

# AbaniCO<sub>2</sub>: Un Método Simple y Efectivo para la Toma de Decisiones sobre la Adopción de la Huella del Carbono en la Gestión Sustentable de Emisiones en las Empresas

César Espíndola<sup>(1,2)</sup> y José O. Valderrama<sup>(3,4)</sup>

(1) Univ. de La Serena, Fac. de Ingeniería, Dpto. de Ing. Industrial, Casilla 554, La Serena-Chile

(2) Escuela de Gestión Europea EGEU & Univ. de Ciencias de la Empresa y de las Tecnologías ULSETB, Chile-Bélgica

(3) Univ. de La Serena, Fac. de Ingeniería, Dpto. de Ing. Mecánica., Casilla 554, La Serena-Chile

(4) Centro de Información Tecnológica (CIT), Monseñor Subercaseaux 667, La Serena-Chile

*Recibido Oct. 2, 2015; Aceptado Nov. 23, 2015; Versión final Ene. 30, 2016, Publicado Jun. 2016*

---

## Resumen

Se propone un método simple denominado AbaniCO<sub>2</sub> que sistematiza los enfoques utilizados internacionalmente para la estimación de la Huella de Carbono (HdC), indicador que no tiene una definición universalmente aceptada. El método organiza los enfoques existentes en tres grandes perspectivas simplificando la comprensión del marco conceptual de la HdC y el análisis de las complejidades metodológicas a considerar en un proceso de adopción. Primero se aclaran algunos conceptos que muestran los innumerables factores que inciden en la confusión actual y el poco interés por adoptar la HdC en la gestión sustentable de emisiones de una empresa o de un producto, en especial en los países latinoamericanos y en las pequeñas y medianas empresas. AbaniCO<sub>2</sub> es resultado de la sistematización de trabajos previos de los autores en una representación simplificada, en forma de abanico, de las diversas vertientes metodológicas disponibles para determinar la HdC. Está formada por seis pasos claramente definidos, partiendo con la definición del objetivo del cálculo y terminando con el algoritmo de cálculo para la obtención de la magnitud de la HdC. Se concluye que AbaniCO<sub>2</sub> simplifica las complejidades metodológicas y reduce barreras existentes para la comprensión y la toma de decisiones gerenciales de adopción de la HdC para la gestión sustentable de empresas, organizaciones y productos.

*Palabras clave: huella del carbono; gestión del carbono; gestión sustentable de emisiones; sustentabilidad*

## AbaniCO<sub>2</sub>: A Simple and Effective Method for the Decision Making about Adopting the Carbon Footprint Concept in the Sustainable Management Emission in Enterprises

### Abstract

This work proposes a simple method named AbaniCO<sub>2</sub> to unify the concept internationally used for estimating carbon footprint (CFP) a concept that does not have a universal accepted definition. The method organizes the different existing views in three major perspectives simplifying the understanding of the conceptual framework of the CFP and the analysis of the methodological complexities to consider in the process of adoption. First, the paper clarifies certain concepts that show the many factors that provoke the present situation of confusion and the lack of interest for adopting the CFP in the sustainable management of emissions of a company or a product, mainly in the Latin-American countries and in medium and small size enterprises. AbaniCO<sub>2</sub> is the result of the systematization of previous works by the authors is in a simplified representation, in the form of a hand fan, of the different methodological streams that are nowadays available to quantify the CFP. The methodology consists of six clearly defined steps, starting with the definition of the objective behind the decision of adopting the CFP and ending with the algorithm of calculation to obtain a value for the CFP. It is concluded that AbaniCO<sub>2</sub> simplifies the methodological complexities and reduces the existing barriers for the comprehension and managerial decision making about CFP adoption for the sustainable management in enterprises, organizations, and products.

*Keyword: carbon footprint; carbon management; sustainable management emission; sustainability;*

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno que está teniendo lugar en la actualidad y representa una de las amenazas ambientales, sociales y económicas más importantes que afectan al planeta. Prácticamente en todos los países del mundo se han emprendido iniciativas para hacer frente al cambio climático, siendo la Huella de Carbono (HdC) aquella que concentra la mayor atención desde el punto de vista de las empresas, fundamentalmente porque su utilización se ha traducido en un importante factor de competitividad y acceso a los mercados (Hertwich y Peters, 2009; Schneider y Samaniego, 2009).

Existe consenso en el orden global respecto a que se deben estabilizar las condiciones climáticas para evitar que el aumento de temperatura no supere los 2° C para el año 2050. Esto implica reducir el flujo anual de emisiones de gases de 45.4 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO<sub>2</sub>) a 20 GtCO<sub>2</sub> (Hepburn y Stern, 2008). Considerando una población mundial actual de siete millones de habitantes y una estimación de alrededor de nueve mil millones para el año 2050, se hace necesario reducir las emisiones de un poco menos de siete toneladas per cápita a dos toneladas per cápita para 2050 (PNUMA, 2013; Vergara, et al., 2013). Al mismo tiempo, se espera un importante crecimiento económico asociado a un incremento del consumo de energía. Los costos económicos de esta transformación productiva para disminuir las emisiones a la meta de a dos ton. per cápita en 2050 oscilan entre un 0,15% y un 1,0% del producto interno bruto (PIB) actual de América Latina y el Caribe, situación que depende de la meta propuesta (Vergara, et al., 2013). Estas proyecciones de costos, han significado un importante estímulo en el sector privado para adscribir políticas ambientales corporativas. En los países desarrollados las empresas están desarrollando un papel cada vez más relevante en la realización de acciones para atender los desafíos del cambio, expresadas principalmente en la indexación de los factores sociales y ambientales en sus estrategias y modelos de negocios, especialmente para demostrar su compromiso con el desarrollo sustentable.

Por otra parte, América Latina ya está sufriendo los efectos directos del calentamiento global, aun cuando, por su patrón productivo, la participación de la región en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero ha sido pequeña, (Samaniego, et al., 2014; Fhohmann y Olmos, 2013). Un efecto indirecto le ha llegado vía el comercio internacional y la preocupación de los consumidores de los países desarrollados, cuya sensibilidad es significativa por las emisiones generadas en la producción de los bienes que consumen, especialmente tratándose de los alimentos, los que ya están siendo rotulados indicando la cuantitativamente la HdC de los productos. Para los estados latinoamericanos, emprender y apoyar iniciativas de medición de la HdC en los sectores productivos es un bien público. Por un lado, éstas contribuyen directamente a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) impulsando la implementación de políticas públicas de desarrollo sustentable. Por otro lado, estas iniciativas sirven como incentivo para comprometer a los empresarios con dichas políticas (Fhohmann y Olmos, 2013).

La cuantificación de las emisiones GEI es la cara visible de la sostenibilidad para muchos, pese a que en la práctica, se ha observado un lento ejercicio de involucramiento con el Cambio Climático (Burritt y Tingey-Holyoak, 2012). Desde la perspectiva del desarrollo productivo, estas iniciativas se proyectan como una oportunidad de incrementar la eficiencia energética y la competitividad de las empresas y, a su vez, diferenciar los productos de exportación en los mercados de destino y reducir el riesgo de barreras proteccionistas (CEPAL 2013). Sin embargo, la tasa de adopción de este tipo de iniciativas aún es muy baja estando representada fundamentalmente por empresas de mayor tamaño y con capacidades de participar del comercio internacional. No obstante, tanto los impactos del cambio climático como las acciones para la instalación de un desarrollo sustentable son tareas que requieren de acciones de orden global y de penetración en todo el tejido productivo. Así también se revela la existencia de una brecha entre los conocimientos de la academia y los profesionales frente a la contabilidad de carbono, en donde muchas de las herramientas para las estimaciones de sostenibilidad desarrolladas por los investigadores, son ignoradas no encontrando un espacio en las prácticas de gestión empresarial.

En el ámbito específico de la HdC se observa en latinoamérica, y en general para países en vías de desarrollo, un déficit en cantidad y calidad de información y antecedentes de base para definir una posición frente a la mitigación. Esto impide o limita la participación de estos países en foros internacionales que están discutiendo el tema (Tapia et al., 2013). En este sentido, parece relevante abordar desde Latinoamérica procesos de investigación destinados a resolver interrogantes frente a la comparación de enfoques metodológicos de cálculo de la HdC, analizando y simplificando la información, con el objeto de reducir la complejidad de la misma para los tomadores de decisión en el ámbito de la gestión empresarial. (Crossan, 1999; Tornatzky, 1982), Los estudios deben estar enfocados a facilitar los conceptos de adopción y explotación, en un marco de aprendizaje individual y organizacional que conduzcan la movilización a gran escala del tejido empresarial hacia la adopción global de la gestión del carbono.

Este documento por lo tanto constituye un tercer aporte en la serie de publicaciones de los autores referente a HdC. En un primer trabajo se ha aportado a la comprensión y caracterización en profundidad de la HdC y en un segundo trabajo en el que se analizan las complejidades metodológicas y los estándares utilizados para su medición (Espíndola y Valderrama, 2012a 2012b). En esta línea de continuidad se propone en este trabajo un método simple y concreto que busca aportar a la comprensión por parte de gerentes y profesionales de los diversos enfoques y marcos metodológicos para la estimación de la HdC aportando a la toma de decisiones para la adopción de la gestión de la HdC en las empresas. El método propuesto por los autores se denomina AbaniCO<sub>2</sub>: Abanico, por la forma gráfica en la que se resume el método y CO<sub>2</sub> por lo que el dióxido de carbono representa en el concepto de HdC.

## ANTECEDENTES

Antes de presentar el método AbaniCO<sub>2</sub> es conveniente aclarar algunos conceptos que muestran los innumerables factores que inciden en la confusión actual y el poco interés por adoptar este concepto de la HdC. Se resumen conceptos generales sobre los efectos del cambio climático y sus efectos, las complejidades desde la perspectiva de la empresa, el retraso en los países en desarrollo, la visión de la HdC desde la academia, desde la geopolítica y desde el sector privado. Se analizan también los métodos asociados a la HdC de producto, la HdC corporativa y la HdC corporativa-producto, incluyendo las perspectivas (insights) detrás de los principales enfoques de determinación de la HdC. Algunos de estos han sido previamente discutidos por los autores (Espíndola y Valderrama, 2012a 2012b), pero es necesario resumirlos aquí y ponerlos en el contexto de este trabajo.

