

**Artículos aceptados y expuestos en
congresos del Instituto Argentino de
Profesores Universitarios de Costos**

La teoría general de costo y la huella de carbono: en la búsqueda de un costo medio socialmente responsable¹

The General Theory of Cost and the Carbon Footprint: in the search for a socially responsible average cost

GLADYS FERRARO²
GUSTAVO METILLI²
CLAUDIO BISET²

Resumen

Las actividades económicas de las distintas cadenas productivas generan, desde su origen hasta el consumo final de los productos, emisión de gases que producen una huella ambiental que puede medirse y compensarse, pero que provocan un calentamiento global que impacta en la calidad de vida de la sociedad.

Una forma de medir la salud ambiental es por medio de la emisión de gases efecto invernadero, conocido como «huella de carbono». Esta se ha convertido en un instrumento que contribuye a que la sociedad tenga un comportamiento socialmente responsable, desarrollando acciones menos agresivas para el ambiente y más sustentables a largo plazo. Sin embargo, pocas empresas en Argentina dedican tiempo y recursos en medir el impacto generado por la emisión de gases y mucho menos aún las que trabajan para reducirla.

Desde un enfoque mesoeconómico se busca identificar, cuantificar y caracterizar el impacto ambiental potencial de los agregados económicos medios en la determinación del costo normalizado, para que desde la Teoría General del Costo se transforme en una herramienta de sustentabilidad.

Ello se logrará mediante la consideración de las emisiones de gases efecto invernadero en la determinación del componente físico normalizado del costo medio, lo que implica incorporar la ecoeficiencia al esquema de análisis, a través de la necesidad medioambiental. Esto genera un aporte al sistema de información para la sustentabilidad y sostenibilidad medioambiental que se propone agregar a los usos de la Teoría General del Costo.

Conocer el efecto que las emisiones de gases producen a través de los procesos productivos de los agregados económicos medios implica conocer la responsabilidad de los impactos ambientales que se provocan en la búsqueda de la sustentabilidad y la sostenibilidad del sistema.

Código JEL: L99, O13, Q56.

Palabras clave: agregados económicos, costo normalizado socialmente responsable, ecoeficiencia, necesidad medioambiental, huella de carbono.

¹ Trabajo presentado en el XL Congreso Argentino de Profesores Universitarios de Costos. Mendoza, octubre de 2017.

² Profesores de la Cátedra de Costos de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Socios activos IAPUCo.

Abstract

The economic activities of the different productive chains generate, from their origin to the final consumption of the products, emission of gases that produce an environmental footprint that can be measured and compensated, but that cause a global warming that impacts on the quality life for the society.

One way to measure environmental health is through the emission of greenhouse gases, known as “carbon footprint”. This has become an instrument that contributes to society having a socially responsible behavior, developing less aggressive actions for the environment and more sustainable in the long term. However, few companies in Argentina dedicate time and resources to measuring the impact generated by the emission of gases, much less even those that work to reduce it.

From a mesoeconomic approach we seek to identify, quantify and characterize the potential environmental impact of the average economic aggregates on the determination of the normalized cost, so that from the General Theory of Cost becomes a tool of sustainability.

This will be achieved through the consideration of greenhouse gas emissions in the determination of the normalized physical component of the medium cost, which implies incorporating ecoefficiency into the analysis scheme, through environmental necessity. This generates a contribution to the information system for sustainability and environmental sustainability that is proposed to add to the uses of the General Theory of Cost.

Knowing the effect that gas emissions produce through the production processes of the average economic aggregates implies knowing the responsibility for the environmental impacts that they provoke in the search for sustainability and sustainability of the system

JEL Code: L99, 013, Q56.

Keywords: Economic Aggregates, Socially Responsible Standardized Cost, Eco-Efficiency, Environmental Necessity, Carbon Footprint.

1. Introducción

Las actividades económicas de las distintas cadenas productivas, desde su origen hasta el consumo final de los productos (bienes y/o servicios), generan emisión de gases que producen una huella ambiental que puede medirse y compensarse, pero que provocan un calentamiento global que impacta en la calidad de vida de la sociedad.

Son pocas las empresas en Argentina que dedican tiempo y recursos en medir el impacto generado por la emisión de gases y mucho menos aún las que trabajan para reducirla. Sin embargo, es creciente la demanda de productos de calidad diferenciados por la sanidad o inocuidad y por la calidad de los procesos que consideran la salud ambiental en su faz productiva. A su vez, las convenciones internacionales y los mecanismos comerciales ejercen presiones respecto de los estándares y certificaciones de productos, lo que representa factores a tener en cuenta por parte de las empresas, especialmente las exportadoras.

Esta creciente sensibilidad ambiental de las sociedades desarrolladas impulsará a la legislación internacional a aumentar las exigencias de contralor ambiental a las empresas exportadoras, presión que también generará la competencia de las empresas que tratarán de aprovechar las oportunidades comerciales emergentes y posicionarse en el mercado.

Una forma de medir la salud ambiental es por medio de la emisión de gases efecto invernadero (GEI), conocida como «huella de carbono» (HC). Esta se ha convertido en un

instrumento que contribuye a que la sociedad tenga un comportamiento socialmente responsable, desarrollando acciones menos agresivas para el medioambiente y más sustentables a largo plazo.

El análisis de la HC abarca todas las etapas del desarrollo de la actividad, el cálculo de emisiones como indicador ambiental global es el que ha sido trabajado por distintas organizaciones, en términos físicos, indicando que su mitigación o agregación implicaría reducción de costos.

Desde la Teoría General del Costo (TGC), se señala que «los hechos que ocurren en todo proceso de producción son, siempre, de naturaleza física y admiten la posibilidad de su expresión en términos de una relación de productividad que vincule cantidades de factor (externo o interno) con unidades de producto (final o intermedio)» (Cartier, 2017). El «componente físico» de cada factor es siempre una «relación de productividad» del tipo «cantidad de unidades de factor por unidad de objetivo»; entonces, al momento de normalizar el componente físico, este debería representar una meta respecto de las emisiones de GEI a generar en el período, lo que implicaría obtener la «cantidad necesaria» para alcanzar el objetivo con un comportamiento socialmente responsable.

El objetivo propuesto, desde un enfoque mesoeconómico, es identificar, cuantificar y caracterizar el impacto ambiental potencial de los agregados económicos medios en la determinación del costo normalizado, para que en el marco de la Teoría General del Costo se transforme en una herramienta de sustentabilidad.

