

Documento de Trabajo No.56¹

Modelo de simulación de huella de carbono para la construcción de acueductos

I.- Síntesis

1.- Los desafíos ambientales que enfrenta el planeta vinculados al calentamiento global han llevado, durante los últimos años, a que las **mediciones de huella de carbono** de distintos productos y actividades hayan ido cobrando cada vez mayor importancia ante consumidores y productores, y a que los países las utilicen como indicadores relevantes para la gestión de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

2.- Desde la firma del Protocolo de Kioto en 1997, han ido desarrollándose **metodologías de medición de la huella de carbono**, definida como 'la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, evento o producto'.

3.- En el caso del sector de la construcción, existen protocolos de emisión de GEI aplicables a empresas y/o proyectos, como el de la **European Network of Construction Companies for Research and Development (ENCORD)**, elaborado como complemento de la metodología del 'Greenhouse Gas Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard' del World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), conocido habitualmente como '**GHG Protocol**'.

4.- El protocolo ENCORD establece **3 niveles de alcance**: **emisiones directas** (producidas por fuentes propiedad de la organización reportante o bajo su control), **emisiones indirectas** (producidas por fuentes de emisión propiedad de terceras partes, o bajo el control de terceras partes, pero cuyas emisiones son influenciadas por la reportante) y **otras emisiones indirectas** (producidas por fuentes no controladas por la compañía, pero correspondientes a la cadena de valor).

5.- En cada uno de estos niveles de alcance, la lógica de cálculo es similar: **computar la cantidad de cada ítem generador de emisión de GEI** (por ejemplo, litros de gasoil consumidos por cada equipo en la obra) y **multiplicarla por el factor de emisión** correspondiente (siguiendo con el ejemplo, la cantidad de CO₂ emitido por cada litro de consumo de gasoil), factores de emisión que provienen de estudios técnicos como los realizados por el WRI.

6.- En este documento de trabajo se **aplica el protocolo de ENCORD a la construcción de acueductos**, según la modelización del **Sistema Estadístico de Costos de la Construcción**, cuyos parámetros técnicos permiten obtener, de manera rigurosa y objetiva, estimaciones de emisiones de GEI a través de su combinación con los factores de emisión correspondientes, provenientes de estudios técnicos del WRI.

¹ Julio de 2022. Documento en etapa de análisis y discusión.

II.- Metodología de medición de huella de carbono en la construcción

Los desafíos ambientales que enfrenta el planeta vinculados al calentamiento global han llevado, durante los últimos años, a que las mediciones de huella de carbono de distintos productos y actividades hayan ido cobrando cada vez mayor importancia ante consumidores y productores, y a que los países las utilicen como indicadores relevantes para la gestión de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En este contexto, desde la firma del Protocolo de Kioto en 1997, han ido desarrollándose metodologías de medición de la huella de carbono, definida comúnmente como 'la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, evento o producto', aunque no existen todavía enfoques y herramientas metodológicas uniformes (ver CEPAL, 2010)².

En el caso del sector de la construcción, existen protocolos de emisión de GEI aplicables a las empresas y/o a los proyectos, como el de la **European Network of Construction Companies for Research and Development (ENCORD)**³, elaborado como complemento de la metodología del 'Greenhouse Gas Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard' del World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), conocido habitualmente como '**GHG Protocol**'.

El protocolo de ENCORD distingue cuatro áreas claves de operación: (a) la **fabricación de materiales**, que incluye la producción de materias primas, la transformación en materiales de construcción y el transporte del producto hasta el lugar de la obra, (b) la **actividad de la construcción**, (c) la **operación** posterior de la infraestructura construida, durante su vida útil, y (d) la **actividad de la construcción** vinculada a la demolición luego de la vida útil, o a las reformas o remodelación durante dicha vida útil.

Al mismo tiempo, el protocolo recomienda la distinción entre **sectores y proyectos**, incluyendo en los primeros a (a) infraestructura, (b) construcción residencial y (c) construcción no residencial y, entre los segundos, a (a) infraestructura vial, (b) oficinas comerciales, (c) educación, (d) edificios públicos, (e) infraestructura ferroviaria, (f) comercio minorista, (g) salud, (h) usos mixtos, (i) residencial, (j) otros comerciales, (k) ocio, (l) industrial, (m) otros tipos de construcción.