### Cambio climático y sus efectos

El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa mundial en la que diversas actividades económicas emiten a la atmósfera, sin costo económico alguno, gases de efecto invernadero que ocasionan el cambio climático (Stern, 2007). Según antecedentes de CEPAL, en el año 2011 las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcanzaron las 46 giga toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub> eq), con una tasa media de crecimiento anual del 1.5% en el período 1990-2011. En este contexto, las emisiones de América Latina y el Caribe representan el 9% de las emisiones mundiales (4 GtCO<sub>2</sub> eq), con una tasa de crecimiento media anual del 0,6% en el mismo período, donde las emisiones por regiones y países son muy heterogéneas. América Latina y el Caribe por lo tanto tiene una condición asimétrica: su contribución al total de emisiones de gases de efecto invernadero es menor, pero, al mismo tiempo, es una región muy vulnerable a los efectos del cambio climático (Samaniego, et al., 2014).

Los principales impactos del cambio climático se observarían en las actividades agropecuarias, los recursos hídricos, la biodiversidad, los bosques y las actividades turísticas. En la literatura se cuenta con diversas estimaciones preliminares para los costos económicos del cambio climático, los que para Latinoamérica con una alta incertidumbre los ubican en entre el 1,5% y el 5,0% del PIB regional actual ante un aumento de temperatura de 2,5 °C, superior al umbral de seguridad climática, que muy probablemente tendría lugar poco después de 2050. Se estima además, aunque también con incertidumbre, que los costos económicos de las medidas de adaptación se ubicarían entre el 0,5% y el 1,0% del PIB regional, siendo los más elevados los vinculados a la infraestructura, las zonas costeras, la agricultura y los eventos climáticos extremos. Es necesario señalar que naturalmente estos costos difieren entre países, sectores y regiones geográficas (CEPAL, 2015).

En este contexto, el cambio climático representa un desafío adicional para el desarrollo económico de las economías de América Latina y el Caribe por la relevancia del esfuerzo simultáneo que implica, solventar los costos económicos, sociales y ambientales de sus impactos. Entre estos se deben enfrentar modificaciones estructurales y temporales para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y asumir los costos asociados a los procesos de mitigación de emisiones de GEI. A estos costos se deben sumar los derivados del cambio en las condiciones de intercambio en el comercio internacional y cuyo principal impacto radica en la competitividad de los patrones de producción y consumo de Latinoamérica. Por lo tanto, no se trata solo del control de las emisiones, sino que el cambio climático demandará la construcción de un nuevo estilo de desarrollo, incluso considerando que estos costos no son necesariamente acumulables. (CEPAL 2015).

### Reducción de emisiones y HdC

En muchos países las empresas públicas y privadas han emprendido diversas iniciativas para hacer frente al cambio climático, siendo la HdC aquella que concentra la mayor atención desde el punto de vista de las empresas. Esto se debe principalmente porque su utilización se ha traducido en un importante factor de competitividad y acceso a los mercados, en especial, cuando dicho concepto se incorpora a las decisiones

de la sociedad modificando sus patrones de consumo. En algunos países los consumidores están exigiendo la declaración de la HdC en el etiquetado de productos y distintos grupos de interés están exigiendo los inventarios de emisiones de CO<sub>2</sub> de empresas y organizaciones (Schneider y Samaniego, 2009).

A pesar del extendido uso del concepto, no existe una única definición de la HdC que sea ampliamente aceptada (Wiedmann & Minx, 2007; Weidema et al., 2008; Kennedy & Sgouridis, 2011). Esto se puede generalizar a otros términos como la contabilidad de carbono, la Huella de GEI y la Huella del Clima, entre otros, por lo que diversos autores señalan la necesidad de converger hacia una definición y en un enfoque estandarizado de la cuantificación y reporte de los GEI (Wright, et al., 2011; Chavez & Ramaswami, 2012; Stechemesser & Guenther, 2012; Turner, et al., 2012). Ya en el año 2011, Doménech señalaba el registro de 62 metodologías asociadas a la determinación de HdC de productos y 80 métodos corporativos de los cuales se presentan a modo de referencia nueve ejemplos de cada enfoque observándose para algunos países más de una metodología por enfoque (Doménech, 2011). La Tabla 1 resume algunos métodos y herramientas para la determinación de HdC corporativas y de productos.

Tabla 1: Métodos y herramientas para la determinación de HdC corporativas y de productos

<i>HdC de productos</i>	<i>HdC de organizaciones</i>
1. PAS 2050 (UK)	1. Carbon Disclosure Project (CDP) (voluntaria; ampliamente adoptada) (Global)
2. KOREA PCF (Corea)	2. WBCSD/WRI GHG Protocol Corporate Standard (voluntaria; ampliamente reconocida; base para otros estándares) (Global)
3. Carbon Footprint Program (Japón)	3. ISO 14064: 2006 (Partes 1 and 3) (voluntaria; estándar internacional verificable) (Global)
4. Carbon Index Casino (Francia)	4. WBCSD/WRI GHG Protocol Scope 3 Reporting Standard (voluntaria; cubre alcance 3 en detalle) (Global)
5. Greenext (Francia)	5. French Bilan Carbone (voluntaria; ampliamente reconocida) (Europea)
6. Climate Certification System (Suecia)	6. DEFRA Company GHG Guidance (ampliamente reconocida; sets minimum standards) (Europea)
7. Climatop (Suiza)	7. UK Carbon Reduction Commitment (CRC) (obligatoria; cubre a los más pequeños emisores) (Europea)
8. GHG, Greenhouse Gas (Global)	8. US EPA Climate Guidance (no Europea; voluntaria; provee incentivos) (resto del mundo)
9. BP X30-323 (Francia)	9. US GHG Protocol Public Sector Standard (sector público; voluntaria; adaptada de métodos existentes) (resto del mundo)

### Divergencia metodológica

A pesar de algunos acuerdos internacionales, no existe consenso sobre una forma estándar de cuantificar las emisiones, factor que impide avanzar en la adopción de prácticas de gestión como la HdC que permitan la consolidación de una economía realmente sostenible. Un claro ejemplo de esta situación lo constituye el infructuoso trabajo internacional realizado por el comité ISO/TC 207 SC7 y su discusión de la norma ISO 14067. La ISO 14067 recibió un voto negativo y solo fue adoptada como estándar técnico debido a la oposición de una coalición de países emergentes liderada por India, que temía que en el futuro la norma pudiera convertirse en un obstáculo al comercio (a pesar de que este punto había sido abordado en el texto del proyecto de la norma). El bloqueo de la norma puede tener consecuencias para el comercio. Al no haber una norma internacional, probablemente habrá una multiplicación de metodologías y referencias más frágiles en el caso de una disputa en la Organización Mundial del Comercio (OMC). La preocupación de los países latinoamericanos frente a exigencias de etiquetados solo podrá ser analizada por la OMC con base en el acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) y el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio, GATT (CEPAL, 2013), los que paradójicamente toman como referencia las normas internacionales.

Si bien no se logró la norma internacional, otras iniciativas fueron publicadas, entre las que destacan las versiones definitivas de Product Environmental Footprint (PEF) y Organization Environmental Footprint (OEF) de la Comisión Europea, y en Francia evoluciona la norma BP X 30-323, alineada con la norma europea. También hubo nuevas versiones del GHG Protocol y del Sustainability Index para diversos productos agrícolas. Estas situaciones de divergencia metodológica inhiben los procesos de adopción, fundamentalmente por la ausencia de información clara, precisa y armonizada de los distintos enfoques metodológicos de la HdC en un lenguaje compatible con la gestión empresarial. Esta situación se intensifica aún más en empresas y organizaciones de economías en desarrollo, en especial, en aquellos segmentos de menor tamaño y capacidad de gestión.

## Avance asimétrico en el conocimiento de la HdC

Los distintos esfuerzos en torno a la HdC provenientes de tres vertientes principales, el mundo científico, el geopolítico y el empresarial, no han logrado armonizar sus conceptos e intereses sobre el conocimiento de la HdC y su cuantificación. Esto ha generado la presentación de mociones normativas locales para la regulación de las emisiones. Tal es el caso de Chile, respecto del proyecto de ley que en el año 2009 buscaba modificar la Ley 19.496 sobre protección de los derechos del consumidor y que pretendía exigir a todo fabricante, importador o distribuidor de bienes informar al usuario, a través del etiquetado las emisiones de dióxido de carbono y el agua utilizada en sus procesos productivos, embalaje y traslado hasta sus puntos de venta o distribución. Hasta ahora, año 2015, no hay acuerdo sobre como cuantificar estos conceptos.

El mundo científico se ha enfocado principalmente en el estudio de la objetividad del cálculo y en análisis de las perspectivas top-down y bottom-up (de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, respectivamente) ambas estrategias de procesamiento de información características de las ciencias han dado base a los distintos desarrollos en torno a la HdC para distintas escalas de aplicación (Espíndola y Valderrama, 2012a 2012b). Aunque en menor medida también se discute sobre métodos híbridos que podrían ofrecer una interesante combinación entre la exactitud, precisión y eficiencia en los costos de cuantificación (Minx et al., 2010). Matthews et al. (2008) propone determinar la HdC a través de una combinación de ambos métodos, como la mejor opción metodológica, denominado enfoque del ciclo de vida híbrido (Hybrid ACV). Este análisis permite la preservación de los detalles y la precisión de los enfoques de abajo-arriba (bottom-up) en los procesos importantes, mientras que la mayoría de las etapas de producción menos significativas, pueden ser cubiertos por el modelo de entrada y salida (top-down). Entre los métodos híbridos destaca el Método Compuesto de las Cuentas Contables MC3 (Carballo, 2009) y que se basa en la huella ecológica desarrollada por Wackernagel y Rees (1997).