La consideración del impacto de la HC en las actividades generadoras de valor de los agregados económicos permitirá normalizar el costo medio de forma tal que se transforme en un «costo medio sustentable», meta del período para reducir los impactos de GEI. Esto implicará medir el impacto que el clúster o cadena integrada (agregados económicos medios) genera al medioambiente, y el disvalor que pueda provocar en la medida que se aleje de la meta (costo medio normalizado), a la vez que permitirá medir la variación en los costos producto de calcular variaciones.

El mundo avanza hacia la implementación de sistemas de contabilización del carbono, los costos ambientales estarán sujetos a un análisis de trazabilidad que permita internalizarlos. Esta trazabilidad del carbono en las cadenas productivas impone un costo económico que las empresas deben asumir. Y no hay duda de que las empresas que no elaboren un plan de adaptación frente al cambio climático estarán avocadas al fracaso.

2. Metodología

Para cumplir con el objetivo propuesto se aplicó la TGC desde una perspectiva mesoeconómica, tomando como objeto de estudio los agregados económicos y analizando el impacto de la emisión de GEI en la normalización de los componentes físicos del costo medio.

La investigación realizada es de tipo exploratorio, aplicada y descriptiva, con método deductivo y sincrónico. Se seleccionó información primaria y secundaria, la que se utilizó para aplicar normas y metodologías existentes a la visión de la TGC, ejemplificando en algunas cadenas o agregados económicos como el transporte urbano de pasajeros y la agroindustria.

3. Antecedentes

La noción de Huella Ecológica (HE) surge a comienzos del año 1960 con el suizo Mathis Wackernagel, quien analiza la aceleración del crecimiento económico, y de manera paralela el aumento del consumo per cápita y uso de recursos naturales en las economías más desarrolladas. La consecuencia de ello era la degradación de los suelos, el aire, el agua, los bosques y el hábitat de la diversidad biológica. Wackernagel expresaba que esa sobrecarga podía llevar al empobrecimiento de los recursos del planeta y un riesgo creciente de autodestrucción.

La HE fue planteada como un instrumento de contabilidad destinado a valorar los requerimientos de consumo y la asimilación de desechos de una población o un país o en relación con la cantidad de tierra productiva disponible (Wackernagel y Rees, 1996), lo cual muestra así países con pautas de consumo que exceden la capacidad biológica de producirlos (elevada HC), y viceversa.

Con el paso de los años, la HE se ha ido desagregando con mayor especificidad: huella energética, hídrica, mineral, de carbono entre otras, pero es sin duda la HC el componente más importante (representa el 50 % de la HE total de la humanidad).

Desde 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) constituye el marco multinacional de implementación de los esfuerzos internacionales para enfrentar el desafío del cambio climático. Desde su constitución se han ido desarrollando sucesivas reuniones *Conferencias de las partes (COP)* que han llevado a la modificación de las obligaciones y responsabilidades de los países que conforman la CMNUCC, entre ellos Argentina (ratifica en 1994).

El Protocolo de Kyoto (1997) surge luego de la firma de varios convenios de índole ambiental entre países, y entra en vigencia en el año 2005 acordando una reducción voluntaria de emisiones netas de GEI (durante el período 2008-2012 en su etapa inicial y 2020 luego de la ratificación)³, hasta alcanzar emisiones equivalentes al año 1990. Esto dio origen al «mercado de carbono»⁴. Si bien esto crea la necesidad de rastrear la HC de los productos y procesos productivos de las distintas actividades económicas, los resultados no fueron los esperados.

³ La decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18) sobre cambio climático ratificó el segundo período de vigencia del Protocolo de Kyoto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

⁴ El Mercado del Carbono es un sistema de comercio a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de gases efecto invernadero.

Argentina a partir de ratificar en 1997 el Protocolo de Kyoto, comienza a publicar *Comunicaciones Nacionales (CN)*, las que se elaboran cuando el país obtiene financiamiento ante el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

A partir del año 2014 los países en desarrollo tienen la obligación de presentar cada dos años *Reportes Bienales de Actualización (BUR)*, con información actualizada sobre inventarios nacionales de GEI, necesidades de apoyo tecnológico y técnico e información sobre medidas de mitigación y su metodología de monitoreo, reparte y verificación. Los BUR reportan emisiones totales de las actividades que el país desarrolla en dos años.

Los países miembros de la CMNUCC deben presentar las *Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC)*, que son las acciones que el país debe llevar a cabo para alcanzar la mitigación (reducir emisiones) o adaptación (adaptarse al impacto producido). Estas presentaciones contribuyeron a concretar el Acuerdo de París (2016)⁵, ratificado por Argentina, que fortalece la respuesta mundial al cambio climático (mantener la temperatura mundial muy por debajo de los 2 °C sobre niveles preindustriales y limitar el aumento a 1,5 °C). Su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kyoto.

Si se busca antecedentes en la legislación argentina, debemos mirar la Constitución Nacional. El Artículo 41 establece:

Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.

En Argentina existen, además de las leyes, numerosas normativas de contenido ambiental, especialmente en materia eléctrica, y el país apoya las tendencias globales del Desarrollo Sostenible, entre los que se destacan:

- Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono: Ley 23724. Sancionada el 13/09/1989. Publicada en el Boletín Oficial del 09/10/1989.
- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático: Ley 24295. Sancionada el 7/12/1993. Publicada en el Boletín Oficial del 11/01/1994.

⁵ El acuerdo fue negociado durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) por los 195 países miembros.

- Protocolo de Kyoto: Ley 25438. Sancionada 20/06/2001 Publicada en el Boletín Oficial del 19/07/2001.
- Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo: Ley 25841 (Acuerdo suscripto en Asunción). Sancionada el 26/11/2003. Publicada en el Boletín Oficial del 15/01/2004.
- Convenio de Estocolmo: contaminantes orgánicos persistentes (COP) Ley 26011. Sancionada el 16/12/2004. Publicada en el Boletín Oficial del 17/01/2005.

