y servicio (ANLA, 2017). Una de las metodologías basadas en precios de mercado son los cambios en productividad.

Para calcular el valor del recurso hídrico en el sector minero se propone un análisis metodológico de precios de mercado basados en la productividad del recurso hídrico, para esto se siguen los pasos planteados en el marco del licenciamiento ambiental: 1.) Identificar cambios en la productividad, 2.) Función de producción estimada y por último 3.) Evaluar monetariamente los efectos en productividad (ANLA, 2017).

### 1. Identificar cambios en la productividad

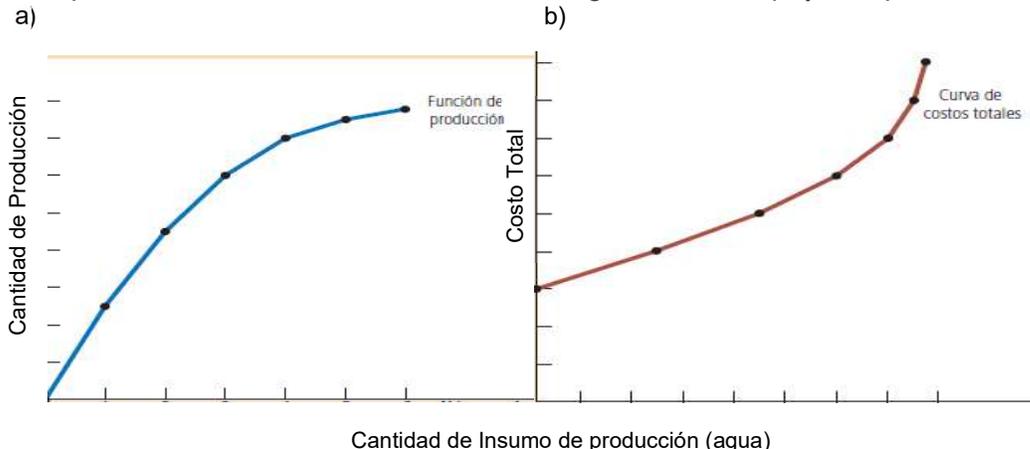
Según ANLA (2017), El primer paso consiste en identificar los cambios biofísicos en la productividad causados por los impactos ambientales generados por el proyecto. Este tipo de información puede ser obtenida mediante dos herramientas: Recolección de datos a través de experimentos de campo o análisis estadístico de series de información sobre los demás insumos requeridos para la producción del bien o servicio de mercado, la cantidad de servicio ecosistémicos incluido entre otros. Esto permitirá la correcta especificación de la función de productividad, que se analiza en el paso 2.

### 2. Función de producción estimada

Teniendo en cuenta que como se explicó en párrafos anteriores, la oferta de agua es inelástica, en este documento se parte de la propiedad de producción marginal decreciente en la cual el producto marginal de un insumo disminuye conforme se incrementa la cantidad del mismo. Unido a este concepto se incorpora la definición de costo marginal creciente, la cual ocasiona que el costo marginal del producto (costos fijos más costos variables) se incrementa con el uso de una unidad adicional del insumo. Dado el supuesto que las firmas maximizan sus ganancias, se plantea que el costo marginal es igual al valor marginal de la producción. Estas relaciones se representan en la **Gráfica 6**.

**Gráfica 6**

**a) Función de producción con productividad marginal decreciente (derecha) y**  
**b) función de costos totales con costo marginal creciente (izquierda).**



Fuente: Mankiw, 2008.

A continuación, se plantea calcular, el valor de la productividad marginal del agua mediante la estimación de una función de producción acorde con los lineamientos de (ANLA-VEA, 2015). El propósito es evaluar la contribución del agua en el valor agregado de la producción; cabe anotar, que en los modelos planteados de producción en la que se especifican funciones tipo Cobb-Douglas<sup>9</sup> el agua es tratada como un factor de producción, así como lo son otras materias primas (R), la mano de obra (L) y el capital (K) (ver ecuación 5).

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln R + \beta_4 \ln W + \varepsilon \quad (5)$$

Donde,  $Y$  la cantidad de la producción que es igual al,  $K$  la cantidad del capital,  $L$  la cantidad de mano de obra,  $R$  la cantidad de otras materias primas,  $W$  la cantidad del agua dentro del proceso productivo, y  $\varepsilon$  el error, todos en términos logarítmicos. Para transformar la función de producción en función de valor, se requiere multiplicar cada una de las cantidades  $Y, K, L, R, W$  por sus respectivos precios  $P_y, P_K, P_L, P_R, P_W$ . Con lo anterior, la ecuación en términos del valor de productividad marginal quedaría como lo expone la ecuación 6.

$$\ln(YP_y) = \theta_0 + \theta_1 \ln(KP_K) + \theta_2 \ln(LP_L) + \theta_3 \ln(RP_R) + \theta_4 \ln(WP_W) + \varepsilon \quad (6)$$