Por su parte, el orden geopolítico ha desarrollado esfuerzos tendientes a la reducción y limitación de emisiones de GEI o QERLCs, por su denominación en inglés Quantified Economy-wide Limitation or Reduction Commitments. En este contexto, el orden geopolítico ha jugado un papel esencial en los esfuerzos mundiales para establecer acuerdos que permitan contener y mitigar los efectos del cambio climático como consecuencia de las emisiones de GEI. Esto ha significado la activa participación del sector público en la mayor parte del desarrollo de las políticas ambientales, en particular, las regulaciones gubernamentales que ordenan a países y sus organizaciones a informar de sus emisiones de carbono y, en ocasiones, a pagar impuestos sobre la base de compromisos de emisión. Estos foros internacionales también han orientado sus esfuerzos en sumar adscripciones de países que aun siendo emisores importantes en el concierto internacional se han restado de esos acuerdos. Considerando las diferencias de conceptualización del concepto HdC y de sus metodologías de cálculo en lo que respecta a limitarse exclusivamente a un único gas CO<sub>2</sub> o a los GEI establecidos en el protocolo de Kioto: (ver Tabla 2) la divergencia se encuentra lejos de ser resuelta en especial por la inclusión de un nuevo GEI, el Trifluoruro de Nitrógeno (NF<sub>3</sub>) en el marco del segundo período de vigencia del protocolo de Kioto (2012 -2020) (CMCC, 2013). Como se observa en la Tabla 1, el NF<sub>3</sub> es el segundo gas (después del SF<sub>6</sub>) con mayor potencial contaminante en una escala donde al CO<sub>2</sub> se le asigna el valor 1.0.

Tabla 2: GEI Protocolo de Kioto elaborada en bases a IPCC, 2007 y CMCC, 2013

	Gas	Potential (GWP)	Inclusión en Protocolo de Kioto
1	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	Primer período (2005- 2012)
2	Metano (CH <sub>4</sub> )	25	
3	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O),	298	
4	Hidrofluorocarbonos, (HFC),	124 – 14800	
5	Hidrocarburos perfluorados (PFC)	7390 – 12200	
6	Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	22800	
7	Trifluoruro de Nitrógeno ( NF <sub>3</sub> )	17200	Segundo periodo (2012-2020)

El sector privado ha sido tanto receptor como promotor de los diversos marcos metodológicos asociados la HdC, sus esfuerzos han estado principalmente enfocados a la obtención de magnitudes que les permitan rendir cuentas públicas a los distintos grupos de interés respecto de una gestión sustentable ya sea para mejorar o sostener una posición competitiva en el mercado, al margen de cuestionamientos sobre objetividad de los métodos empleados. Esta mayor penetración de la HdC como indicador de sustentabilidad, se encuentra principalmente en la gran empresa de características exportadoras. En países en los cuales aún no se plantean marcos regulatorios de etiquetado de carbono y el proceso se mantiene a nivel voluntario y ha sido el sector privado quien ha decidido avanzar en el tema por distintas razones. Entre estas por ejemplo, el conocer mejor sus procesos productivos, generar ahorros energéticos, involucrar a sus

proveedores, anticipar potenciales medidas regulatorias, y desarrollar nuevas líneas de marketing y competitividad. En marcos voluntarios, la gran mayoría de las empresas demuestra todavía señales de desconfianza debido a los costos de implementación de la medición de la HdC y la falta de visibilidad de los potenciales resultados, así como de futuras normas que les serán impuestas. Estas reticencias y confusiones impiden un movimiento general progresivo para identificar fuentes de emisiones de GEI y las medidas correspondientes de reducción, por supuesto a nivel regulatorio, pero también a nivel voluntario.

### **La HdC y las empresas latinoamericanas**

Muchos países en vías de desarrollo además de hacer frente a sus propios retos, deben enfrentarse a las consecuencias negativas del cambio climático que agravan los problemas de desarrollo ya existentes (p. ej., escasez de agua, seguridad alimentaria). Normalmente, estos países tienen una menor capacidad de adaptación a los riesgos y las oportunidades del cambio climático, dada sus condiciones de infraestructura, seguridad energética, instituciones estatales poco desarrolladas, menores niveles de educación y falta de inversión de capital e investigación, entre otras. Esto implica que los países latinoamericanos se enfrentan además al riesgo de tener que sumarse a acuerdos internacionales tomados por un conjunto amplio de países muy diferentes en cuanto a su nivel tecnológico, productivo, expectativas de desarrollo futuro y emisiones de GEI. (Tapia, 2013).

La literatura recalca la importancia de que los tomadores de decisiones, entiendan tanto las diferencias en los enfoques adoptados para la cuantificación de la HdC así como de las complejidades metodológicas inherentes a cada método, y como éstos pueden influir en los resultados del valor obtenido. En relación con los procesos de toma de decisión y HdC, Schaltegger y Csutora (2012) sostienen que se sabe poco sobre cuál es la información necesaria para fortalecer estos procesos. Además, plantean que se sabe poco sobre por qué y que tan seguido deben las empresas recoger información de emisiones, y cómo esta información es o debiera ser utilizada para facilitar la implementación de mejoras. Conforme a lo anterior, sugieren que los investigadores aumenten sus esfuerzos para comprender los desafíos de las empresas en cuanto a contabilidad de carbono, auditoría y certificación, de manera de sustentar futuras institucionalizaciones o divulgaciones. De mantenerse esta falta de claridad y comparabilidad en la determinación de emisiones podría provocar a la larga el fracaso de un eco-etiquetado global y la pérdida de una gran oportunidad para lanzar una nueva economía sostenible (Doménech et al., 2010).

En este sentido, parece relevante abordar desde Latinoamérica procesos de investigación destinados a la decodificación de las lógicas sobre las cuales se determinan las magnitudes de la HdC y como estas pueden estar al servicio de la estrategia empresarial esperando aportar a los procesos de aprendizaje individual y organizacional, que conduzcan la movilización de pequeñas a grandes empresas hacia la adopción global de la gestión del carbono.

### **Elección de una metodología de HdC**

Un profesional que deba tomar una decisión sobre como cuantificar las emisiones de una empresa u organización, bajo un proceso voluntario o inducido por necesidades competitivas (con fines de etiquetado, verificación o certificación de emisiones entre otros), enfrenta hoy en día un escenario de alta incertidumbre sobre el que es muy difícil tomar una decisión eficiente en un tiempo razonable, dado que la sola tarea de informarse, evaluar y decidir sobre que enfoque metodológico adoptar (de producto, corporativo o corporativo-producto) requeriría de un estudio acabado que involucra una considerable cantidad de tiempo y dinero en procesar grandes volúmenes de información que para el caso de la HdC, además es divergente. Alcanzar un nivel de conocimiento de base para la toma de decisiones implica llegar a distinguir en profundidad las diferentes características de cada método y así poder discriminar a favor o en contra de aquel que responda adecuadamente a las necesidades específicas de cada organización.

Muchas organizaciones se ven tentadas en recurrir a las calculadoras, las que se han vuelto relativamente comunes en internet y que se aplican generalmente a individuos, hogares o eventos. Sin embargo, estas calculadoras carecen de consistencia y pueden generar resultados diferentes para una misma actividad. Además, entregan información insuficiente respecto a sus métodos y sus cálculos (Valderrama, et al., 2011; Rauber, 2008). Los resultados que ellas arrojan suelen ser sólo aproximaciones y por lo tanto no sustituyen a un verdadero proceso de medición. No obstante, estas calculadoras permiten familiarizarse con las mediciones y orientar en un comienzo a quienes desean medir su HdC, y permitir la sensibilización del público general respecto del impacto del comportamiento individual sobre las emisiones (Cucek, et al., 2012). Algunas calculadoras promueven métodos para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> a través de compensaciones o inversiones en tecnología de energías renovable (Padgett, et al., 2008).

Esta situación se complica aún más por el amplio espectro de aplicación de la HdC, dependiendo de la escala en la que se encuentre la unidad funcional para la cual se requiere estimar, por ejemplo global, países, ciudades, negocios, industria, hogares, productos, servicios y eventos (Peter, 2010), la que según Schaltegger y Csutora (2012) se puede agrupar en dos grandes niveles 1) geográficos (Global, multinacional, nacional y local) y niveles institucionales (contabilización científica del carbono, contabilización política y económica del carbono y contabilidad corporativa del carbono. Según Peter 2010 en la medida en que se avanza de una escala mayor a una menor, las metodologías utilizadas se basan preferentemente en métodos Top-Down, pasando por métodos basados en enfoques híbridos hasta aquellos basados en Análisis del Ciclo de Vida (ACV) o Bottom-Up, cuando se trata de escalas de menor tamaño.

### Principales enfoques para determinar la HdC

Las empresas pueden enfrentarse a la necesidad de contar con la magnitud de su HdC ya sea porque uno o más productos o servicios están sometidos a esta exigencia competitiva, o bien porque la corporación en su conjunto debe responder ante sus distintos grupos de interés. Así también se puede evidenciar que cada uno de los métodos se encuentra en mayor o menor medida sintonizados con la reducción del impacto ambiental, que en teoría constituye el fin por el cual se origina dicho indicador. Es así que podríamos identificar métodos de estimación parcial y total de la magnitud de la HdC atribuibles a las actividades de una organización y en consecuencia métodos que determinan con mayor o menor objetividad el real impacto de las organizaciones o sus productos sobre el medio ambiente anfitrión. Los autores han discutido previamente los principales métodos existentes: los métodos asociados a la HdC de producto, los métodos asociados a la HdC corporativa y los métodos asociados a la HdC corporativa- producto. Estos se resumen en cuatro metodologías referentes: Protocolo de Gases Efecto Invernadero, Balance de Carbono, Especificaciones Públicamente Disponibles, PAS 2050 y Método Compuesto de las Cuentas Contables (Espíndola y Valderrama, 2012a).