Los estándares internacionales más utilizados en el cálculo de la HC son:

- *UNE-EN ISO 14064*. Gases efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de organizaciones para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre GEI.
- *GHG Protocol*. Herramienta internacional utilizada para el cálculo y comunicación del inventario de emisiones. Fue la primera iniciativa orientada a la contabilización de emisiones, propuesta por los líderes gubernamentales y empresariales para entender, cuantificar y gestionar las emisiones de GEI.
- *PAS 2050:2008*. Recomendación que describe el método para la medida de la emisión de GEI producida en toda la cadena de producción de productos y servicios. Esta especificación ha sido desarrollada por BSI Standards Solutions a requerimiento conjunto del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural (Defra) en el Reino Unido y de la organización no-gubernamental Carbón Trust.
- *PAS 2060:2010*. Especificación para la neutralidad de carbono. Es un estándar publicado por British Standards Institution que permite a las organizaciones asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de dióxido de carbono son correctas y aumentar la confianza de los clientes. Proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica, incluidas las actividades, productos, servicios, edificios, proyectos, pueblos y ciudades y eventos.
- *MC3*. Es una metodología que se viene desarrollando hace más de una década. Calcula la HE de una organización por medio de cuentas contables. (Doménech, 2007).

Los inventarios nacionales de GEI

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se crea en 1988 para proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

Es en 1996 cuando se publican las primeras directrices metodológicas para elaborar los inventarios nacionales de GEI. En el año 2006, el IPCC publica las directrices que incluyen fuentes y gases nuevos, y actualización de métodos mejorando los anteriores.

Un inventario de GEI contabiliza las emisiones y absorciones antropogénicas⁶ de la atmósfera durante un período de tiempo determinado (generalmente un año calendario) para un territorio determinado, cumpliendo con las características de transparencia, exhaustividad, exactitud, coherencia y comparabilidad establecidas por la metodología del IPCC. Se han tomado en cuenta las siguientes categorías: energía, procesos industriales, actividades agropecuarias, cambio de usos del suelo y silvicultura y residuos.

Si bien existe una dificultad considerable en el acceso a la información, es importante encontrar la forma de gestionar los datos necesarios. En el inventario los factores de emisión se calculan como promedio para alcanzar una tasa representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad de un conjunto dado de condiciones de funcionamiento.

Las emisiones que se contabilizan podrán ser absolutas, tendencias o incertidumbre. Pero es la CMNUCC la encargada de estandarizar los informes de manera que resulten comparables. A pesar de aplicarse protocolos (estándares) elaborados por GPC para realizar las estrategias climáticas sostenibles, en los factores de emisión pueden utilizarse ecuaciones, algoritmos y modelos. Los países informan los inventarios bienalmente en reportes de actualización conocidos como BUR. El último inventario publicado por Argentina es del año 2014 y se presentara en el BUR 2016-2017.

4. Consideraciones generales

4.1. La huella de carbono

La HC es el cálculo de las emisiones de GEI⁷ asociados a las organizaciones, eventos o actividades, o al ciclo de vida (desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final) de un producto, expresado en toneladas de dióxido de carbono equivalente (TCO₂ Eq.) proveniente del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón o el gas natural. El cálculo de la huella es el primer paso para poder planificar una estrategia eficaz de actuación a corto, mediano y largo plazo del cambio climático.

Las emisiones de GEI se pueden clasificar como directas o indirectas:

1. *Emisiones directas.* Son aquellas emisiones de propiedad de la organización o controlada por ellas. Por ejemplo, emisiones del combustible del transporte.

⁶ Emisiones que provienen de actividades humanas.

⁷ GEI: gases de efecto invernadero, son aquellos que se acumulan en la atmósfera e impiden que el calor irradiado por el sol regrese al espacio, aumentando la temperatura del planeta. Entre ellos se encuentran el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos de Nitrógeno (NOx), el ozono (O₃), los clorofluocarbonos (CFC).

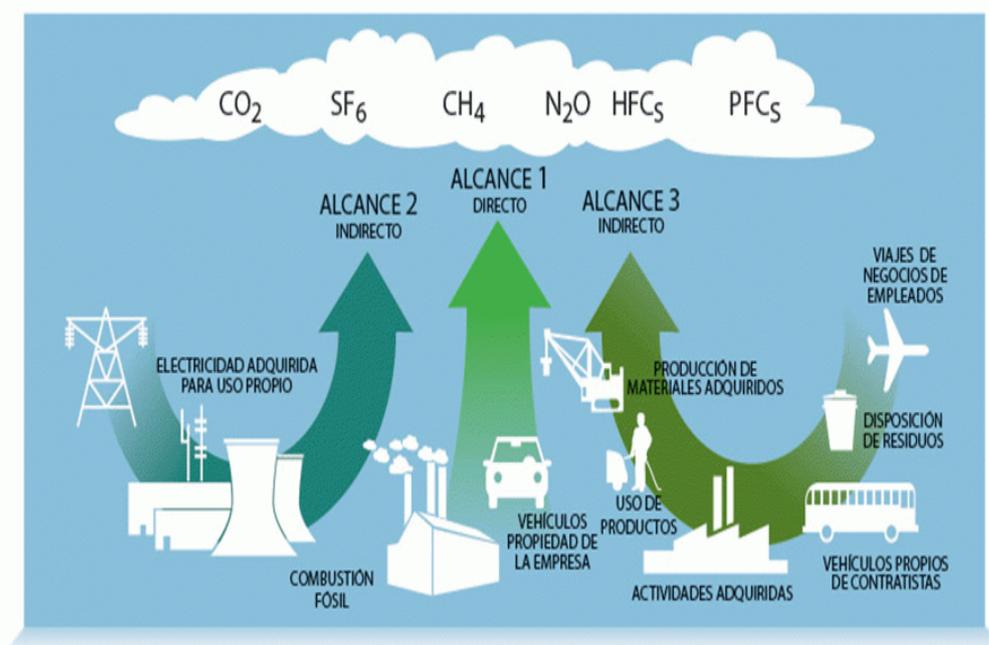
2. *Emisiones indirectas*. Son aquellas que si bien ocurren en una organización no son de propiedad de ellas, por ejemplo emisiones de la electricidad consumida en el proceso de transformación y producida en la usina generadora.

A efectos de facilitar la detección de las emisiones, se han definido tres alcances:

- a. *Alcance 1*: emisiones directas de GEI; por ejemplo, las provenientes de un automotor, una caldera, etc. Son de propiedad o controlada por la organización. Incluye las emisiones fugitivas, por ejemplo, de fugas de aire acondicionado.
- b. *Alcance 2*: emisiones indirectas asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización.
- c. *Alcance 3*: otras emisiones indirectas, por ejemplo, viajes de trabajo por medios externos a la organización, transporte de materias primas, entre otras.