Donde,  $YP_y$  es el valor de la producción que es igual al,  $(KP_K)$  el valor del capital,  $(LP_L)$  el valor de la mano de obra,  $(RP_R)$  es el valor de otras materias primas,  $(WP_W)$  el valor del agua dentro del proceso productivo, y  $\varepsilon$  el error, todos en términos logarítmicos. Dada la función, la elasticidad del valor de la producción en relación con cada uno de los factores es calculada como la razón de la derivada parcial de la producción respecto al factor considerado. La ecuación (7) indica el cálculo de la elasticidad  $\sigma$  para el factor de agua:

$$\sigma = \frac{\partial \ln YP_y}{\partial \ln WP_W} = \theta_4 \quad (7)$$

Por lo que el valor de la productividad marginal del agua en este modelo se indica con la ecuación 8. Cabe anotar que este procedimiento puede ser usado para calcular los valores de la productividad marginal del capital  $K$ , la mano de obra  $L$  y los otros insumos,  $R$ .

$$\rho_w = \frac{\partial YP_y}{\partial WP_W} = \frac{\partial \ln YP_y}{\partial \ln WP_W} * \frac{YP_y}{WP_W} = \theta_4 \frac{YP_y}{WP_W} \quad (8)$$

<sup>9</sup> La función de producción Cobb Douglas es un enfoque neoclásico que representa las relaciones entre la producción obtenida utiliza las variaciones de los insumos capital (K) y trabajo (L). Es una función de producción frecuentemente utilizada en Economía. (N.Gregory., 2009)

### 3. Evaluar monetariamente los efectos en productividad

A partir de lo anterior se construye la productividad marginal asumiendo una función de beneficios que depende del nivel de producción alcanzado ( $Y_{P_y}$ ), menos los costos fijos  $KP_K$  y variables ( $LP_L - RP_R$ ) del proceso productivo, y menos la introducción de una variable de consumo hídrico que considera el consumo en  $m^3$  por ciclo productivo  $W$  en el que se asume un costo por  $m^3$  parametrizado e igual a ( $WP_W$ ). Esta igualdad se muestra en la ecuación 9 y se puede identificar como la ecuación de beneficios netos Sin Proyecto ( $\pi_{SP}$ )

$$\pi_{SP} = Y_{SP}(P_y - KP_K - LP_L - RP_R - W_{SP}P_W) \quad (9)$$

Para analizar el cambio en los beneficios atribuible al consumo hídrico se evalúa un cambio marginal en la función prevista, dada la variación  $W_{CP}$ , con lo que se plantea estimar el impacto de un cambio porcentual en las condiciones iniciales  $W_{SP}$ , con el cambio en el valor final de la producción  $Y_{CP}$ , conocida como la productividad Con Proyecto. La ecuación 10 plantea el modelo y el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** incorpora algunos resultados encontrados para un modelo general:

$$\begin{aligned} \pi_{CP} &= Y_{CP}(P_y - KP_K - LP_L - RP_R - W_{CP}P_W) \\ \pi_{CP} - \pi_{SP} &= Y_{CP}(P_y - KP_K - LP_L - RP_R - W_{CP}P_W) \\ &\quad - Y_{SP}(P_y - KP_K - LP_L - RP_R - W_{SP}P_W) \quad (10) \end{aligned}$$

El cuadro 2 resume los resultados

**Cuadro 2**  
**Parámetros para la estimación del costo marginal del agua en la actividad ganadera.**

Concepto	Valor	Unidades
Consumo de Agua Sin proyecto	$W_{SP}$	$m^3/año$
Consumo de Agua Con Proyecto	$W_{CP}$	$m^3/año$
Cambio en las Utilidades	$\pi_{CP} - \pi_{SP}$	Pesos/año
Cambio en el consumo de Agua	$W_{CP} - W_{SP}$	$m^3/año$