A los fines de la medición, en cualquiera de los segmentos mencionados, establece **3 niveles de alcance**:

² CEPAL (2010): "Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina", Documentos de Proyectos, Estudios e Investigaciones, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

³ ENCORD (2012): "Construction CO₂e Measurement Protocol. A Guide to reporting against the Green House Gas Protocol for construction companies", European Network of Construction Companies for Research and Development.

Alcance 1: Emisiones directas. Emisiones producidas por fuentes propiedad de la organización reportante o bajo su control. Por ejemplo, emisiones por consumos de combustibles de camiones y demás equipamiento utilizados en la etapa de construcción.

Alcance 2: Emisiones indirectas. Emisiones producidas por fuentes de emisión propiedad de terceras partes, o bajo el control de terceras partes, pero cuyas emisiones son influenciadas por la compañía reportante. Por ejemplo, emisiones por generación de energía eléctrica utilizada por la empresa constructora.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas. Otras emisiones producidas por fuentes no controladas por la compañía, pero correspondientes a la cadena de valor de la construcción. Por ejemplo, emisiones por extracción de materias primas y por transformación de materias primas en materiales utilizados en la construcción.

En cada uno de estos niveles de alcance, la lógica de cálculo es similar: **computar la cantidad de cada ítem generador de emisión de GEI** (por ejemplo, litros o m³ de gasoil consumidos por cada equipo en la obra) y **multiplicarla por el factor de emisión** correspondiente (siguiendo con el ejemplo, la cantidad de CO₂ emitido por cada litro o m³ de consumo de gasoil), factores de emisión que provienen de estudios técnicos como los realizados por el WRI.

Una vez obtenida una estimación de emisión de GEI, por ejemplo emisiones de CO₂, es posible construir una serie de **indicadores clave de desempeño** (*“key performance indicators”*) que, en el caso de la construcción, pueden expresarse como kg o Tn de CO₂ emitidos por cada metro o km de un acueducto, de una línea de transmisión eléctrica o de una infraestructura vial, para mencionar algunos tipos de construcción. Es habitual también que estos indicadores se expresen como cantidad de CO₂ emitido por cada millón de pesos o dólares, es decir, por unidades monetarias. Si bien se trata de un tipo de indicador habitual por el sentido que tienen las unidades monetarias en cuestiones económicas, se trata de indicadores que sufren alta volatilidad y distorsiones en una economía con alta volatilidad de precios relativos como lo es la economía argentina.

En las próximas secciones, se **aplicará el protocolo de ENCORD** a la construcción de acueductos, según la modelización matemática del **Sistema Estadístico de Costos de la Construcción**, cuyos parámetros técnicos permiten obtener, de una manera rigurosa y objetiva, estimaciones de emisiones de GEI a través de su combinación con los factores de emisión correspondientes, provenientes de estudios técnicos del WRI.

Próximos documentos de trabajo se ocuparán de simular impactos sobre huella de carbono de distintos supuestos de equipos, antigüedad de los mismos, parámetros de

productividad, entre otros factores con incidencia en el nivel de emisiones de GEI, y de extender el análisis a otros tipos de infraestructura⁴.

III.- Huella de carbono en la construcción de acueductos

El modelo de simulación de costos de acueductos⁵, uno de los modelos incluidos en el Sistema Estadístico de Costos de la Construcción, permite obtener las siguientes estimaciones de fuentes de emisión directa e indirecta:

1.- Fuentes de emisión directa

Los equipos y parámetros técnicos de consumo de gasoil sintetizados en tabla 1 permiten obtener un consumo de gasoil de 3.3 litros por metro lineal de acueducto. Con un factor de emisión de gasoil de 2.61 kg de CO₂ por litro⁶, la **emisión directa generada es de 8.5 kg de CO₂ por metro lineal de acueducto.**