Mediante el cálculo de la HC se identifican las fuentes de emisiones de GEI y se puede obtener el dato global de impacto de la actividad, la organización o agregado económico analizado, lo que permite definir mejor los objetivos y establecer medidas de reducción de factores más efectivos, ya que se estarán conociendo los puntos críticos.

Figura 1. Fuentes de emisiones de GEI



Fuente: GHG Protocol, WRI (2009).

4.II. Principios para el cálculo de la huella de carbono

Los principios para el cálculo de la HC están basados en los principios de la contabilidad financiera (incluido en los Protocolos):

- *Relevancia*: la HC debe reflejar de manera apropiada las emisiones de una empresa o agregado económico y debe ser un elemento objetivo en la toma de decisiones.
- *Integridad*: el cálculo de la HC deberá contemplar todas las emisiones dentro de los límites establecidos.
- *Consistencia*: el informe que se elabore debe servir para comparar datos a lo largo del tiempo.
- *Transparencia*: el informe que se elabore debe publicarse y que sea susceptible de ser auditada.
- *Precisión*: los datos que se utilicen para el cálculo de la HC deben ser ciertos y las emisiones normalizadas deben ser lo más razonables y documentadas posibles.

4.III. Enfoques metodológicos del cálculo de la huella de carbono

Existen dos enfoques metodológicos básicos para calcular la HC, uno centrado en las empresas (enfoque microeconómico) y otro basado en el producto y su ciclo de vida (enfoque mesoeconómico). Se puede decir que el cálculo de la HC consiste en recolectar datos referentes a consumos de factores productivos directos e indirectos emisores de CO₂ equivalentes (materiales y energía) para obtener un «inventario de emisiones» lo más completo posible. Los puntos más destacados en el cálculo de la HC se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Cálculo de HC

Cálculo de la HC	Enfoque microeconómico	Enfoque mesoeconómico
Ámbito de aplicación	Inventario de GEI de la empresa <i>Voluntario</i>	Inventario del producto (ciclo de vida, cadena de valor) <i>Voluntario</i>
Metodología más utilizada	GHG Protocol (WBCSD) Cálculo Inventario con Indorme voluntarios Norma ISO 14064:2006 (parte 1 y 3) Estándar de verificación: inventario e informe con requisitos para solucionar problemas	GHG Protocol (WBCSD) PAS 2050 ISO 14068 MC3 enfoque mixto de simplificación
Información base	Emisiones de materiales y energías consumidas por la empresa traducidas a CO ₂ equivalente	Consumos de energía y materias de cada etapa del ciclo de vida traducidas CO ₂ equivalente
Grado de subjetividad	Menor	Mayor porque existe mayor participación de actores económicos

Fuente: elaboración propia.

4.IV. Pasos para el cálculo de la huella de carbono

Para determinar la HC desde un enfoque micro o mesoeconómico deben llevarse a cabo pasos comunes pero con distintas características:

a. Enfoque microeconómico

1. *Establecer los límites del inventario, la organización y los operativos.* Lo que implica definir el alcance de la empresa cuyas emisiones van a ser contabilizadas. El límite operativo significa qué alcances (1, 2 o 3) serán incluidos en el inventario.
2. *Establecer el límite temporal.* Normalmente, se toma un año calendario. Para calcular la predeterminación de emisiones se toma el año inmediato anterior. Por otro lado, tomar un año genera información coherente con otros indicadores económico-financieros medioambientales o de responsabilidad social, sumada a que a períodos más cortos, mayor será el costo administrativo. También debe *definirse el año base* para la medición, podría elegirse como base el primer año en que se realice el cálculo, si durante este período existen fluctuaciones atípicas podría tomarse la media de los períodos consecutivos (algunas organizaciones toman 1990 —Kyoto— como año base), o bien la referencia de los Inventarios Nacionales.
3. *Identificación de las actividades.* Sobre la base del límite operativo y período de análisis, se deben conocer las actividades desarrolladas por la organización que generan emisiones.
4. *Buscar los factores emisores de GEI.* Los factores de emisión se basan a menudo en una muestra de datos sobre mediciones, calculados como promedio para determinar una tasa representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto dado de condiciones de funcionamiento (Directrices del IPCC).
5. Decidir la metodología de cálculo a ser utilizada (tabla 1).
6. Realizar los cálculos: $HC = \text{Dato de Actividad} \times \text{Factor de Emisión}$.

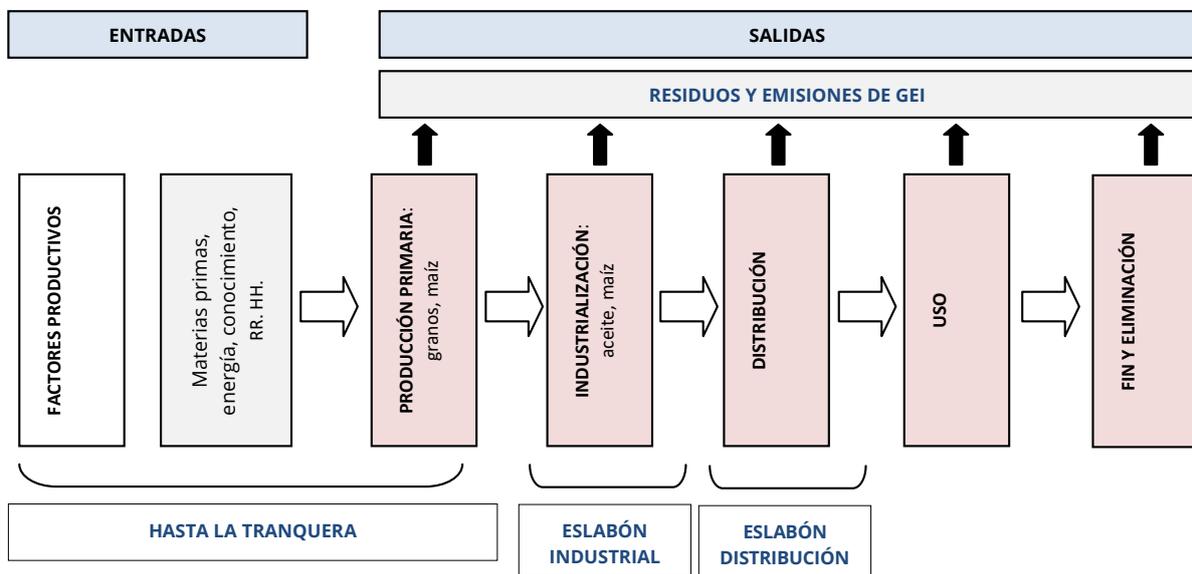
b. Enfoque mesoeconómico

1. Identificar la cadena de valor, Ciclo de Vida⁸ (C. V.), producto y unidad funcional:
El ciclo de vida incluye las emisiones derivadas de la obtención, transformación distribución de las materias primas, las actividades necesarias para transformar los factores productivos en producto terminado o prestación de servicio, reciclaje o eliminación, transporte del producto, uso del consumidor del mismo.
Por lo tanto, es necesario determinar el producto a estudiar, las empresas que forman parte de la cadena en su C. V. y a su vez identificar la unidad funcional (unidad común, por ejemplo: tonelada de producto).