Fuente: ANLA & V.El, 2015

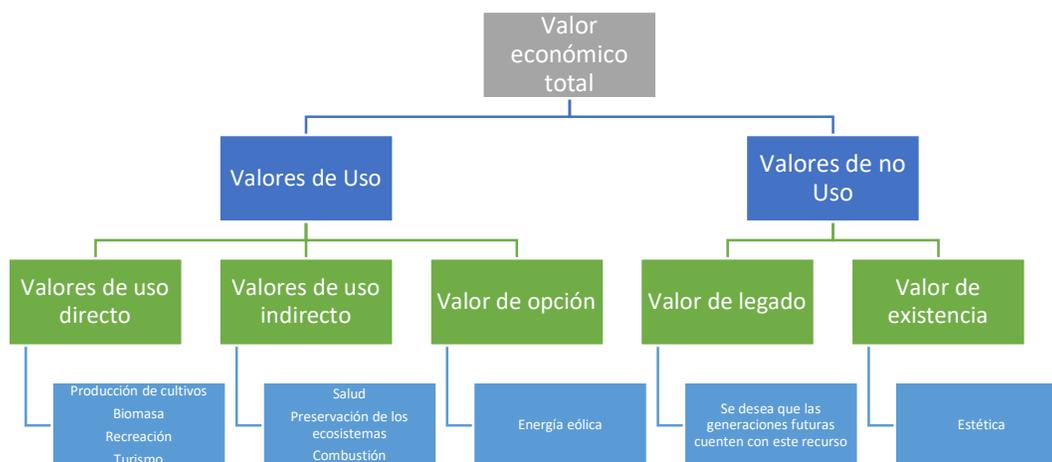
### Componente Atmosférico

No disponer de una buena calidad de aire genera cambios directos sobre la salud humana, por lo tanto, el componente aire es asociado al bienestar que produce la calidad del aire; cambios en la calidad del aire se pueden diferenciar a corto plazo como irritación nasal y ocular, y otros pueden resultar permanentes como bronquitis crónica, enfisema pulmonar, e incluso puede incrementar el riesgo de padecer cáncer de pulmón (OMS, 2014).

En el caso del sector minero, además de los impactos generados al servicio ecosistémico de regulación de la calidad del aire existen otros valores de pérdida de bienestar asociados a la contaminación como lo son el valor estético, identificado por la sociedad con el deterioro de las fachadas y techos de las viviendas que generan un ambiente contaminado. Así mismo, se pueden asociar impactos generados a la productividad de los cultivos debido a la presencia en el aire de anhídrido sulfuroso que afecta los cultivos de trigo, soya y arroz y el caso del ozono troposférico que afecta los cultivos de leguminosas (Nauman, 2010).

Cada uno de estos valores implica importantes pérdidas económicas para un país o región. A continuación, se presenta el ejemplo resumido del árbol de valor económico total para el recurso aire.

**Gráfica 7**  
**Valor económico total Recurso Aire.**



Fuente: VEA S.A.S 2014

## Planteamiento metodológico

Con respecto al componente atmosférico, la actividad minera afecta la salud debido a las concentraciones de material particulado, por lo tanto es de vital importancia encontrar una metodología que permita medir los cambios en la calidad del aire y cómo estos pueden afectar directamente la salud humana; la teoría económica consensa en que los beneficios o costos evitados por cambios en el medio ambiente, deben ser medidos a través de la disponibilidad a pagar de los individuos, la metodología más conocida para cuantificar dichos cambios es la Función de Producción de Salud (FPS).

Dentro de los economistas que trabajaron estos modelos está Grossman en 1972, quien propuso que un aumento en el stock de salud reduce el tiempo que se utiliza en la producción de bienes básicos e ingresos y que es precisamente esta diferencia en valor monetario, el índice de retorno a la inversión en salud (Carbonell, 2006).

Siguiendo la metodología de Carbonell (2006), se desarrolla un modelo de producción basado en los planteamientos desarrollados por Freeman (2003) y Hussen (2004) en donde los beneficios en la calidad ambiental son medidos observando los gastos en que incurren los hogares para evitar los daños originados por un medio ambiente deteriorado en este caso por una actividad económica como la minería, dentro de estos gastos se destaca la atención médica que se origina por parte de los hogares para evitar los efectos de un medio ambiente deteriorado.

La función de producción de salud cuenta con variables exógenas (la contaminación del medio ambiente) y sus supuestos básicos son:

- a. Sustituibilidad entre los insumos: Asistencia médica y esfuerzo individual.
- b. Los individuos perciben los problemas de contaminación y responden para prevenir o mitigar los efectos sobre la salud.
- c. Los individuos escogen un nivel óptimo de insumos que minimicen los costos de alcanzar un nivel de salud.

- d. Los gastos en prevención, gastos de tratamiento, costo de oportunidad del tiempo son una adecuada aproximación a las pérdidas de bienestar.

En la literatura económica existe una estrecha relación entre contaminación y los efectos adversos sobre la salud; de esta forma debido a problemas de contaminación las personas suelen incurrir en gastos que permitan disminuir los impactos de la contaminación sobre su salud; estos gastos por asistencia médica son considerados como sustituibilidad entre el ingreso y la salud (Braden, 1993) y generan una relación entre asistencia médica y de demanda por salud.

La salud está en función de la asistencia médica, un vector con diferentes inputs y las condiciones iniciales ( $I_0$ ):

$$H = f(AM, \text{vector inputs}; I_0) \quad (11)$$

Donde:

AM= Asistencia médica

Vector inputs= *Estilodevida, Factoresambientales, ocupación, educación,...*

$I_0$ = Condiciones iniciales

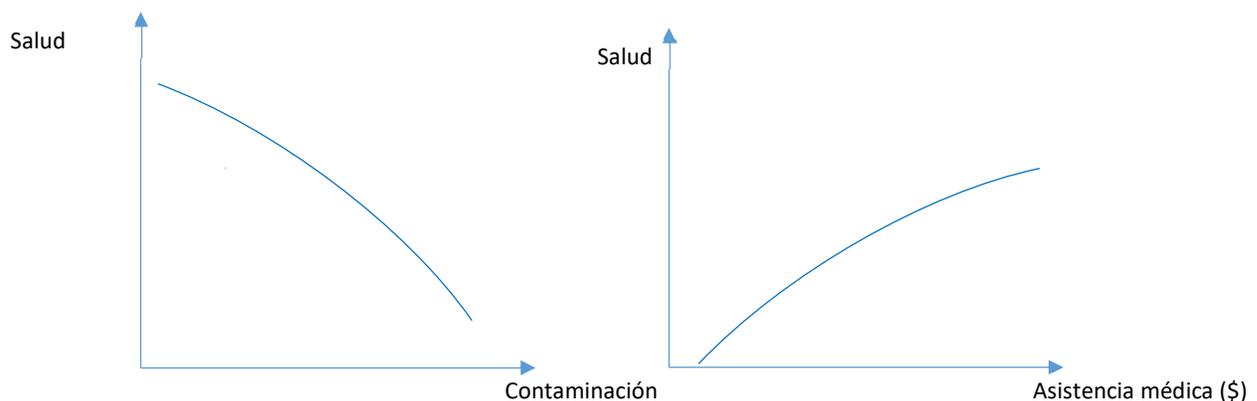
La disponibilidad a pagar por una unidad marginal está dada por la reducción en la asistencia médica, originada en la reducción del tiempo o duración de la enfermedad, siempre y cuando exista una reducción en la contaminación. Según Freeman (2003), esto puede estar dado también por el costo adicional de un insumo dividido por la reducción en el tiempo de duración en la enfermedad que resulta de la utilización de dicho insumo.

Como lo muestra

**Gráfica 8** y de acuerdo con Carbonell (2006), las anteriores expresiones, la ecuación 12 se espera que los días que una persona se mantiene enferma aumenten con la contaminación  $\frac{\partial f}{\partial(AM)}$ , en forma contraria se espera que los días de enfermedad disminuyan cuando se realizan actividades de mitigación, como consultas médicas y medicamentos, y actividades preventivas.

$$\frac{\partial f}{\partial(AM)} > 0; \quad (12)$$

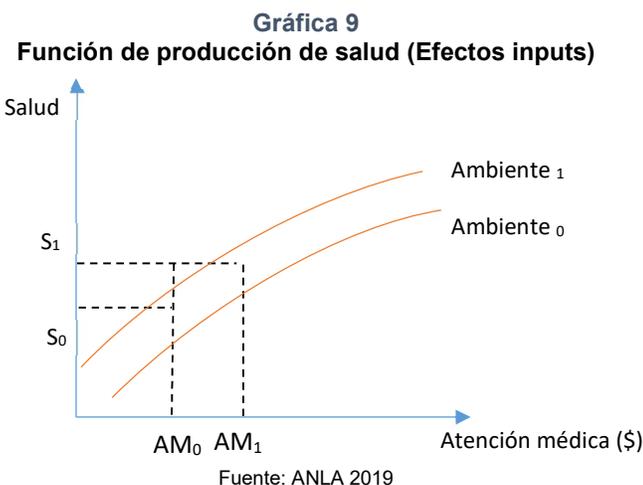
**Gráfica 8**  
**Relación teórica entre asistencia médica y salud**



Fuente: Elaboración propia, ANLA 2019

Otro ejemplo ilustrativo de esta relación es la planteada con respecto a la afectación por calidad del aire; Copper (1981) plantea la incorporación del componente ambiental, encontrando la disposición a pagar por un cambio en la calidad del aire, asumiendo que el capital de salud de las personas decrece a una tasa que depende de la calidad del aire, lo que incorpora la variable ambiental al modelo de demanda por salud.

La metodología del modelo de la salud tiene como objeto encontrar la relación entre un deterioro de la salud originado en una variable exógena como la contaminación, en este caso la contaminación del recurso aire originada por la actividad minera. Para esto, se plantea la función de producción del aire. Como muestra la **Gráfica 9**, ante una función de producción dada, el agente muestra una atención médica predeterminedada ( $AM_0$ ) con su respectivo nivel de salud ( $S_0$ ), cuando existe un cambio en el ambiente originado por ejemplo por problemas de contaminación de aire, se necesita un incremento en atención médica ( $AM_1$ ) que permite al agente mitigar los efectos en salud originados por dicho cambio ( $S_1$ ).



## Ejemplo del cálculo de la función de producción de salud.

En el marco del licenciamiento se utilizan las metodologías de precio de mercado en donde se estima los valores económicos de los productos y los servicios de los ecosistemas que son comprados y vendidos en los mercados comerciales, y es utilizado para cuantificar los cambios de valor en la cantidad o calidad de un bien y servicio (ANLA, 2017). Una de las metodologías basadas en precios de mercado es el método del costo de enfermedad y del costo de capital humano.

Para calcular el valor del recurso aire en el sector minero, se propone un análisis metodológico de precios de mercado basados en el método del costo de enfermedad (morbilidad) y del costo de capital humano (mortalidad), para esto se siguen los pasos planteados en el marco del licenciamiento ambiental: 1.) Cuantificar el número de casos, 2.) Cuantificar los costos por morbilidad y mortalidad 3.) Agregación de la valoración por morbilidad y/o mortalidad (ANLA, 2017).