Los autores reconocen en la propuesta de enfoque híbrido (mixto corporativo/producto), una postura de asumir integralmente los impactos de una organización en su entorno, no estableciendo límites que puedan favorecer artificialmente la imagen ambiental de una organización. Tal es el caso del Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) que ha sido desarrollado por Doménech y colaboradores a partir del año 2004 (Doménech et al., 2010). En este método la información fluye directamente de una organización a otra sin necesidad de contar con la colaboración de clientes o proveedores de la cadena de suministro para calcular la huella. Toda la huella de productos pasa de una entidad a otra, acumulándose progresivamente, y el estudio de huella se limita siempre a una única entidad. De este modo, el alcance organizacional queda perfectamente delimitado en todo momento. Por eso, MC3 nunca incorpora el uso del producto por parte de un consumidor, o la destrucción del mismo al final de su vida útil, ya que esto queda fuera del alcance organizacional.

Los autores y grupo de trabajo han realizado diversas experiencias y estimaciones de HdC, en particular, del método MC3 en empresas en Chile, concluyendo que la metodología MC3 resulta adecuada para ser adoptada en empresas de mediano tamaño por sus bajos costos de implementación, por su relativa facilidad de comprensión y aplicación, y por la disponibilidad de la información requerida por el método (Quezada et al., 2013). La Tabla 3 resume algunos de estos trabajos.

Tabla 3: Diversos estudios del grupo de trabajo en los últimos cinco años

	Tema	Referencias
1	Cuantificación de la Huella De Carbono para el Proceso de Solarización Modificada PAS 2050 de la Empresa Agro Industrial Pisquera en Chile, Como Base para su Incorporación al Mercado de Carbono.	(Rojas, 2011)
2	Estimación de la huella de carbono mediante metodología MC3 en el sector Construcción en Chile	(Arias y Arruez, 2011)
3	Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile	(Hsieh y Quezada, 2012)
4	Cuantificación de la huella de carbono de refrigerantes en Minera Los Pelambres y análisis de sus medidas de reducción (GHG)	(González y Robledo, 2013)
5	Diseño de una estrategia de gestión del carbono en base a MC3 en empresa Vitivinícola en Chile	(Peña y Serin, 2015)

## EL METODO ABANICO<sub>2</sub>

Combinando el conocimiento científico que da origen a los diversos marcos metodológicos de estimación, los objetivos empresariales para adoptar una determinada metodología de medición de la HdC y las diversas aplicaciones realizadas por los autores y su grupo de trabajo, es posible configurar un simple modelo que permita sistematizar de manera gráfica esta integración de conocimientos. Esta representación simplificada de las diversas vertientes metodológicas, busca apoyar no solo la comprensión de las particularidades y diferencias de cada una, sino también la identificación de la lógica tras los algoritmos de determinación de la magnitud. En esta tarea, un primer paso fue la determinación de un conjunto de aspectos comunes y que son transversales a las diversas metodologías de cálculo de HdC. Teniendo presente que el aporte que se espera lograr está en facilitar la toma de decisiones gerentes o profesionales de las empresas respecto de que método a adoptar, parece necesario también poder aportar en la identificación de las contribuciones específicas de cada método a los objetivos que persigue la empresa con dicho cálculo.

La identificación de elementos comunes entre los diversos enfoques metodológicos permite además aportar en la detección de dificultades técnicas, tales como disponibilidad de sistemas, recursos y tiempos necesarios de implementación de un determinado marco metodológico. Para describir los elementos comunes a los diversos métodos que han sido identificados por los autores, se propone un conjunto de seis pasos organizados en forma de un ciclo descriptivo para la determinación de la HdC. Este conjunto busca establecer un procedimiento común para un tomador de decisión que se enfrenta a la disyuntiva de tener que elegir un método de cuantificación de la HdC para ser adoptado en una empresa. En estos seis pasos se ha considerado la lógica cíclica dado que la HdC exige necesariamente el desarrollo de una pendiente negativa para la curva de magnitudes de intensidad emisiva entre dos periodos consecutivos. Esto significa que se debe mostrar avances en la reducción de dicho indicador, en donde el valor obtenido debe ser menor a la magnitud de su periodo inmediatamente anterior. El conjunto de seis pasos se muestra en la Fig. 1:



Fig. 1: Ciclo descriptivo de la determinación de la HdC

**Paso 1: Definir el objetivo del cálculo.** Este se encuentra asociado a la estimación de magnitud de las emisiones y debe estar directamente relacionado con las razones por las cuales la empresa busca determinar la HdC. Entre estas razones probables está por ejemplo la de responder a exigencias competitivas en términos de etiquetado de productos o reportes corporativos de comportamiento organizacional.

**Paso 2: Identificar una unidad de análisis.** Se establece a que objeto o unidad se hará el cálculo de la HdC, existiendo tres opciones: i) un producto o servicio, ii) una corporación o iii) ambos en forma simultánea.

**Paso 3: Definir las perspectivas (insights) detrás de cada método.** Esta definición proporciona información a la organización para efectos de determinar la coherencia de estos resultados con aquel impulsor competitivo que ha dado origen a la adopción de la HdC. Este podría ser uno de estas tres posibilidades: i) la determinación de ineficiencias operativas en el proceso productivo; ii) la limitación de responsabilidades en base al control sobre de las fuentes de emisión; iii) la determinación de los impactos de las acciones empresariales en el medio ambiente.



**Paso 4: Determinar los criterios de selección de emisiones.** Esta determinación estará condicionada directamente por el paso 3. Es aquí donde los autores identifican a lo menos tres lógicas distintas: i) selección de emisiones según la ubicación de estas en el ciclo de vida, si se trata de productos o servicios; ii) el nivel de control de la organización sobre diversos tipos de emisiones; y iii) el origen del recurso consumible y su impacto en la biocapacidad del planeta.

**Paso 5: Clasificar las emisiones en diversos subconjuntos.** Alcances (Ak) para métodos corporativos (top-down), etapas de un proceso productivo (Pk) para métodos a asociados a la determinación de HdC de productos (bottom-up) y Huellas (Hk) para métodos híbridos top-down y bottom-up asociados a productos y corporaciones bajo un mismo método.

**Paso 6: Determinar la magnitud de la intensidad de emisiones:** Para esto se hace uso del algoritmo específico de cada método en el cual se determina acumulativamente la magnitud de emisiones generadas por la unidad de análisis en cada uno de sus respectivos organizadores. Esta magnitud acumulada será considerada como débitos ambientales, sobre la cual se descontarán créditos ambientales como consecuencia de las actividades de compensación de la organización.

Cuando este ciclo común, mostrado en la figura 1, se aplica a las metodologías de mayor relevancia, de los principales exponentes de los enfoques top-down, bottom-up e híbridos se puede determinar un simple método de apoyo a la toma de decisiones denominado *AbaniCO<sub>2</sub>*, mostrado en la figura 2.

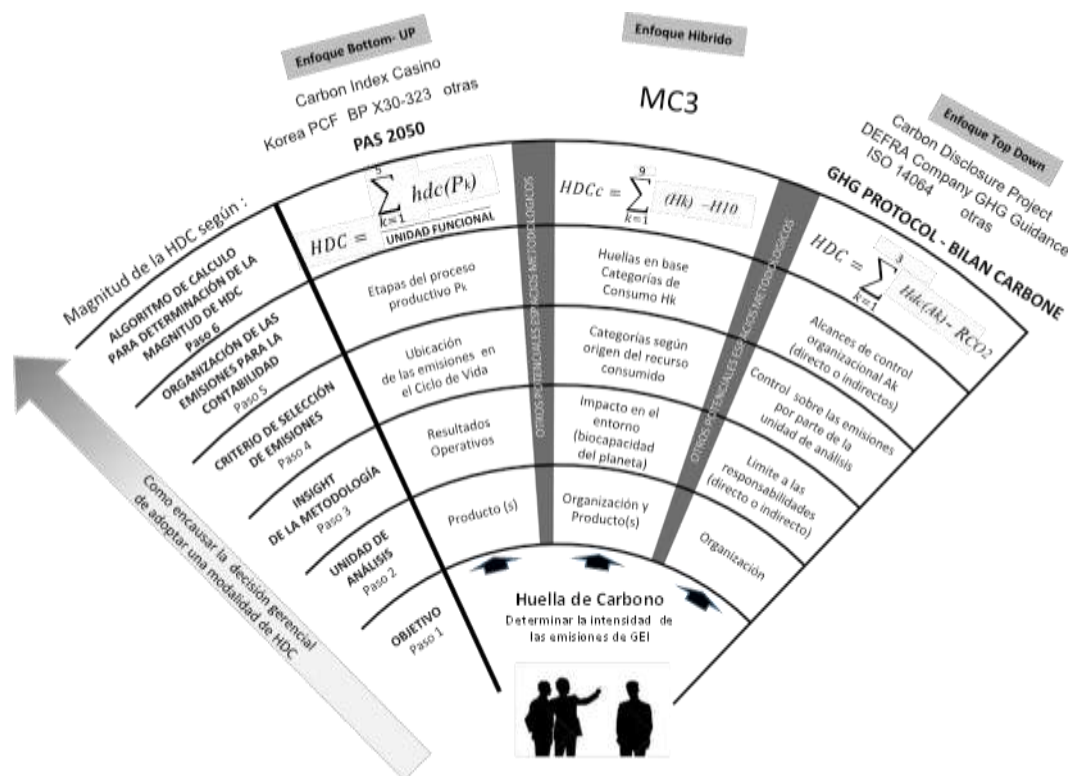


Fig. 2: AbaniCO<sub>2</sub> metodológico de la HdC

En este abanico se reúne información básica para la toma de decisiones de los tres espacios metodológicos de mayor relevancia hasta la fecha, no descartándose a priori la determinación de otros espacios en el futuro entre las nuevas alternativas que continúan siendo desarrolladas en los diversos mercados y que por cierto se prevé continuarán apareciendo en la medida en que no se logre establecer un acuerdo internacional para el establecimiento de una base de comparación y objetividad comúnmente aceptada. En la figura 2,  $RCO_2 = \text{Secuestro de } CO_2 \text{ o biocapacidad para secuestrar mediante fotosíntesis las emisiones de } CO_2 = H_{10} = \text{Contra Huella}$

**APLICACIÓN DE ABANICO<sub>2</sub>**

El método propuesto y los conceptos descritos sobre cómo utilizar AbaniCO<sub>2</sub> para encausar el proceso de decisión se comprenden en mejor forma con un ejemplo práctico. Se presenta como ejemplo una Viña Modelo (β), productora de Vino (β&β) en la que sus ejecutivos están pensando en implementar un método para estimar la HdC en su gestión medioambiental.