Tabla 1. Estimación de emisiones directas por consumo de gasoil

Equipo	Cantidad	hs/día	metros / día	hph	litros gasoil/hph	litros gasoil / m
Excavadora sobre oruga	1	8	200	170	0.12	0.816
Cargador frontal con retroexcavadora	1	8	200	80	0.12	0.384
Camión con caja volcadora	1	8	200	180	0.12	0.864
Camión tanque regador	1	8	200	180	0.12	0.864
Compactadores manuales	2	8	200	8	0.12	0.077
Grupos electrógenos	1	8	200	8	0.12	0.038
Herramientas y equipos menores	1	8	200	32	0.12	0.154
Equipo	Cantidad	km/día	metros/día	litro gasoil/km	litros gasoil / m	
Camionetas	2	60	200	0.1	0.06	
Consumo de gasoil (litros por metro)						3.257
Parámetro técnico de emisión de gasoil (Kg CO2 por litro)						2.61
Huella de carbono de construcción de acueducto (Kg CO2 por metro)						8.5

Fuente: Economic Trends con parámetros del Sistema Estadístico de Costos de la Construcción y de Greenhouse Gas Protocol.

⁴ El Sistema Estadístico de Costos de la Construcción incluye modelos matemáticos para, además de la construcción de acueductos, la construcción de infraestructura vial, de viviendas sociales y de tendidos eléctricos.

⁵ Ver Documento de Trabajo No.49: 'Modelo de simulación de construcción de acueductos', Foro de Análisis Económico de la Construcción, mayo de 2022.

⁶ Fuente: Greenhouse Gas Protocol, cross-sector calculation tool.

2.- Fuentes de emisión indirecta

Los materiales y parámetros técnicos sintetizados en tabla 2 permiten obtener un consumo de tubos de PVC de 2.9 kg por metro lineal de acueducto y de 144 kg de arena por metro lineal de acueducto. Con factores de emisión de 3.231 kg CO₂ / kg y 0.00747 kg CO₂ / kg, respectivamente ⁷, la emisión indirecta generada es de 10.6 kg de CO₂ por metro lineal de acueducto.

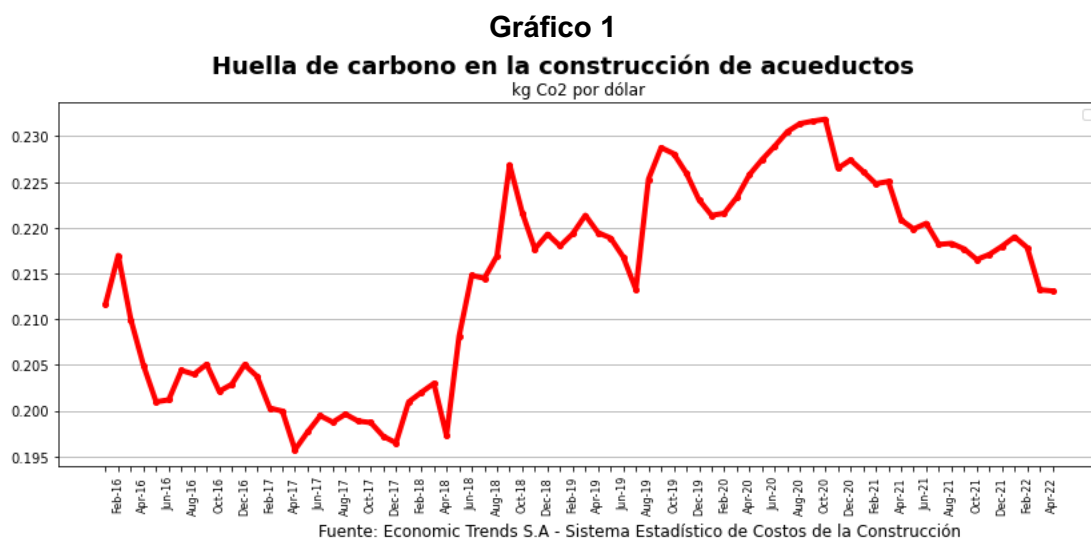
Tabla 2. Estimación de emisiones indirectas por utilización de materiales

Material	Cantidad por metro		kg por metro		Factor de emisión		kg CO ₂ /m
Tubos PVC, diámetro 200mm, clase 6	1.03	m	2.940738662	kg	3.23	kg CO ₂ por kg	9.5
Arena	0.09	m ³	144	kg	0.00747	kg CO ₂ por kg	1.1
Estimación de emisión indirecta							10.6

Fuente: Economic Trends con parámetros del Sistema Estadístico de Costos de la Construcción y de Greenhouse Gas Protocol.