### 1. Cuantificar el número de casos

Para cuantificar el número de casos se debe: identificar el riesgo, identificar qué impacto puede generar este riesgo sobre la salud humana por medio de un análisis dosis – respuesta, y estimar el número de personas que son expuestas al peligro y los casos de morbilidad y mortalidad. (ANLA, 2017).

En términos generales, para identificar el riesgo en el tema de calidad del aire se ha encontrado amplia evidencia sobre los efectos que la contaminación del aire tiene sobre la salud de la población, en términos de morbilidad. Los impactos varían de acuerdo con la exposición (aguda

o crónica), el nivel de contaminación (alto o bajo), el contaminante que se considere, la edad de las personas, entre otros aspectos (Carbonell & Semerena, 2009).

Como muestra el **Cuadro 3**, los estudios muestran que, un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> se asocia a un incremento en la mortalidad; según Carbonell & Semerena (2009), la mortalidad infantil es de 1.88%, lo cual es consistente con la evidencia internacional. Linn CA (2004) encontraron un aumento de 1.7% en la mortalidad infantil en Sao Paulo (Brasil) por un aumento de la misma magnitud en PM<sub>10</sub>, mientras que, para Estados Unidos, asociaron este aumento en PM<sub>10</sub> con un incremento de 1.2% en la mortalidad de menores de un año. La población mayor de 65 años también se ve afectada con la contaminación atmosférica por partículas. Un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> ocasiona crecimientos de 1.21% en la mortalidad de los adultos mayores (Carbonell & Semerena, 2009).

**Cuadro 3**  
**Efectos en la salud humana producidos por PM<sub>10</sub>**

Contaminante	Efectos en salud cuantificados	Efectos en salud no cuantificados	Otros posibles efectos
Material particulado	<p>Mortalidad</p> <p>Morbilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bronquitis crónica y aguda</li> <li>• Admisiones hospitalarias</li> <li>• Síntomas en vías respiratorias inferiores</li> <li>• Síntomas en vías Respiratorias superiores</li> <li>• Enfermedades del pecho</li> <li>• Síntomas respiratorios</li> <li>• Días de actividad restringida</li> <li>• Días de trabajo perdidos</li> <li>• Efectos en asmáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la función pulmonar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfermedades respiratorias crónicas diferentes a la bronquitis crónica</li> <li>• Inflamación en los pulmones</li> </ul>

Fuente (Carbonell & Semerena, 2009)

Para estimar el número de personas que son expuestas al peligro y los casos de morbilidad y mortalidad se debe delimitar el ámbito geográfico y la población relevante; en una unidad espacial se debe calcular un modelo probabilístico<sup>10</sup> que determine el riesgo<sup>11</sup> de que los contaminantes lleguen a un punto determinado.

Asimismo, se debe identificar las necesidades de información socioeconómica secundaria y primaria para establecer la cercanía de las personas a los puntos de contaminación. Así, mediante herramientas de información geográfica se puede hacer una aproximación de la distancia de cada vivienda a los distintos puntos de emisión de material particulado y sus concentraciones.

Una vez realizada la modelación, se puede plantear una función Dosis-Respuesta conforme el riesgo que una persona tiene de sufrir una Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA), por estar expuesto al contaminante PM<sub>10</sub>.

### **Ecuación 13 – Dosis-respuesta**

<sup>10</sup> En el 2018 (Heli, Yoma, & Roberto, 2018) realizaron una modelación de la dispersión PM<sub>10</sub> en una cantera en la Guajira con el modelo CALPUFF el cual se basa en un modelo Gaussiano de voluta (no de pluma), en estado no estacionario que realiza sus cálculos tomando los datos meteorológicos de la capa superior atmosférica. Considera las irregularidades del terreno sobre el cual se presenta la dispersión e incluye la posibilidad de modelar la dispersión de contaminantes primarios y secundarios, obteniendo resultados confiables para distancias de hasta 100 km (recuperado de <https://www.modelosambientales.com/calpuffview.php>).

<sup>11</sup> Riesgo se define como la probabilidad por la consecuencia.

La estructura de esta ecuación se realiza bajo el planteamiento de las pruebas de especificación introduciendo variables de control al modelo teórico planteado de la función dosis respuesta en la que relaciona una variable de deficiencia de salud (p.e. días enfermo) con una variable de contaminación (cantidad de contaminante según modelación) y sus actividades para el tratamiento y prevención.