**Paso 1: El Objetivo.** En la figura 3 se muestra a los tomadores de decisión enfrentados a la necesidad de determinar la intensidad emisiva de GEI o HdC. El origen de esta necesidad puede encontrarse fuera de la Viña Modelo ( $\beta$ ), determinando un actuar reactivo frente a los impulsos provenientes del entorno, tales como legislaciones y regulaciones emanadas de órganos de gobierno, demanda de clientes institucionales intermedios o finales en los mercados de destino, competidores y sus estrategias medio ambientales, responsabilidades asignadas por el entorno social, innovaciones tecnológicas, presiones o acuerdos de orden sectorial. Así también, esta necesidad puede tener su origen dentro de la Viña Modelo en esfuerzos proactivos de la organización por aumentar la calidad del producto, esfuerzos por reducir ineficiencias y costos, estrategias de posicionamiento programado orientadas a segmentos de mercado con mayor grado de sensibilidad y conciencia ambiental.

**Paso 2: La Unidad de Analisis.** Se debe determinar si el impacto competitivo del indicador HdC será gravitante en la relación producto-producto, es decir entre los Vinos ( $\beta$ & $\beta$ ) versus vinos de la competencia o entre la Viña Modelo ( $\beta$ ) y otros productores. Esto determina dos causas metodológicas, de lógicas muy distintas. En el primero, correspondiente al lado derecho del AbaniCO<sub>2</sub> en donde la unidad de análisis será la organización y el cálculo de la HdC determinará la magnitud de la HdC de la Viña Modelo. Este cause de acción se alinea a objetivos empresariales destinados a buscar visibilidad y mostrar compromiso con el medioambiente.

En el segundo caso, en el lado izquierdo del AbaniCO<sub>2</sub> cuando se trata de productores de bienes finales, la motivación de la viña del ejemplo será dotar a su producto de un atributo distintivo de otros vinos disponibles en el mercado. El indicador sirve para transmitir información ambiental al cliente final sensibilizado por la temática ambiental, buscando visibilidad en el mercado e influyendo en los proceso de compra del producto. Si se considera que el destino de los vinos ( $\beta$ & $\beta$ ) será un supermercado, por ejemplo, el indicador HdC está destinado a la competitividad en la góndola o exhibidor del producto. En el caso de las empresas dedicadas a la fabricación de productos intermedios, como vino a granel, el objetivo del cálculo de la HdC buscará conseguir posicionarse mejor que sus competidores frente a sus clientes institucionales, especialmente empresas envasadoras de vino en los mercados de destino, con alta sensibilidad medioambiental.

**Paso 3: Perspectivas o Insights de la Metodología.** Los dos pasos anteriores, objetivo y unidad de análisis, han conducido a una lógica de agrupación de emisiones, que intrínsecamente responderá de manera distinta a los tomadores de decisiones, dependiendo si se avanza por el cauce derecho o izquierdo del AbaniCO<sub>2</sub>. En el caso del lado derecho del AbaniCO<sub>2</sub> (enfoque Top-Down), la metodología aportará al tomador de decisión la facultad para limitar sus responsabilidades en función de los niveles de control que exhiba la Viña Modelo ( $\beta$ ) sobre las emisiones, en una lógica de estados de mayor a menor control (alcances, directos a indirectos). Esto se puede apreciar cuando se grafica la definición de límites para los distintos cálculos de ambas vertientes, expresados en una organización uniproducción, tal como se presenta en la figura 3.

Cuando se trata del lado izquierdo del AbaniCO<sub>2</sub> (enfoque Bottom-up) aportará directamente a la obtención de información que permite evaluar resultados de la gestión operativa de los procesos productivos asociados al producto Vino ( $\beta$ & $\beta$ ), para el cual se espera determinar la HdC. Esta vía ofrecerá también capacidad de gestión sobre los factores productivos, la detección de ineficiencias, principalmente energéticas en sus procesos en la medida que se avanza de estados de menor a mayor valor agregado, situación que será observable con mayor detalle en el paso 6 y en la figura 4.

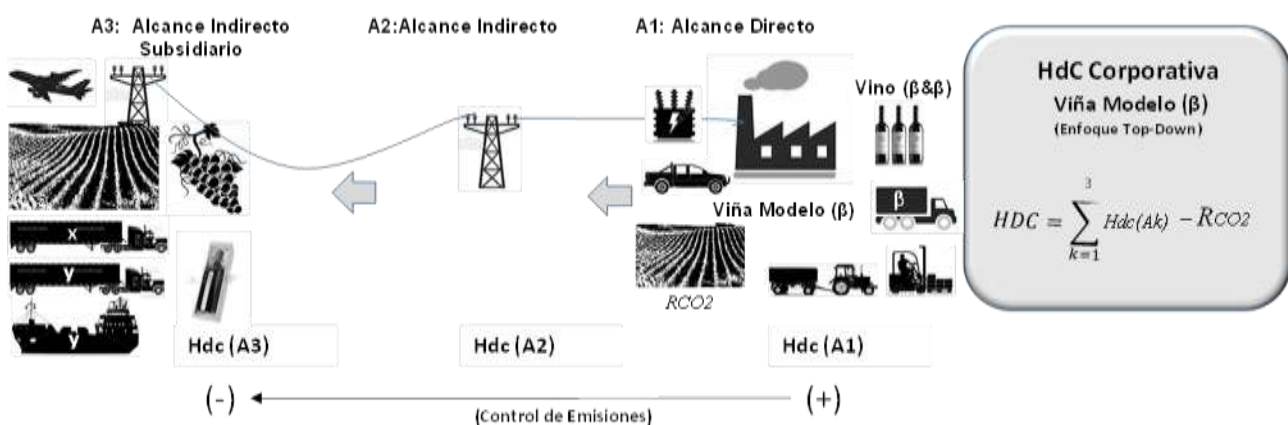


Fig. 3: Organización de emisiones para cálculo corporativo de la HdC

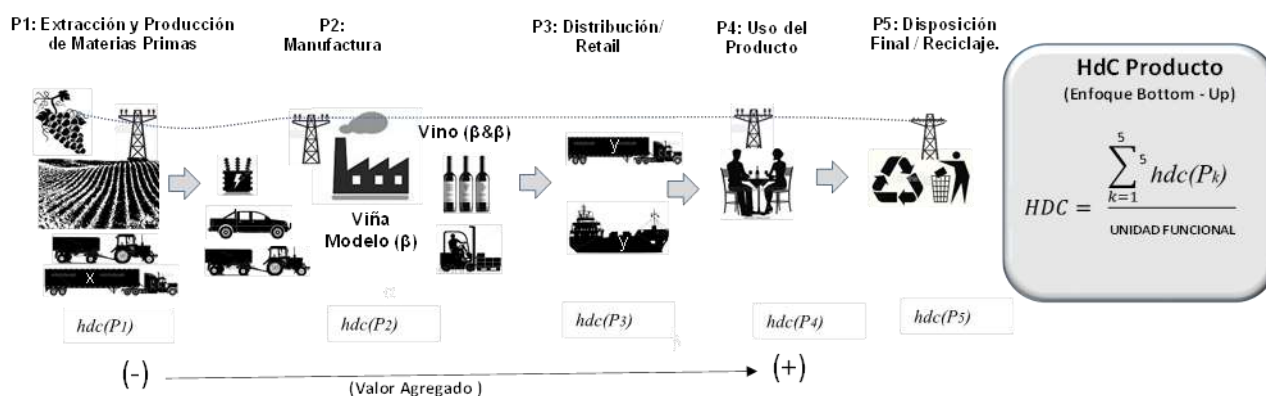


Fig. 4: Organización de emisiones para el cálculo de la HdC de Producto

**Paso 4: Criterio de Selección de emisiones.** Aceptada la promesa de contribución a la gestión proporcionada por la metodología elegida, los tomadores de decisión se enfrentarán a la necesidad de recabar información de emisiones de fuentes fijas y móviles, para lo cual se requerirá conocer que criterios de selección de emisiones se utilizarán en cada metodología. En el caso del enfoque top-down, el criterio de selección será la capacidad de control de la Viña Modelo ( $\beta$ ) sobre las emisiones, es decir, directo o indirecto ( $A_k$ ) (ver figura 3). En el caso del enfoque bottom-up el criterio de selección de emisiones estará asociado a la ubicación de estas en las distintas etapas del ciclo de vida del producto vino ( $\beta\&\beta$ ). Por lo tanto, esta selección, junto con ser exhaustiva, exige definir claramente donde inicia y donde termina cada proceso ( $P_k$ ) en la fabricación del vino, ya que estas serán organizadas y agrupadas en cada proceso, determinando así una magnitud parcial de la HdC. (ver figura 4).

**Paso 5: Organización de las emisiones.** Adoptados los criterios en el paso 4, la información de emisiones de fuentes fijas y móviles definidas, deben ser organizadas para determinar la magnitud buscada. En el caso del enfoque top-down, las emisiones son agrupadas en tres organizadores denominados Alcances ( $A_k$ ) clasificados en Directos (Alcance 1) e Indirectos (Alcances 2 y 3) los cuales establecen gradualmente límites organizacionales en función de la disminución del control por parte de la Viña Modelo.

El Alcance 1, como se muestra en la figura 3, agrupa a todas las emisiones que provienen de fuentes que son propiedad de la empresa o están controladas por ella y que, por lo tanto, están directamente relacionadas al proceso de transformación realizado in situ en la Viña Modelo. En el caso específico de la Viña Modelo las emisiones provendrán de fuentes móviles tales como camiones, camionetas, tractores y grúas asociados a las operaciones de la viña, combustión en fuentes fijas tales como calderas, generadores y otras máquinas estacionarias, emisiones asociadas a sistemas de refrigeración, uso de fertilizantes en la producción de uva propias de la viña, y emisiones por uso del suelo.