⁸ Los análisis de ciclos de vida, se originan en la década del 60 en Estados Unidos y Europa (para Coca Cola), y luego fueron desarrolladas por la organización ISO (International Standardization Organization): Normas ISO 14040, 14042, 14043.

La cadena es una verdadera red de creación de valor, ya que participan muchas empresas relacionadas entre sí. Es importante definir la cadena con las «empresas claves» que sean las más representativas en cada fase del C. V. Cada empresa debe estar dispuesta a proporcionar información necesaria para la estimación de la HC (consumos físicos de factores productivos que generan emisiones). Este límite que representa la identificación de la cadena de valor, es decir, donde comienza y termina, implica definir si el cálculo de la HC se realizará sobre el eslabón primario únicamente (de la cuna a la tranquera), solo el eslabón de la industrialización, o el de distribución, o el análisis de la cadena integral (de la cuna a la tumba). La figura 2 ejemplifica la cadena de maíz.

Figura 2. Ejemplo de la cadena del maíz



Fuente: elaboración propia.

2. Elaboración de mapas de procesos

El paso siguiente es el análisis de los procesos de las empresas que conforman la cadena y generan las emisiones de GEI al realizar la transformación de factores para obtener el resultado: producto o servicio. Esto implica identificar las actividades y las relaciones entre ellas. Mostrar de manera simple y clara los inputs y outputs participantes en la generación de emisiones.

3. Recolección de datos

Realizado el mapeo, se busca la información que permita estimar las emisiones generadas en los distintos procesos y actividades identificadas en el C. V. Se deberá recabar la cantidad exacta o en su defecto la estimación de la cantidad de materiales y energías implicados en cada proceso que el producto o servicio recorre en su

proceso de transformación. A cada dato se le asigna el factor de emisión, que los transforma en emisiones de GEI.

En aquellos casos que no se cuente con información primaria, se utilizarán datos secundarios de fuentes externas relativas a actividades, procesos, productos o servicios similares al estudiado, entre ellas: artículos publicados, investigaciones acreditadas, bases de datos contrastadas.

4. Realizar el cálculo

Aplicando la metodología PAS 2050 (la más utilizada para este enfoque), se multiplican los datos de actividades por el factor de emisión (CO₂ equivalente por dato de actividad unitario).

Analicemos un ejemplo simple:

- Límites: Clúster transporte urbano de pasajeros ciudad X de la Provincia XY.
- Período: Anual (2017). Año base: 2016.
- Actividades y datos: Transporte de pasajeros en 6 líneas recorrido diurno nocturno que implica 5.361.120 kilómetros anuales^(*).
- Alcance 1: emisiones directas del transporte. Alcance 2: energía eléctrica consumida en oficinas administrativas.
- Factores emisores de GEI: Gasoil consumido por los vehículos.
- Metodología de cálculo a ser utilizada^(**): PAS 2050 sobre consumos normalizados.

Tabla 2. Huella de carbono, transporte urbano de pasajeros al 31/12/2017

Cluster: xy		Transporte urbano pasajeros Huella de carbono al 31/12/2017		
CÁLCULO HUELLA DE CARBONO				
Kilómetros	5361120	Litros comb./km	0,35	1876392
		Equi. M3	0,001	
ALCANCE FUENTE DE EMISIONES DE GEI				
ALCANCE 1 (emisiones directas)	Consumo de combustible	m3/l	Factor de emisión*	Kg.CO2
	Consumo gasoil de vehículos	1.876.392,00	3,77	7.075.874,23
	Consumo bioetanol			
	Consumo gas natural			
	Total emisiones directas			7.075.874,23
ALCANCE 2 (emisiones indirectas)	Consumo de energía eléctrica	Mwh	Factor de emisión*	Kg.CO2
	Energía eléctrica	18.000,00	0,5150	9.270,00
	Total emisiones indirectas			9.270,00
Factor de emisión * Fuente: Tercera Comunicación Argentina (p. 237 y 241)				
HC (3) = Datos de actividad (1) Factor de emisión (2)				

Fuente: elaboración propia.

(*) Los datos a ser utilizado en el cálculo surgen de la aplicación de la TGC., ya sea componentes físicos reales o predeterminados.

(**) Aplicando los lineamientos del Protocolo Global para la Medición Comunitaria de Emisiones de GEI (GPC)⁹, las metodologías de las Directrices del Grupo de Expertos sobre cambio Climático (IPCC)-2006- para los inventarios nacionales de GEI, la disponibilidad de datos, la coherencia con el último inventario nacional de GEI de Argentina (años 2012-2014) Informe 2017¹⁰; y proyección de emisiones 2013-2030, elaborado en el marco de la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático¹¹.

5. La huella de carbono y la teoría general del costo

La TGC tiene como cometido construir esquemas de análisis que permitan vincular razonablemente los factores productivos empleados con los resultados obtenidos, a través de la definición de las relaciones funcionales existentes entre las distintas acciones que componen el proceso productivo. (Cartier, Osorio, 1992).

De acuerdo con lo expresado en el punto 4.IV, el enfoque mesoeconómico del cálculo de la HC posee el mismo enfoque que la TGC, analizando el proceso productivo para determinar el efecto generado en el medioambiente. Así, entonces, cuando se identifican los factores productivos necesarios para alcanzar el objetivo y se determina la cantidad física que debería ser insumida (o las que fueron insumidas) en las acciones transformadoras de valor, podrían identificarse los factores que emiten GEI, y con la ayuda de las metodologías adecuadas al producto o sector bajo análisis, calcularlas e informarlas.