Con lo anterior el modelo especificado para la función dosis respuesta fue el siguiente:

$$S = \beta_0 + \beta_1 C_i + \beta_2 Pre_i + \beta_3 Tra_i + \beta_4 Pre_i^2 + \beta_5 Tra_i^2 + \varepsilon \quad (13)$$

Donde las variables asociadas se encuentran en el cuadro 6:

**Cuadro 4**  
**VARIABLES ASOCIADAS AL MODELO PARA FUNCIÓN DOSES RESPUESTA**

Variable	Definición	Unidad
$S$	Percepción Tasa de morbilidad por Infección respiratoria aguda (IRA)	Porcentaje (%)
$C_i$	distancia entre el hogar y la mina	kilómetros (KM)
$Pre_i$	Actividad de prevención, número de vacunas por persona en el hogar	Cantidad
$Tra_i$	Actividad de tratamiento, número de visitas al médico por persona en el hogar	Cantidad
$Tra2_i$	Actividad de tratamiento, número de visitas al médico por persona en el hogar al cuadrado	Cantidad
$Pre2_i$	Actividad de prevención, número de vacunas por persona en el hogar al cuadrado	Cantidad

Fuente: Elaboración propia

## 2. Cuantificar los costos por morbilidad

Para cuantificar el costo de un incremento en morbilidad debido a un aumento en los niveles de contaminación, se puede recolectar información de los diversos costos asociados con el incremento en morbilidad: cualquier pérdida de ingresos resultante de la enfermedad; costos médicos tales como honorarios de los doctores, visitas o estadías en hospitales, medicamentos, y cualquier otro gasto pagado por el individuo (p. e. transporte, estadía, alimentación). Este enfoque es simétrico: son estimados de la misma manera los beneficios de acciones que reducen los niveles de contaminación, y, consecuentemente, los costos por el incremento en los casos de morbilidad (ANLA, 2017).

En la literatura existen estudios como el de Murty & Gulaty (2003), quienes utilizan el modelo de función de producción de salud para medir los beneficios en términos de salud como producto de una disminución de la contaminación del aire; usando un sistema de ecuaciones simultaneas, encuentran la ganancia en bienestar para un hogar representativo en las ciudades de Delhi y Calcuta. Cabe aclarar que, cualquier modelo de este tipo contiene sesgo por simultaneidad lo cual se evidencia al realizar la prueba Ramsey-RESET y corroborar la presencia de variables omitidas.

Asimismo, Carbonell (2006) argumenta que si se tiene un modelo de ecuaciones simultaneas se recomienda utilizar condiciones de orden y de rango, en cuyo caso lo aconsejable es utilizar el método de mínimos cuadrados en dos etapas y o mínimos cuadrados en tres etapas. Por último, se agregan y analizan los cambios en el bienestar ambiental.

Cabe notar que la función de producción cuenta con variables exógenas (la contaminación del medio ambiente) y elige variables para algún estatus de salud como el costo de actividades de tratamiento. Se supone que los individuos conocen una función de producción de salud, eligen el nivel de producción óptima y escogen los insumos para minimizar los costos de producir algún nivel de salud.

En este ejemplo, los Costos por Morbilidad sugeridos en ANLA (2017), están dados por costos en las actividades preventivas y costos en las actividades de tratamiento, para los cuales se sugiere estimar demandas individuales las cuales dependerán de los costos asociados a las actividades y los costos sustitutos de cambiar el tratamiento por la prevención o viceversa. A continuación, se describe un planteamiento para cada una de las demandas de *Actividades Preventivas y Actividades de tratamiento*.

#### Ecuación 14 – Actividades Preventivas

La función de demanda de actividades preventivas estará determinada por la distancia del hogar a la mina, de manera que, a mayor distancia, se espera un menor número de actividades preventivas por menor riesgo. Por otra parte, el mayor costo de las actividades de prevención determinará una menor demanda de actividades preventivas, mientras que un mayor costo del tratamiento implicaría menor demanda de prevención, bajo la idea de que existe cierto nivel de sustituibilidad entre la prevención y el tratamiento. En cuanto a los ingresos, se espera que el mayor ingreso de los hogares los estimule a demandar más actividades de prevención, mismo comportamiento que tendría la educación, en tanto un mayor nivel de educación del jefe de hogar, lo haría más consciente del riesgo y estimularía la demanda de prevención. Por último, se espera que un número mayor de niños menores de 5 años en el hogar generará una demanda igualmente mayor de actividades preventivas de IRA, en tanto aumenta el riesgo de contagio entre los menores.

$$Pre = \alpha_0 + \alpha_1 C_i + \alpha_2 CtoPre_i + \alpha_3 CtoTra_i + \alpha_4 Ing_i + \alpha_5 Edu_i + \alpha_6 Nino_i + \varepsilon \quad (14)$$

Donde las variables asociadas se encuentran en el cuadro 7

**Cuadro 5**  
**VARIABLES PARA EL MODELO DE DEMANDA POR ACTIVIDADES PREVENTIVAS**

Variable	Definición	Unidad
<i>Pre</i>	# Actividades de prevención	Cantidad
<i>C<sub>i</sub></i>	distancia entre el hogar y la mina más cercano	kilómetros (KM)
<i>CtoPre<sub>i</sub></i>	Costo actividades de prevención	Pesos colombianos (\$COP)
<i>CtoTra<sub>i</sub></i>	Costo actividades de tratamiento, costo de la consulta médica.	Pesos colombianos (\$COP)
<i>Ing<sub>i</sub></i>	Ingreso anual por persona en el hogar, costo de la vacuna.	Pesos colombianos (\$COP)
<i>Edu<sub>i</sub></i>	Máximo nivel de educación del jefe de hogar	Variable categórica
<i>Nino<sub>i</sub></i>	Número de niños menores de 5 años que residen en la vivienda.	Cantidad (conteo)