Luego el Alcance 2 agrupará las emisiones que provienen de la generación de electricidad adquirida y que es consumida en las operaciones de la empresa o equipos propios o controlados, estas emisiones ocurren físicamente en la planta donde la electricidad es generada, lo que constituye un segundo límite de responsabilidad. Finalmente, el Alcance 3 es una categoría opcional que permite incluir el resto de las emisiones indirectas relacionadas actividades de la empresa, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad, ni están controladas por la Viña Modelo ( $\beta$ ). Entre estas están los insumos de embalaje, viajes de negocios, transporte de productos (exportación), transporte nacional de productos, transporte de uva propia y de terceros (transportes "x" e "y" en la figura 3), e insumos de enología. Esta tarea de inventariar y organizar las emisiones exige a las organizaciones disponer de recursos adicionales a los ya considerados para el proceso de fabricación. Entre estos recursos adicionales se pueden mencionar los siguientes: personal especializado, sistemas de registros especiales, conocimiento técnico para la identificación de factores de emisión a utilizar y para la determinación de unidades físicas de recursos consumibles, para su conversión a unidades energéticas y de ahí en emisiones de CO<sub>2</sub>.

El enfoque bottom-up exige establecer un proceso de registro de emisiones a lo largo de la cadena de valor asociada a la producción del vino ( $\beta\&\beta$ ), basadas en el análisis de ciclo de vida. En el caso de la Viña Modelo ( $\beta$ ) se identifican cinco grandes procesos ( $P_k$ ): P1, Extracción y producción de materias primas; P2, Manufactura; P3, Distribución y retail; P4, Uso del producto; y P5, Disposición Final y reciclaje:

**P1: Extracción y producción de materias primas:** en este organizador se agruparán las emisiones asociadas al cultivo incluyendo las derivadas de la plantación de semillas para la producción variedades de uva, el mantenimiento de los parronales, riego, tratamientos y poda, hasta que la uva este preparada para su

recogida. Se agrega a este proceso la recolección y selección de la uva a través de la vendimia, hasta su transporte a la bodega (transporte “x” en la figura 4).

*P2: Manufactura:* En este organizador se agruparán emisiones correspondientes a la elaboración del Vino ( $\beta\&\beta$ ), etapa que comienza con la molturación de la uva en la bodega, hasta la etapa de fermentación alcohólica y la decantación. Esta etapa concluye con el envasado de las botellas de vino, desde el embotellado hasta la colocación de etiquetas y embalaje, preparadas para su distribución.

*P3: Distribución y venta al detalle (retail):* En este organizador se agrupan las emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles asociadas a la distribución del producto terminado envasado en el almacén y enviado desde ahí mediante transporte hacia las plataformas, nacionales y extranjeras (transporte “y” en la Figura 4). Este proceso termina cuando el producto llega a la cadena minorista.

*P4: Uso del producto:* Este organizador agrupará las emisiones derivadas la energía requerida durante el uso y consumo del vino ( $\beta\&\beta$ ) tanto por almacenamiento, preparación, aplicación o mantenimiento siendo las emisiones más relevantes las asociadas al uso de sistemas de refrigeración para mantener los vinos a la temperatura adecuada, según el tipo de vino.

*P5: Disposición Final y reciclaje:* Este organizador agrupará al conjunto de emisiones directas derivadas de todos los pasos de eliminación del producto vino ( $\beta\&\beta$ ), sus envases o residuos.

*Paso 6: Algoritmo de Cálculo.* En general la HdC obtiene su magnitud a través de un proceso aditivo de las magnitudes parciales de emisiones registradas en cada uno de los organizadores  $A_k$  y  $P_k$ . En ambos enfoques las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> se van obteniendo a partir de las unidades físicas (m<sup>2</sup>, ton) transformadas a unidades energéticas (Gj, TJ), a través de la multiplicación por el valor calorífico neto o intensidad energética, para luego ser convertidas en CO<sub>2</sub> equivalente (Ton CO<sub>2</sub> eq) al ser multiplicados por el factor de emisión (ejemplo: Ton CO<sub>2</sub> eq/TJ). Como resultado de este proceso el tomador de decisión obtendrá la magnitud de la HdC corporativa (enfoque Top-down) para la Viña Modelo. Sin embargo, para el caso de la HdC de producto (bottom-up), la magnitud determinada corresponderá a las emisiones totales a lo largo del ciclo de vida del vino, la que debe ser distribuida por cada unidad funcional de producto producida. En este ejemplo concreto la unidad funcional corresponde a una botella de vino de 0.75 lts.

Se debe agregar que la HdC corporativa es estimada para el período de tiempo de un año, mientras que la HdC de producto es estimada para el ciclo de vida del producto el que puede ser mayor o inferior a un año y variar entre productos. Por esta razón, ambas HdC no son comparables, en especial, por la voluntariedad de inclusión de alcances en la HdC de las organizaciones y el truncamiento del ciclo de vida en HdC de productos dadas las opciones de cálculos B2B y B2C (Business to Business o Business to Consumer), explicadas previamente por los autores (Espíndola y Valderrama, 2012a). En la Tabla 4 se presentan valores de referencia del cálculo de la HdC para una viña en Chile realizada según metodología GHG para la obtención de la HdC corporativa (CyT, 2013).

Con el objeto de graficar que los resultados de magnitud de emisiones obtenidos por enfoques corporativos y de producto son difícilmente comparables, debido entre otros aspectos al establecimiento de límites arbitrarios para registro y contabilización de emisiones entre los distintos enfoques y diferencias propias de los procesos productivos (en este caso de vinificación de tintos, blancos o rosados) entre otros, se puede desarrollar un simple ejercicio de demostración a partir de las magnitudes disponibles en la Tabla 4 y comparar las magnitudes de las HDC total obtenidas por los enfoques corporativos y de producto. Para esto se establecerá como supuesto que la Viña Modelo ( $\beta$ ) producirá un único producto (Vino  $\beta\&\beta$ ), además se deberá desestimar las emisiones por uso, disposición final y reciclaje asociados al producto. Bajo estos supuestos es de esperar que mas magnitudes de productos y corporativos deberían ser equivalentes.

Para esto las emisiones registradas en el proceso corporativo para la Viña Modelo ( $\beta$ ) agrupadas en los Alcances ( $A_k$ ) serán reorganizadas bajo la lógica de un cálculo del enfoque de Producto, en los organizadores ( $P_k$ ) a través de la asociación directa de las distintas fuentes de emisión y sus magnitudes parciales a las etapas del Ciclo de Vida del Producto (Vino  $\beta\&\beta$ ).

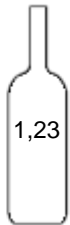
La sola observación de las figuras 3 y 4 y de la Tabla 4 determinaría que en el cálculo de emisiones para el proceso productivo del vino, bajo el enfoque de producto dejaría de contabilizar en su magnitud 1.349 Ton CO<sub>2</sub> equivalente, derivadas de viajes de negocios de trabajadores y ejecutivos de la viña, los que no serían considerados por este tipo de cálculo bajo el enfoque de producto. En segundo lugar, tomando como referencias las magnitudes obtenidas para el cálculo de la HdC del vino disponibles en la literatura para procesos desarrollados en base al estándar PAS2050 en Rodríguez et al., 2014, se pueden aproximar las distribuciones de las emisiones en las distintas fases del proceso productivo de estas 246646 Ton CO<sub>2</sub>

equivalente (descontada las emisiones de viajes de negocios) y así obtener la huella de carbono del producto vino al dividir esa magnitud por el número de unidades funcionales de producto, en este caso botellas de vino. Los resultados se muestran en la Tabla 5:

Tabla 4: Magnitud de HdC y por alcances para cálculo corporativo GHG Protocol para la Viña Modelo (β) sobre una base de cálculo de 200 millones de botellas. A=% de distribución de emisiones en el Alcance respectivo; B=% de Distribución de emisiones de HdC GHG Protocol; C=% del Alcance respecto de la HdC total (CyT, 2013)

Organizador GHG Protocol	Fuentes de emisión	Emisiones Ton CO <sub>2</sub> eq	A	B	C
A1 : Alcance 1 Emisiones Directas	Combustión de Fuentes Móviles (camiones, camionetas, tractores y grúas)	7.305	21%	3%	14%
	Combustión de Fuentes Fijas (Calderas, generadores y otras máquinas estacionarias)	7.328	21%	3%	
	Emisiones Fugitivas	7.124	20%	3%	
	Uso de Fertilizantes	2.811	8%	1%	
	Uso del suelo	10.499	30%	4%	
	Subtotal Alcance 1; HdC (A1)	35.067	100%		
A2: Alcance 2 Emisiones Indirectas	Electricidad	19.715	100%	8%	8%
	Subtotal Alcance 2, HdC (A2)	19.715	100%	8%	
A3: Alcance 3 Emisiones Indirectas	Insumos de embalaje	90.649	47%	37%	78%
	Viajes de negocios	1.349	1%	1%	
	Transporte de productos (exportación)	41.020	21%	17%	
	Transporte nacional de productos	2.624	1%	1%	
	Transporte de uva propia y de terceros	5.599	3%	2%	
	Insumos de enología	51.972	27%	21%	
	Subtotal Alcance 3; HdC (A3)	193.213	100%		
HdC Corporativa de la Viña =247995 (Ton CO <sub>2</sub> e) (CyT, 2013)					

Tabla 5: Magnitud de HdC de producto para el proceso productivo y para una botella de vino determinada con el estándar PAS2050. A=% de distribución de emisiones de HdC Pas2050 (Rodriguez et al, 2014); HdC(Pk)=Huella de carbono parcial del proceso (Ton CO<sub>2</sub> e); HdC producto=Huella de carbono Vino (β&β) en (kg CO<sub>2</sub> e/Botella)

Organizador PAS2050	A	HdC (Pk) Ton CO <sub>2</sub> eq	HdC Producto KgCo <sub>2</sub> eq/ Botella
P1: Extracción y Producción de Materias Primas	24,1%	59377,7	 1,23
P2: Producción o Provisión del Servicio	4,2%	10276,9	
P3: Distribución	67,1%	165572,5	
P4: Uso del Producto	0,0%	0,0	
P5: Disposición Final / Reciclaje.	4,6%	11418,8	
HdC total del proceso productivo = 246646 (Ton CO <sub>2</sub> e)			

Concluido este proceso de análisis de los costados izquierdo y derecho del AbaniCO<sub>2</sub>, un tomador de decisiones ya contaría con una magnitud de HdC en función de los objetivos organizacionales. Sin embargo, se puede apreciar las diferencias de magnitud registradas ratificando la dificultad de comparación entre ambos enfoques. A pesar de haber analizado los dos enfoques con mayor difusión se hace necesario estudiar una tercera vertiente metodológica identificada por los autores en el análisis de la literatura, que parece conveniente observar por separado

## EL ENFOQUE HIBRIDO UNA ALTERNATIVA EMERGENTE

Esta tercera vertiente metodológica ubicada en el centro del AbaniCO<sub>2</sub>, cuenta con muy pocos referentes, a pesar del potencial que los autores decodifican en el avance hacia economía sustentable. El Enfoque Híbrido para la determinación de la HdC hoy tiene como su principal exponente al Método Compuesto de las Cuentas Contables o MC3 el cual comienza a posicionarse entre otras opciones metodológicas (Doménech, et al, 2011).