Ahora bien, si lo que se está calculando es el costo medio normalizado del agregado económico, en el momento de predeterminar las cantidades físicas, también se estará estimando la cantidad de GEI que se emitirán, y al cabo del C. V. se estaría proyectando la emisión total de la cadena productiva.

Entonces, si esta emisión proyectada se aproxima a los objetivos que Argentina se compromete a reducir (informe de abril de 2017¹²), estaríamos determinando un parámetro meta de reducción, no solo de factores productivos, sino del cambio climático, al que podemos denominar «componente físico normalizado socialmente responsable» (Cfnsr). Esto implica incorporar en el esquema de la TGC a la ecoeficiencia¹³, como una «*necesidad medioambiental*».

La World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) define que la ecoeficiencia se alcanza del siguiente modo:

⁹ Greenhouse Gas Protocol GHG

¹⁰ <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

¹¹ <http://unfccc.int/resource/docs/natc/argnc3s.pdf>

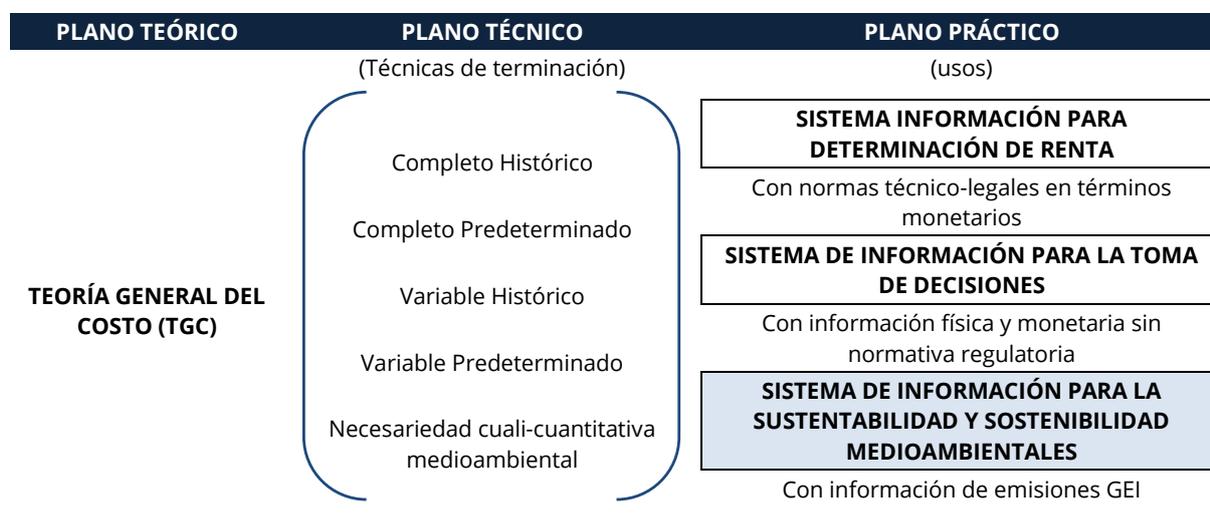
¹² <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-presenta-el-informe-del-estado-del-ambiente>

¹³ En el mundo empresarial la ecoeficiencia significa producir más con menos.

[mediante la distribución de] bienes con precios competitivos y servicios que satisfagan las necesidades humanas y brinden calidad de vida a la vez que reduzcan progresivamente los impactos medioambientales de bienes y la intensidad de recursos consumidos durante el ciclo de vida completo, llevando todo esto a un nivel al menos en línea con la capacidad de carga de la Tierra (Michael Braungart y William McDonough, 2002).

Este enfoque de ecoeficiencia, que agrega al componente físico el efecto de las emisiones de GEI, genera un análisis de desvíos con las emisiones de la transformación realmente producida, lo que implica un aporte al sistema de información para la sustentabilidad y sostenibilidad medioambiental que se propone agregar a los usos de la TCG.

Figura 3. Sustentabilidad desde la teoría general del costo



Fuente: elaboración propia.

6. Caso ejemplificador TCG con enfoque sostenible y sustentable

Para aplicar el enfoque mesoeconómico del cálculo de HC, se utilizará el análisis desarrollado por Gustavo Montero¹⁴ en la agroindustria: cadena de maíz.

Partiendo del mapeo del C. V. del maíz (figura 4), para el ejemplo se analizará la etapa de «producción». Definimos como límite operativo del sistema entonces al eslabón industrial, trabajando únicamente el proceso de producción y transformación del aceite de maíz. No se consideran, por lo tanto, el eslabón correspondiente a la producción primaria del maíz ni el proceso de distribución del producto terminado, consumo y reciclaje.

¹⁴ Gustavo Montero (2014). «Cadena de Maíz». En Ernesto Viglizzo (ed.). *La Huella de Carbono en la agroindustria* (capítulo 7). Anguill: INTA EEA Anguill Ing. Covas.

El transporte del maíz, necesario para su disponibilidad en el proceso de transformación bajo estudio, genera por cada tonelada de maíz transportado 134,75 MJ y 9,75 kg eq-CO₂. Si se lleva este valor a los 28,60 litros de aceite refinado que se obtiene cada 1 tonelada de maíz, el valor por litro de aceite consume 4,71MJ y 0,341 kg eq-CO₂.

Para el cálculo de las emisiones propias del proceso de obtención del aceite refinado de maíz, la energía estimada consumida y los valores energéticos componentes de las materias primas ingresadas al proceso son determinantes. Para los cálculos que se mencionan a continuación, la matriz energética para la empresa modelo considerada se conforma en un 40 % gas natural, 40 % electricidad y 20 % gasoil.

