



Original

Artículo español

Modelo de cálculo de la huella de carbono para el sistema Mexicano de alimentos equivalentes.

Carbon footprint calculation model for the Mexican food equivalent system.

Salvador Ruiz Cerrillo

Universidad del Valle de Atemajac, Campus León. México.

Resumen

Introducción: El impacto hacia el medio ambiente a través de la acción antropogénica ha contribuido a la producción acelerada de gases de efecto invernadero (GEI), una manera de estimar la cantidad de éstas sustancias es la huella de carbono (HdC), en la actualidad no existen modelos suficientes para el cálculo de la HdC en alimentos.

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue diseñar un modelo de cálculo para la estimación de la huella de carbono en el sistema mexicano de alimentos equivalentes.

Métodos: Se trató de un estudio retrospectivo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de artículos originales y de revisión en distintos buscadores especializados, se incluyeron publicaciones desde el año 2000 hasta el 2016 en el idioma inglés y español.

Resultados: Se propuso una tabla de referencia para el cálculo de la HdC en el sistema mexicano de alimentos equivalentes a través del indicador intensidad de carbono el cual se determina por los gramos de emisión equivalentes de Dióxido de carbono (CO₂) en relación al aporte energético de cada alimento equivalente.

Conclusión: A manera de conclusión el estimar la HdC en alimentos aún sigue siendo un reto, sin embargo es importante la propuesta de modelos de cálculo que permitan estimar la producción de GEI a través de un sistema alimentario más sustentable.

Palabras clave

huella de carbono; alimentos; Mexico; equivalentes; modelo; dióxido de carbono

Abstract

Introduction: the impact environment trough the anthropogenic action has been contributed to the fast production of greenhouse gases effect (GHG), a way to estimate the quantity of these substances is the carbon footprint (CF), nowadays it does not exist enough models for the calculation of food carbon footprint.

Objective: the aim of this study was to design a calculation model for the measurement of the carbon footprint on the Mexican food equivalent system.

Methods: it was about a retrospective study, a bibliographic review was made with original and review articles in different specialized researchers, there were included publications in English and Spanish, also published from 2000 to 2016.

Results: a reference table was proposed for the food carbon footprint calculation on the Mexican food equivalent system trough the carbon intensity indicator, which is determined by the grams of emissions equivalents of carbon dioxide (CO₂) in relation with the energetic contribution of each food equivalent.

Conclusion: in a conclusion manner, estimating food carbon footprint is still a challenge, mean while the calculation models proposal is important to estimate the production of GHG trough a more sustainable food system.

KEYWORDS

Carbon footprint; food; Mexico; equivalents; model; carbon dioxide

INTRODUCCIÓN

La humanidad desde sus orígenes ha tenido algún grado de influencia e impacto en el entorno natural, sin embargo, en los últimos 100 años dicha acción se ha transformado en un peligro global, pues los niveles de alteraciones y modificaciones del entorno para beneficio y comodidad de los seres humanos han incrementado de una manera

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: insalvadorruiz@hotmail.com (Salvador Ruiz Cerrillo).

Recibido el 7 de diciembre de 2016; aceptado el 15 de diciembre de 2016.



acelerada en el último siglo, dichas actividades antropogénicas han provocado efectos nocivos sobre el medio ambiente ubicando al hombre postmoderno en un contexto crítico de futura supervivencia¹.

Una de las consecuencias más graves de las acciones humanas en las últimas décadas, ha sido el calentamiento global, el cual se fortalece a través la intensificación del efecto invernadero debido a la producción humana de grandes cantidades de gases que potencializan su efecto, conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI)²

Los GEI de mayor impacto dentro de la actividad antropogénica son: dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (NO₃), y gases fluorados (hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, sulfuro hexafluorado, entre otros)³. Algunos de estos gases se producen directamente de la acción humana, sin embargo existen otros que se producen por combinación de las actividades con fuentes naturales.