Fuente: Elaboración propia con base en ANLA 2015

#### Ecuación 15- Actividades de tratamiento

La función de demanda de actividades tratamiento estará determinada por la distancia del hogar a la mina, de manera que, a mayor distancia, se espera un menor número de actividades de tratamiento menor. Por otra parte, el mayor costo de las actividades de tratamiento implica menor demanda del mismo, mientras que un mayor costo de la prevención generará una mayor demanda de tratamiento debido a que las familias no prevendrían y solo tratarían en caso de enfermedad, esto nuevamente asumiendo sustituibilidad entre la prevención y el tratamiento. En cuanto a los ingresos, se espera que el mayor ingreso de los hogares los estimule a demandar

más actividades de tratamiento. Por último, se espera que un mayor nivel de morbilidad por IRA tenga un efecto en el aumento de las actividades de tratamiento. Por último, se espera que un mayor nivel de morbilidad por IRA tenga un efecto en el aumento de las actividades de tratamiento.

$$Trat = \delta_0 + \delta_1 C_i + \delta_2 CtoPre_i + \delta_3 CtoTra_i + \delta_4 Ing_i + \delta_5 S_i + \varepsilon \quad (15)$$

Donde las variables asociadas se encuentran en el cuadro 8

**Cuadro 6**  
**Variables asociadas a las actividades por tratamiento**

Variable	Definición	Unidad
<i>Trat</i>	Número de Actividades de tratamiento	Cantidad
<i>C<sub>i</sub></i>	Distancia entre el hogar y la mina	kilómetros (KM)
<i>CtoPre<sub>i</sub></i>	Costo actividades de prevención	Pesos colombianos (\$COP)
<i>CtoTra<sub>i</sub></i>	Costo actividades de tratamiento, costo de la consulta médica.	Pesos colombianos (\$COP)
<i>Ing<sub>i</sub></i>	Ingreso anual por persona en el hogar	Pesos colombianos (\$COP)
<i>S<sub>i</sub></i>	Tasa de morbilidad por IRA	Porcentaje (%)

Fuente: Elaboración propia con base en ANLA 2015

Finalmente, vale la pena volver a mencionar que según este planteamiento de ecuaciones se presenta una relación de simultaneidad entre las ecuaciones 13 y 15 entre las variables de Tasa de Morbilidad y el número de actividades de tratamiento. Con la anterior una estimación por MCO arrojaría estimadores sesgados e inconsistentes ya que por el problema de doble causalidad se violaría el supuesto de independencia condicional debido al correlación de los errores en las dos ecuaciones.

A continuación, en el cuadro 9 se estima el modelo de ecuaciones simultaneas.

**Cuadro 7 Modelo ecuaciones simultáneas**

ecuación 13 Dosis respuesta	
Variable Dependiente <i>S</i>	
disMina_km	$\Omega 1$
_cons	
ecuación 14 Demanda de Actividades Preventivas	
Variable Dependiente <i>Prev</i>	
disMina_km	$\Omega 2$
_cons	
ecuación 15 Demanda de Actividades de Tratamiento	
Variable Dependiente <i>Trat</i>	
disMina_km	$\Omega 3$
_cons	

Fuente: Elaboración propia con base en ANLA 2015

En donde  $\Omega 1$  es el coeficiente entre distancia del hogar a la mina y Percepción Tasa de morbilidad por Infección respiratoria aguda *S*,  $\Omega 2$  es el coeficiente entre distancia del hogar a la mina y el

número de actividades de prevención  $Prev$ ,  $\Omega_3$  es el coeficiente entre distancia del hogar a la mina y el número de actividades de tratamiento  $Trat$ .

### 3. Agregación de la valoración por morbilidad

Una vez se han cuantificado los casos de morbilidad (por tipo de enfermedad), derivados del cambio en la calidad ambiental, así como los costos respectivos, se valoran tales efectos en términos monetarios agregados (ANLA, 2017). Con los resultados obtenidos es posible estimar con los efectos marginales de la variable de contaminación en cada una de las tres ecuaciones (Función dosis Rta- demanda de actividades preventivas y demanda de actividades de tratamiento), el ahorro por persona (Disponibilidad a pagar  $DAP$ ) y por hogar que le representaría a las familias pasar de un lugar más cercano a la mina a otro lugar más alejado de esta misma. De esta forma usando la ecuación se tiene:

$$DAP = w (\Omega_1) + Cto\ Pre (\Omega_2) + Cto\ Tra (\Omega_3) \quad (16)$$

En donde,  $w$  es el ingreso diario por persona (Ing),  $Cto\ Pre$  es el Costo actividades de prevención  $Cto\ Tra$  Costo actividades de tratamiento reflejado en costo de la consulta médica.