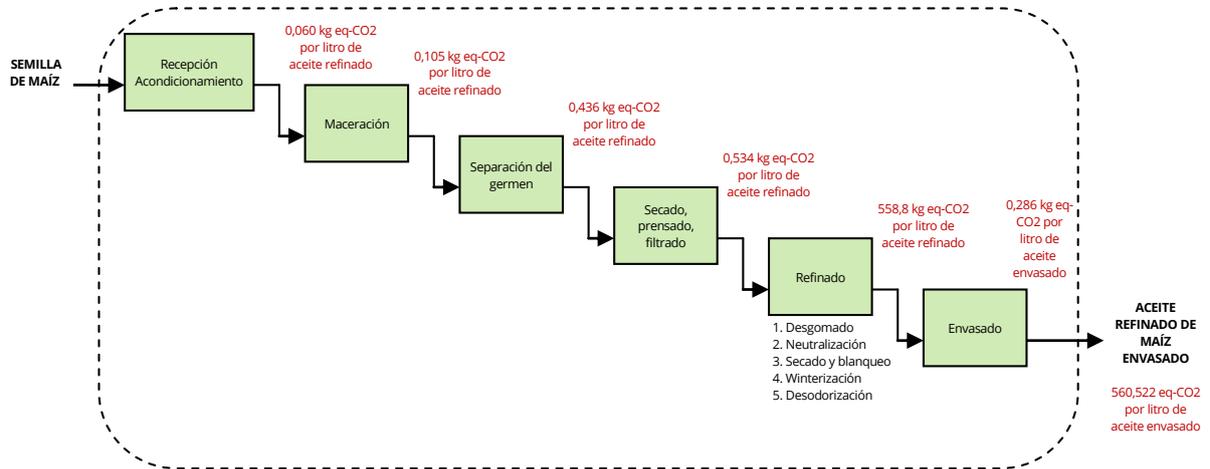
Podemos descomponer el proceso de obtención del aceite refinado de maíz en las siguientes acciones:

- *Recepción y Acondicionamiento.* Esta acción, tomando en cuenta un proceso estándar, consume 17,64 MJ por tonelada de semilla, equivalente a 0,617 kg eq-CO₂ por litro de aceite. La matriz energética seleccionada genera una emisión de 0,098 kg eq-CO₂/MJ, por lo que el valor de emisión por litro de aceite refinado sería de 0,060 kg eq-CO₂.
- *Maceración.* Permite la separación de la fécula y la proteína soluble a partir de la semilla de maíz ya acondicionada obtenida del proceso anterior. Los valores energéticos resultan de 30,67 MJ/tonelada de maíz procesado, por lo que implica un consumo energético de 1,072 MJ/litro de aceite refinado. Las emisiones generadas por litro de aceite refinado obtenido son de 0,105 kg eq-CO₂.
- *Separación del germen.* Se muele groseramente el grano ablandado en un molino de fricción, liberándose el germen sin fragmentarlo. El germen es separado del resto del grano con un separador de ciclón para líquidos o hidroclón.
- *Secado, prensado y filtrado.* El germen obtenido se lava y se deseca. Mediante el prensado se destina a la obtención del aceite. Este proceso se realiza mediante el uso de hexano como solvente. Como consecuencia hay gastos energéticos resultantes de la recuperación de solventes, mediante la destilación de micelas, y la recuperación de residuos generados. Las dos etapas precedentes tienen un gasto energético de 127,22 MJ/tonelada de maíz procesado y de 156,04 MJ/tonelada de maíz procesado para la separación del germen y para la extracción respectivamente. Las emisiones calculadas para estos dos procesos son de 12,47 kg eq-CO₂ y 15,29 kg eq-CO₂ por tonelada de maíz procesado respectivamente, lo que equivale a 0,44 kg eq-CO₂ y 0,53 kg eq-CO₂ por litro de aceite refinado.
- *Refinado.* Los valores energéticos de todo este proceso son de 5702 MJ cada 1000 litros de aceite refinado y una emisión de 558,80 kg eq-CO₂/litro de aceite refinado. Está compuesto por las siguientes etapas al final de las cuales se obtiene el aceite de maíz refinado listo para ser envasado:
 - 1.ª etapa. Desgomado.
 - 2.ª etapa. Neutralización.

- 3.^a etapa. Secado y blanqueo.
- 4.^a etapa. Winterización.
- 5.^a etapa. Desodorización.
- *Envasado*. Para el envasado en botellas PET de 1 litro se produce un gasto energético de 2,92 MJ/litro de aceite envasado, lo que equivale a una emisión por litro de aceite envasado de 0,286 kg eq-CO₂.

Sobre la base de la descripción realizada del proceso productivo, el mapeo es el expuesto a continuación. En el mismo se ha determinado la emisión de GEI de cada una de las acciones que componen el proceso productivo, y la emisión acumulada total producto de la obtención de un litro de aceite de maíz refinado envasado:

Figura 5. Mapeo



Fuente: elaboración propia.

La sumatoria de las emisiones de GEI de cada acción que componen el proceso de transformación asciende a 560,22 kg eq-CO₂.

Si a este total le agregamos la emisión que se requiere para que la semilla de maíz ingrese al proceso de industrialización resulta:

Producción primaria:	4,20 kg eq-CO₂
Transporte de maíz:	0,34 kg eq-CO₂
Industrialización aceite de maíz:	560,22 kg eq-CO₂
TOTAL ACEITE REFINADO:	564,76 kg eq-CO₂

7. Información de costos para la sustentabilidad y sostenibilidad

El informe referido al costo medio generado por las actividades que se desarrollen en el agregado económico en un período determinado expresará la mitigación (o adaptación) de emisión de GEI. Esto significa calcular los desvíos (entre el costo medio normalizado socialmente responsable y el realmente alcanzado) de las emisiones de GEI, y posteriormente la etapa de análisis que permitirá identificar los puntos críticos (emisiones altas o inestables) para implementar estrategias y oportunidades de reducción de GEI de la cadena bajo estudio.

Este informe de HC debe presentar información relevante, completa, consistente, precisa. Los cálculos deben ser transparentes de modo que sea posible la trazabilidad, y se pueda verificar el cálculo realizado.

La información deberá ser sometida a un análisis de sensibilidad de los valores para ver el impacto que los mismos tendrían en el resultado final (por ejemplo, reemplazo del medio de transporte, o fuente de energía o insumo utilizado, entre otros). Cuando la incertidumbre es alta y la sensibilidad también lo es, deberá ser estudiado con mayor detalle este proceso y será necesario buscar las alternativas posibles (no debemos olvidar que se estará determinando el costo medio normalizado, o sea, «el alcanzable, sustentable y sostenible»).

Se deben registrar todos los supuestos del cálculo, los datos reales y la información secundaria utilizada. Debe tenerse presente que algunas emisiones pueden ser negativas, por ejemplo, el secuestro de carbono por parte de los cultivos o la generación de electricidad u otro combustible a partir de productos de la biomasa.

En definitiva, la información deberá mostrar los objetivos de reducción de HC, el desvío del período y las medidas previstas para alcanzar las metas propuestas para el próximo año y/o eliminar los desvíos negativos si los hubiese.