3.- El problema de los indicadores 'monetarios' de emisión

El gráfico 1 muestra la evolución, entre enero de 2016 y abril de 2022, de la emisión directa expresada como kg de CO₂ por dólar de costo de la infraestructura.



Tal como se advirtió en la sección II, **la volatilidad de precios relativos de la economía argentina hace que el indicador de emisión por unidad monetaria sea altamente**

⁷ Fuente Greenhouse Gas Protocol, cross-sector calculation tool.

inestable ya que, para un mismo indicador 'físico' de emisión por metro de construcción de acueducto, **el indicador 'monetario' de emisión por dólar de construcción varía a medida que se modifican los precios relativos**. En el periodo analizado, el indicador de emisión directa varió entre un mínimo de 0.196 kg de CO₂ por dólar en abril de 2017 y un máximo de 0.232 kg de CO₂ por dólar en octubre de 2020, una **diferencia del 18.4%**.

Esto significa que, en cualquier esquema que el Estado decida incluir en sus licitaciones de obra pública parámetros de huella de carbono, **debería hacerlo mediante indicadores 'físicos'**, como kg de Co₂ por metro o km, por ejemplo, **en lugar de hacerlo mediante indicadores 'monetarios' como kg de Co₂ por dólar o peso**.

IV.- Notas metodológicas

- 1.- El modelo de simulación de costos de acueductos es uno de los componentes del Sistema Estadístico de Costos de la Construcción, diseñado y ejecutado por Economic Trends, con metodología propia, para el Foro de Análisis de la Construcción.
- 2.- El modelo está desarrollado en lenguaje de programación PYTHON, y permite (a) generar estadísticas de costos, (b) realizar proyecciones de costos bajo diferentes escenarios, (c) realizar simulaciones de impacto de cambios en cualquier factor con incidencia sobre los costos de construcción de rutas, (d) generar reportología de manera automatizada.
- 3.- Todos los supuestos de trabajo son parámetros que se mantienen fijos a los fines de la generación de estadísticas, pero son modificables para la realización de simulaciones.
- 4.- La metodología utilizada no sufre la distorsión que, en una economía volátil como lo es la economía argentina, se produce cuando se modifican abruptamente los precios relativos y se utilizan metodologías tradicionales de generación de estadísticas de costos, basadas en promediar variaciones porcentuales de costos de distintos ítems con ponderadores fijos en el tiempo, que suponen participaciones constantes cuando éstas se modifican mientras cambian los precios relativos. Por el contrario, la metodología utilizada da cuenta de todos los impactos vinculados a la volatilidad de precios relativos, ya que computa, desde 'base cero', todos los costos, sin presuponer participaciones determinadas en la estructura de costos.
- 5.- El Sistema Estadístico de Costos de la Construcción no genera valores de cotización de obras específicas, sino un modelo para evaluar la evolución de los costos, la proyección de los mismos bajo distintos supuestos y la simulación de impactos de distintos factores con incidencia sobre los costos.

6.- El modelo utilizado no incluye análisis de costos financieros y de redeterminaciones de costos, para lo cual el Foro de Análisis Económico de la Construcción desarrolló un modelo complementario para simular dichos costos bajo distintos supuestos de trabajo⁸.

Informe elaborado por
el **Comité de Análisis del Foro de Análisis Económico de la Construcción**,
con la asistencia técnica de **Economic Trends S.A.**

El **Foro de Análisis Económico de la Construcción** es un espacio de **investigación continua** (cada análisis genera inquietudes que realimentan el proceso), **integrada** (integra a economistas y empresarios de la construcción en un Comité de Análisis) y **focalizada** (pretende la rigurosidad propia de la actividad académica, pero con foco en temas específicos de interés para el sector).

⁸ Ver Documento de Trabajo No.17: 'Incidencia de inflación, esquemas de redeterminación y plazos de pago sobre los costos de construcción', Foro de Análisis Económico de la Construcción, octubre de 2018.

También Documento de Trabajo No.55: 'Análisis de la necesidad de indexación por inflación en obras públicas', Foro de Análisis Económico de la Construcción, julio de 2022.