## Conclusiones y recomendaciones

El presente documento plantea un conjunto de bases metodológicas para realizar valoraciones de referencia que aporten a las evaluaciones económicas ambientales (EEA) en los componentes hídrico y atmosférico en caso de que los proyectos mineros generen impactos significativos sobre los servicios ecosistémicos provistos en estos dos componentes. Cabe anotar que la validez de los resultados de las EEA presentadas en el marco del licenciamiento no se restringe a la aplicabilidad de las metodologías presentadas; sin embargo, es importante que cualquier metodología usada para las EEA identifique claramente la cuantificación biofísica del impacto y servicio ecosistémico alterado, así como la oferta y demanda de los recursos naturales utilizados antes y después de la inclusión del proyecto.

Igualmente, es requerido que el precio de los componentes afectados usados en las valoraciones económicas se sustente con el uso de métodos de preferencias reveladas y/o declaradas, teniendo en cuenta los conceptos de precios de eficiencia y costo de oportunidad. Finalmente, especial atención y soporte deben ser prestados en la identificación del número de individuos impactados y la delimitación espacial del área de influencia, dado que toda valoración individual de los beneficios y costos (DAP) ambientales y sociales de un proyecto, deberá ser expandida para toda la población, en aras de contar con aproximaciones globales del valor del cambio del componente ambiental alterado como consecuencia de la implementación del proyecto.

## Referencias

ANLA. (2017). *Manual de criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*. Bogotá.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Valoración Económica Ambiental S.A,S . (2015). *Consultoría para la Valoración Económica de Referencia de los Componentes Aire y Agua Como Instrumento para el Fortalecimiento del Proceso de Licenciamiento Ambiental de Proyectos para el Sector Hidrocarburos – Caso de Estudio Casanare y Meta*. .

- Braden, J. a. (1993). *Measuring the Demand for Environmental Quality*. American Journal of Agricultural Economics.
- Carbonell, J. A. (2006). *Percepción del estado de salud sobre la enfermedad diarreica aguda y los botaderos de basura a cielo abierto en Soledad Atlántico : una aplicación de la Fundación Producción de Salud*. Universidad de los Andes.
- Carbonell, J. A., & Semerena, R. I. (2009). *Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Economía informa.
- Castro, R. R., A, C. D., & Casallas, Y. A. (2019). *Tasa de descuento: aspectos relevantes en el marco del licenciamiento ambiental en Colombia*. ANLA.
- Copper. (1981). *Measuring the benefits from reduced mobility*. American economic review.
- Cruz, M. E. (2003). *El Valor De La Productividad Marginal Del Agua En La Industria Manufacturera Colombiana*. Bogotá: DOCUMENTOS CEDE 002563, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES-CEDE.
- Estudio Nacional del Agua*. (2010). Bogota: IDEAM.
- Freeman, F. A. (2003). *The Measurement of Environmental Resource Values*. RFF PRESS RESOURCES FOR THE FUTURE.
- Gómez-Limón, J. A., & Martin-Ortega, J. (2011). Agua, economía y territorio: nuevos enfoques de la Directiva Marco del Agua para la gestión del Recurso. *Estudios de Economía Aplicada*, 65-93.
- Grossman, M. (1972). *On the Concept of Health Capital and the Demand for Health*. Journal of Political Economy, 1972, vol. 80, issue 2, 223-55.
- Heli, A., Yoma, M., & Roberto, R. (2018). *Evaluación del CALPUFF para Estimar Concentraciones Ambientales de PM 10 de una Cantera en Terrenos Complejos*. Grupo de Investigación GISA, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Guajira.
- Hussen, A. (2004). *Principles of Environmental Economics*. Routledge (1853).
- Linn CA, P. L. (2004). *Air pollution and neonatal deaths in Sao Paulo, Brazil*. Sao Paulo: J Med Biol Res.
- Munevar, W. G. (2015). *Gestión y valor económico del recurso hídrico*. Universidad de Católica de Colombia.
- Murty, M., & Gulaty, S. (2003). *Welfare gains from urban air pollution abatement in the indian subcontinent*. Institute of economic growth. Dehli University Enclave.
- N.Gregory., M. (2009). *Principios de Economía*. Latin America. 5ª edición.
- Nauman, A. (2010). *Air Pollution Impacts to Agricultural crops*. White Rose eThenses Online.
- OMS. (2014). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Organización mundial de la salud.
- Robinson, J. y. (1992). *Introducción a la Economía Moderna*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Rosegrant, M., Cai, X., & Cline, S. A. (2002). *Informe Panorama Global del Agua Hasta el Año 2050: Cómo impedir una crisis inminente*. Washington D.C: Instituto Interancional para el Manejo del Agua.
- Sánchez, I., Almendarez, A., Morales, M., & Salinas, C. (2013). Valor de existencia del servicio ecosistémico hidrológico en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México. *Frontera Norte*, 25(50), 97-129.

Sarukhán , J., & Whyte, A. (2005). *Ecosystems and human well - being: synthesis (Milenium Ecosystem Assessment)*. Washington: Island Press.

Vélez, P. I., & Tham, J. (2002). *Valuation in an inflationary environment*. Recuperado de <http://ssrn>.