Para el caso particular del Enfoque Híbrido y en lo específico del MC3 (Figura 6), se parte desde el mismo objetivo la determinación de la intensidad emisiva de CO<sub>2</sub> (paso 1), sin embargo, este ofrece la posibilidad de calcular simultáneamente ambas huellas de organización (Viña Modelo ( $\beta$ ) y producto el Vino ( $\beta\&\beta$ ), (paso 2). En el (paso 3) a juicio de los autores el "Insight" detrás de la metodología busca atender directamente los impactos en el entorno, por lo que ofrece una perspectiva de mayor compromiso con el establecimiento de una relación sustentable con el medio anfitrión, y no proteccionista como los otros enfoques, que gradúan los límites de responsabilidad respecto de los impactos atribuibles a las operaciones de la organización, tal como se discutiera en la sección anterior.

En este método el criterio de selección de emisiones (paso 4) corresponde al origen del recurso consumible, los que se organizan en Huellas en base a las categorías de impacto (paso 5), las cuales tienen su fundamento científico en la propuesta de la Huella Ecológica (Wackernagel y Rees, 1996). Los primeros 9 organizadores incrementan la magnitud de la HdC, H1: Huella de los Combustibles Emisiones Directas; H2: Huella Eléctrica Emisiones Indirectas; H3: Huella de los Materiales; H4: Huella de los Servicios y Contratos; H5: Huella Agrícola y Pesquera; H6: Huella Forestal; H7: Huella Hídrica; H8: Huella de Uso del Suelos; H9: Huella de los Residuos, Vertidos y Emisiones. Finalmente la reducción de emisiones por parte de los procesos productivos se registra a través de la H10: Contra Huella.

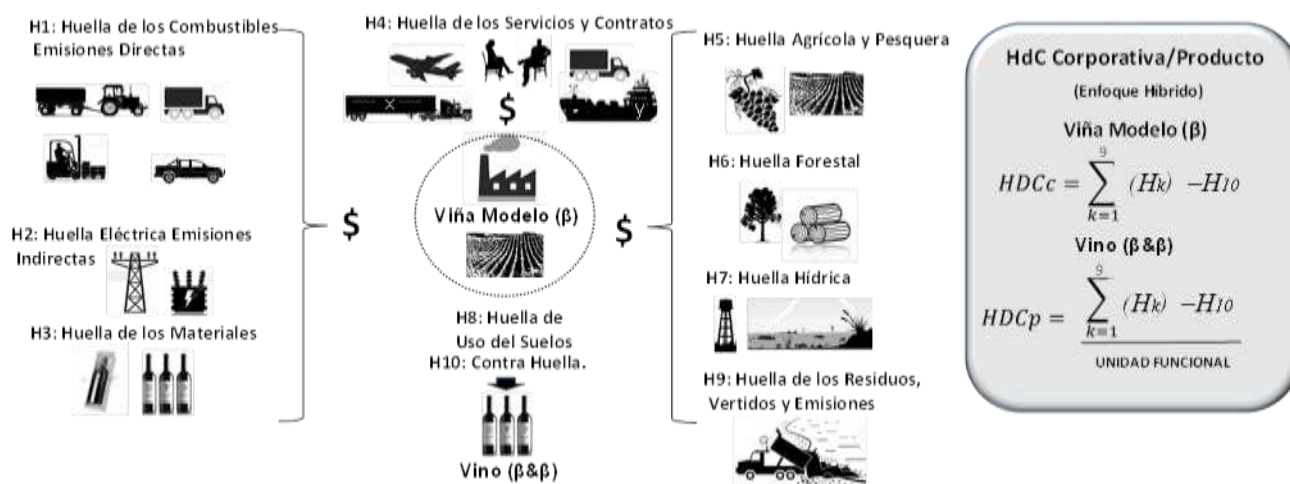


Fig. 5: Organización de emisiones para cálculo Corporativo/producto enfoque Híbrido MC3

Es en la determinación de la Magnitud de la HdC (paso 6) en donde este enfoque híbrido y específico del MC3 ofrece su mayor innovación al transformar unidades monetarias en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, a partir de la utilización de la información contable de la organización, ayudando así a localizar todas las fuentes de emisiones de GEI (Doménech, 2007). A diferencia de los procesos de determinación de emisiones revisados en los métodos anteriores, este proceso de transformación de emisiones se inicia con las unidades monetarias, estas son transformadas a unidades físicas, para luego pasar a unidades energéticas, a continuación obtener la magnitud de emisiones. Sin embargo, dado la utilización de los organizadores en base a las categorías de consumo, permite avanzar un paso más obteniendo la magnitud de la Huella Ecológica a partir de la aplicación del factor de absorción de emisiones de Wackernagel y Rees. Tal como se muestra en la figura 6.

Dado que no se cuenta con la posibilidad de desagregar las magnitudes disponibles de la HdC corporativa del ejemplo para la Viña Modelo de la tabla 4 (GHG Protocol), para graficar las reorganizaciones de emisiones en el enfoque híbrido se puede utilizar los valores disponibles en el estudio realizado por Peña y Serín (2015) para cálculos de la HdC del Vino ( $\mu$ ) (basados en MC3 y así establecer un marco de comparación de como se reagrupan las emisiones y de la magnitud obtenida de la HdC tanto para la corporación como para el producto. La tabla 6 resume los resultados de Peña y Serín (2015).

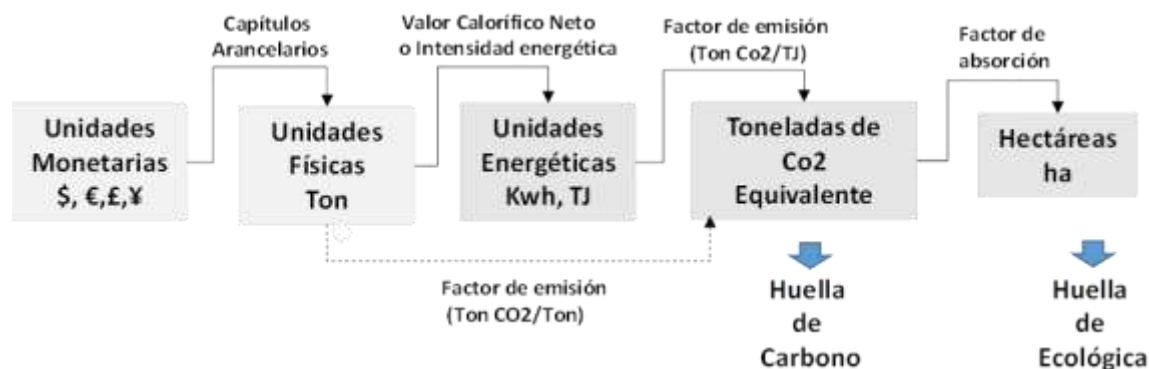


Fig. 6: Determinación de la magnitud de emisiones en MC3

Tabla 6: HdC en Ton CO<sub>2</sub> equivalente determinada con el MC3 (Peña y Serín 2015). A=% de Distribución de emisiones tipo de Huella MC3; Hk =Huella de carbono parcial por categoría de consumo (Ton CO<sub>2</sub> eq); HdC producto= Huella de carbono Vino ( $\mu$ ) (kg CO<sub>2</sub> eq/Botella) para una producción de 271 mil botellas

Organizador MC3	A	Hk Ton CO <sub>2</sub> eq	HdC producto kg CO <sub>2</sub> eq/Botella
H1: Huella de los Combustibles Emisiones Directas	7.9%	94.8	
H2: Huella Eléctrica Emisiones Indirectas	18.4%	220.4	
H3: Huella de los Materiales	23.3%	279.1	
H4: Huella de los Servicios y Contratos	1.4%	17.1	
H5: Huella Agrícola y Pesquera	2.0%	23.4	
H6: Huella Forestal	11.3%	135.1	
H7: Huella Hídrica	30.4%	364.1	
H8: Huella de Uso del Suelos	5.2%	62.6	
H9: Huella de los Residuos, Vertidos y Emisiones	0.1%	1.5	
HdC Corporativa Bruta de la Viña =		1198.1	
H10: Contra Huella.	-0.9%	-10.8	
HdC Corporativa Neta de la Viña =		1187,3 (Ton CO <sub>2</sub> e)	

De los tres enfoques descritos en el AbaniCO<sub>2</sub>, el enfoque híbrido y en particular su principal referente el Metodo Compuesto de las Cuentas Contables MC3, posee una serie de ventajas respecto de la reducción de las barreras para la adopción de la huella de carbono como una práctica de gestión en las empresas, condición que podría facilitar su difusión por todo el mundo. Entre estas características se pueden listar las siguientes:

- i) Es una metodología de cálculo que permite unificar los dos enfoques Top-down y Bottom-up permitiendo en un único esfuerzo obtener tanto la huella de la corporación como de producto, situación que para empresas especialmente de menor tamaño reduce significativamente la cantidad de recursos requeridos para su proceso de implementación.
- ii) Es una metodología sencilla y clara lo que facilita su comprensión reduciendo las barreras a la adopción
- iii) Considera un importante grado de transparencia dado que todos los factores de conversión que emplea están a la vista en la herramienta, la que a su vez se puede obtener gratuitamente
- iv) Es completa desde la lógica de la sustentabilidad dado que partiendo de cálculos simples se amplía con la totalidad de categorías de consumo conocidas (o fuentes de emisión)
- v) Es importante destacar que la innovación incorporada en el Paso 6 de este método podría constituir un importante "Caballo de Troya en el proceso de adopción metodológica de la HdC", en organizaciones que buscan argumentos costo/eficiencia para asumir obligaciones en una economía carbono reduccionista, al permitir establecer una clara relación entre el uso de recursos de la organización y su desempeño ambiental (ejemplo Ton CO<sub>2</sub> e/\$) basado además en simples adaptaciones de sus actuales sistemas de registro contable, financiero y operacional.