Esto implicará reducir los costos operativos asociados a los consumos de energía y transporte; pero, más allá de esto, para alcanzar los objetivos de Kyoto, deben conducirse los esfuerzos a la implantación de energías renovables, la creación de políticas de movilidad de trabajadores y mercaderías, el desarrollo de tecnologías más eficientes, la reducción de consumos de recursos, la minimización de los residuos, entre otros.

8. Conclusiones

Una de las principales preocupaciones de la humanidad es la continuidad de las civilizaciones. La industria enfrenta un gran reto: producir con alta calidad satisfaciendo las necesidades cada vez más exigente de los consumidores y de los actores interesados en la protección del medioambiente.

Las empresas que no elaboren e implanten un plan de adaptación frente al cambio climático están avocadas al fracaso. Se enfrentan en primer lugar al conocimiento de las emisiones de GEI generadas por el consumo de factores en las actividades que desarrollen. Calculada su HE deberá planificar estratégicamente para disminuir las emisiones que afectan el medioambiente. Esto implica una reducción de sus costos operativos.

En algunos países del mundo, las empresas han incrementado el uso del cálculo de la HC no solo como factor competitivo, sino como actores del cambio climático. Si bien ha disminuido la incertidumbre empresaria sobre la utilidad de la HC, todavía hay dudas respecto del cálculo de la misma, séalo cual significa que poseen conciencia del efecto que las estrategias sobre la HC generan en el cambio climático, pero necesitan inversión en capacitación para afrontar el reto.

El cálculo de la HC da como resultado un dato que puede ser utilizado como indicador ambiental global de la actividad y punto de referencia básico para reducir el uso de los factores en búsqueda de ecoeficiencia.

Conocer el efecto que las emisiones de GEI generan en los procesos de las empresas que conforman los agregados económicos implica conocer la responsabilidad de los impactos ambientales que provocan, en la búsqueda de la sustentabilidad y la sostenibilidad del sistema.

Entonces la calidad de información y los datos utilizados son factores de incertidumbre, de allí la importancia de ser realista y tener claro cuándo el cálculo de la HC será útil y cuando no lo será, sobre todo cuando el eslabón analizado tiene gran importancia en la conformación del valor agregado.

Resulta necesario y urgente acelerar los esfuerzos orientados a reducir las emisiones de GEI. Los gobiernos, instituciones financieras, organizaciones del sector privado de todo el mundo están planificando e implementando políticas y acciones para ello.

Los informes de costos con el cálculo de la HC de los agregados económicos desde nuestra disciplina constituyen otro aporte, por lo que deberían ser comunicados a la prensa, a las empresas que conforman la cadena productiva o el clúster, a instituciones proveedoras de los factores emisores, a grupos de interés, entre otros, dando transparencia al proceso.

Cada día resulta más necesario aunar esfuerzos para conseguir una reducción efectiva de las emisiones de GEI que nos aproxime al cumplimiento de los objetivos de Kyoto. Como habitantes de la Tierra, compartimos la responsabilidad de cuidarla y protegerla.

Tú debes ser el cambio que deseas ver en el mundo.

Mahatma Gandhi

Bibliografía

- Braungart, M. y McDonough, W. (2002). *Cradle to cradle*. Auburn: Farrar, Straus and Giroux.
- Cartier E. y Osorio, M. (1992). *La Teoría General del Costo: Un marco necesario*. Contabilidad, Finanzas y Auditoría en el proceso de integración Iberoamericana. La Habana.
- Doménech, J. L. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Madrid: AENOR Ediciones.
- Frank, F., Montero, G., Ricard, F. y Sirotiuk., V. (autores), Viglizzo, E. (ed.) (2014). *La huella de Carbono en la agroindustria*. Ediciones INTA, Anguil, La Pampa.
- Reyes Bernardo, « Mathis Wackernagel y William Rees, (2001). *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*. Santiago, IEP/Lom Ediciones. *Polis* 4, 2003, publicado el 20 octubre 2012, consultado el 27 abril 2017. Disponible en <http://polis.revues.org/7216>

Informes y guías

- Greenhouse Gas Protol: Estándar de política y acción. Resumen Ejecutivo. Worl Resources Institute EE. UU. ISBN 978-56973-857-3.
- Enfoques Metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono. Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del Gobierno de España.

Páginas web consultadas

- <http://www.ghgprotocol.org/>
- <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311>(cálculo del Factor de Emisión de CO₂, de la Red Argentina de Energía Eléctrica).
- <http://unfccc.int/resource/docs/natc/argnc3s.pdf>
- <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>
- <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-presenta-el-informe-del-estado-del-ambiente>

Anexo: Cuadro comparativo (elaboración propia)

Paso	Para que?	Enfoque Microeconómico		Enfoque Meso-económico	
		De quien?	Con que objetivo?	de quien?	Con que objetivo?
1 Determinación de límites	Organizacional	de la organización o empresa	Accionario y sin control	del producto o ciclo de vida	potenciales CV y entender consecuencias ambientales globales
			Control operativo y/o financiero		Que incluye?
	Operativo	determinar el tipo de emisiones	Emisiones Directas Alcance 1 e Indirectas 2 y 3	Emisiones Directas Alcance 1 e Indirectas 2 y 3	
2 Recopilar los datos	Temporal	Medir cumplimiento de objetivo de reducción de GEI y la evolución de las medidas propuestas para lograrlo			Periodo habitual. Año calendario.
		conocer los consumos de factores	Actividades de la empresa que consumen factores emisores de GEI	Identificar el producto, su cadena de valor (Ciclo de Vida), unidad funcional y empresas de la cadena	
3 Buscar los factores emisores de GEI		Medir y evaluar las emisiones de GEI	Promedios que determinan una tasa representativa de las emisiones de un nivel de actividad determinado sobre determinadas condiciones-Directrices del IPCC, versión revisada en 1996	Promedios que determinan una tasa representativa de las emisiones de un nivel de actividad determinado sobre determinadas condiciones-Directrices del IPCC, versión revisada en 1996	
4 Decidir la metodología de cálculo a ser utilizada		Para realizar el cálculo	GHO Protocol, Norma ISO 14064:2006 (Parte 1 y 3)	GHO Protocol, Norma ISO 14068, PAS 2050, MC3	
5 Realizar los calculos		Conocer el efecto sobre medio ambiente	HC = Dato de Actividad x Factor de Emisión	HC = Dato de Actividad x Factor de Emisión	