## CONCLUSIONES

Se concluye que una transición global hacia una economía sustentable requiere de resolver un problema básico, la asimetría de información entre el mundo científico, geopolítico y empresarial, como primer paso en el desarrollo de procesos de adopción de prácticas de gestión sustentable.

Las complejidades metodológicas y barreras para la adopción de la Huella de Carbono (HdC) en la gestión sustentable de empresas requieren de esfuerzos de sistematización y puesta en contexto de los avances científicos en un lenguaje de gestión tal como el AbaniCO<sub>2</sub>, que se propone.

AbaniCO<sub>2</sub> constituye un apoyo y consejo a las empresas para selección de metodologías de HdC ofreciendo información de utilidad para establecer una estrategia efectiva de reducción de emisiones

La metodología MC3 es un método simple y adaptable a distintos tamaños empresariales y de alto potencial para integrar la dimensión ecológica y económica en las pequeñas empresas, especialmente de países en vías de desarrollo, sobre todo por la natural sintonía que se lograría entre los objetivos de rentabilidad y los de sustentabilidad de la empresa.

La adopción de metodologías híbridas como la MC3 en el ámbito de la pequeña y mediana empresa ofrece un importante potencial de sumar a los profesionales de la contabilidad para que asuman un nuevo rol en el desarrollo sustentable.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el permanente apoyo de la Dirección de Investigación de la Universidad de La Serena, del Ministerio de Educación de Chile a través del Convenio de Desempeño Mineduc-ULS1401 sobre Eficiencia Energética y Sustentabilidad, y del Centro de Información Tecnológica (Chile) por apoyo computacional e información. CAE agradece a la Escuela de Gestión Europea (EGEU) de la Université Libre de l'Entreprise et des Technologies de Bruxelles-Bélgica (ULSETB).

## REFERENCIAS

Arias, L.; y Arruez, E., Estimación de la huella de carbono mediante metodología MC3 en el sector construcción (Memoria Título de Ingeniero Civil Industrial), La Serena: Departamento de Ingeniería Civil Industrial, Universidad de La Serena. (2011)

Burritt, R. L. y Tingey-Holyoak, J., Forging cleaner production: the importance of academic practitioner links for successful sustainability embedded carbon accounting. *Journal of Cleaner Production*, (36) 39-47 (2012)

Carballo, A., J.L. Doménech y M.C. García. "El ecoetiquetado en base a la huella ecológica y del carbono: una herramienta de marketing verde". *UAI Sustentabilidad*, 3(7), 1-2 (2009)

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible (LC/G.2624) Santiago, Chile, febrero. (2015)

CEPAL, Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina Documento de trabajo. (2013)

Chavez, A.; Ramaswami, A., Response to: Low-carbon cities, GHGs and 'footprints' Letter to the Editor. *Carbon Management*, 3(1), 19-20 (2012)

CMMC (Convención Marco sobre el Cambio Climático), Informe de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto sobre su octavo período de sesiones, Doha, (2012)

Concha y Toro, <http://www.conchaytoro.com/sustentabilidad/huella-de-carbono/> (2013)

Crossan, M.; Lane H.; White R., An Organizational Learning Framework: From Intuition to Institution *The Academy of Management Review*, (24), 3 522-537 (1999)

Cucek, L.; Kleme, J. J.; Kravan, Z., A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, Issue 34, 9-20 (2012)

Doménech, J.L. Huella ecológica y desarrollo sostenible. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR Ediciones, Madrid. (2007)



- Doménech, J. L., A. Carballo, L. Jiménez y J.L. De La Cruz. Estándares 2010 de Huella de Carbono MC3. Conama10 Congreso Nacional de Medio Ambiente, 11,2010. Anais. Madrid, España (2010)
- Doménech, J.L., La huella de carbono Concepto, utilidad y Aplicación. Grupo inter-universitario de Huella de carbono. (2011)
- Espíndola C.; y Valderrama J.O., Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Información Tecnológica, 23(1) 163-176 (2012a)
- Espíndola C.; y Valderrama J.O., Huella del carbono. Parte 2: la visión de las empresas, los cuestionamientos y el futuro. Información Tecnológica, 23(1) 177-192. (2012b)
- Frohmann, A.; Olmos X., Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático CEPAL, (2013)
- González, S.; Robledo, C., Cuantificación de la huella de carbono de refrigerantes en Minera Los Pelambres y análisis de sus medidas de reducción. (Memoria Título de Ingeniero Civil Mecánico). Universidad de La Serena. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica. (2013)
- Hepburn, C.; Stern N., A new global deal on climate change, Oxford Review of Economic Policy, vol. (24) 2. (2008)
- Hertwich, E. y G. P. Peters. Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis. Environmental Science & Technology, .43, 6414-6420 (2009)
- Hsieh, T. L, Quezada, R., Determinación de la huella de carbono para su adopción en empresas vitivinícolas: Caso Viña Falernia S. A. (Memoria Título de Ingeniero Civil Industrial). Universidad de La Serena. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. (2012)
- IPCC, Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 104 pp (2007)
- Kennedy, S.; Sgouridis, S., Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities. Energy Policy, (39) 5259–5268 (2011)
- Matthews, H. S., C.T. Hendrickson y C.L. Weber. The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. Environ. Sci. Technol. 42(16), 5839-5842 (2008)
- Minx, J.C., T. Wiedman y otros 14 autores. Input–Output analysis and carbon footprinting: an overview of applications. Economic Systems Research, 21(3), 187-216 (2010)
- Padgett, P., A. Stenemann, J. Clarke y M.A. Vanderbergh. A Comparison of Carbon Calculators, Environmental Impact Assessment Review, 28, 106-115. (2008)
- Peña, F.; Serín, L., Diseño de una estrategia de gestión del carbono Caso: Viña Dalbosco (Memoria Título de Ingeniero Civil Industrial). Universidad de La Serena. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. (2012)
- Peters, G. P., Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales. Current Opinion in Environmental Sustainability, Issue 2, 245–250. (2010)
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), The Emissions Gap Report 2013, Nairobi, (2013)
- Quezada, R.; Hsieh, T.; Valderrama, J.O. Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile. Inf. Tecnol. 24 (4) 3-14 (2013)
- Rauber, P., Carbon Confessional. How to come clean about your greenhouse gasses, revista Sierra, <http://www.sierraclub.org/sierra/200809/carbon.asp>. (2008)
- Rodríguez, R.A.; Martínez, A.B. y Udaquiola S. M., Gestión ambiental y empresarial: cálculo de la huella de carbono en la industria vitivinícola, Gestión y Ambiente, 17 (1) 159-172 (2014)
- Rojas, M., Cuantificación de la Huella De Carbono para el Proceso de Solarización Modificada de la Empresa Capel Ltda. (Memoria Título de Ingeniero Civil Industrial). La Serena: Departamento de Ingeniería Civil Industrial, Universidad de La Serena. (2011)

- Samaniego, J.; Galindo M., La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe Paradojas y desafíos, Naciones Unidas. (2014)
- Schaltegger, S.; Csutora, M., Carbon accounting for sustainability and management. Status quo and challenges. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 36, pp. 1-16 (2012)
- Schneider, H. y J.L. Samaniego. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, documentos de proyectos, N° 298, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2009)
- Stechemesser, K.; Guenther, E., Carbon accounting: a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, (36) 17-38 (2012)
- Stern, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, (2007)
- Tapia, C.; C. Olivares; I. Nuñez. Informe Final Línea base del conocimiento regional sobre las implicancias de la huella de carbono en los procesos de toma de decisiones, Comisión Permanente del Pacífico Sur CPPS y Centro de Estudios de Sistemas Sociales CESSO. (2013)
- Tornatzky, L.G.; Klein K.J.; Innovation Characteristics and Innovation Adoption-Implementation: A Meta-Analysis of Findings. *IEEE Transactions On Engineering Management*, (29) 1, (1982)
- Turner, D.; Williams, I. y otros cinco autores, Towards standardization in GHG quantification and reporting. *Carbon Management*, 3(3) 223–225 (2012)
- Valderrama, J.O., A. Espíndola y R. Quezada. Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Form. Univ.*, 4(3) 3-12 (2011)
- Vergara, W.; Rios, A.R. y otros cinco autores, *The Climate and Development Challenge for Latin America and the Caribbean: Options for Climate-Resilient, Low-Carbon Development*, ISBN 978-1-59782-165-0, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), (2013).
- Wackernagel, M., Rees, W.E., *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Press New Society Publishing, B.C. (1996)
- Weidema, B. P.; Thrane, M. y otros tres autores, Carbon Footprint A Catalyst for Life Cycle Assessment?. *Journal of Industrial Ecology*, (12) 1, 3-6 (2008)
- Wiedmann, T.; Minx, J., *A Definition of 'Carbon Footprint'*, Hauppauge NY, USA.: ISBN: 1-60021-941-1, Nova Science Publishers, (2007)
- Wright, L.; Kemp, S.; Williams, I., Carbon footprinting: towards a universal definition. *Carbon Management*, 2(1), 61–72 (2011)