Actualmente se han desarrollado varias metodologías y sistemas para cuantificar los GEI en distintos niveles de organización, tales como: individuos, organizaciones y unidades administrativas o territoriales⁴, una de las metodologías anteriormente mencionadas ha sido la huella de carbono (HdC), la cual según la OMS (2008) mide el impacto de sus actividades en la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) producida durante la combustión de hidrocarburos fósiles, y se expresa en toneladas equivalentes de emisión de CO₂ emitidas (Ton CO₂^e). Los expertos mundiales han propuesto un límite de aproximadamente 2 toneladas por persona y año para desacelerar el efecto del calentamiento global, sin embargo, la media de HdC actual en el mundo es de 4 toneladas por persona, con grandes variaciones entre los países.

Dentro de las propuestas de la OMS¹⁷ para la reducción de la HdC se han encontrado algunas relacionadas con la alimentación, tales como: la reducción en la ingesta de grasas saturadas, consumo excesivo de sal y azúcar, pues el impacto se ve reflejado en la disminución del riesgo de obesidad, enfermedades cardíacas, accidentes vasculares-cerebrales, diabetes, cáncer de colon y mama, entre otros; así mismo, la OMS propone reducir el consumo de productos animales (carnes y lácteos) limitándolos a 90 g/día/persona en países industrializados (OMS 2008), y finalmente se ha planteado un aumento en el consumo de productos de temporada locales y un sistema de reciclado de basura orgánica.

Es aquí en donde radica la importancia de la presente investigación, pues existen actualmente pocos modelos en la literatura que traten de estimar la HdC en los sistemas alimentarios de cada país, la justificación de este trabajo emana de la necesidad de un modelo de cálculo que permita estimar la cantidad de emisión de los GEI a través una herramienta dietética, y específicamente en aquellas empleadas para el cálculo de planes de alimentación en la población mexicana, ya que la necesidad de un sistema de alimentación sustentable radica en disminuir los factores antropogénicos envueltos en el fenómeno de la contaminación y el calentamiento global que se vinculan con el proceso alimentario.

El objetivo del presente artículo fue diseñar un modelo de cálculo para la estimación de la huella de carbono en el sistema mexicano de alimentos equivalentes. La pregunta de la presente investigación fue: ¿Cómo se puede estimar la huella de carbono de los grupos de alimentarios contenidos en el sistema mexicano de alimentos equivalentes?, de manera hipotética se puede crear un modelo de cálculo para estimar la HdC a partir de la propuesta del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) y cols⁵.

El artículo se organiza de la siguiente manera, primeramente se aborda el contexto actual del fenómeno del calentamiento global, posteriormente se introducen los conceptos propuestos hoy en día para la HdC; dentro del marco teórico, se presentan las metodologías y enfoques usados actualmente para la creación de herramientas de cálculo de la HdC; en un tercer momento se expone la metodología y plan de trabajo para el diseño del modelo de cálculo; en un cuarto apartado se presenta la discusión y las conclusiones obtenidas en la investigación.

Finalmente se espera que el presente trabajo permita generar una propuesta de herramienta para el cálculo dietético al estimar la HdC en los alimentos como parte de las estrategias de la OMS en la disminución de los GEI y en la contribución de la conciencia social y cultura ecológica de las futuras generaciones.

La huella de carbono

Existen actualmente varias propuestas para definir el concepto de huella de carbono (HdC) sin embargo aún no existe alguna que sea demasiado clara⁶, para efectos del presente artículo emplearemos el concepto de Pandey⁷ y Wiedmann⁸ los cuales definen a la huella de carbono como la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, así mismo, éste indicador es considerado como uno de los mejores para determinar la emisión de dichos gases.

La importancia de cuantificar y estimar la producción de los GEI radica en disminuir su efecto sobre la atmósfera terrestre, ya que éstos impiden que la radiación solar pueda salir de la Tierra provocando que la temperatura aumente⁹. Existen otros intereses de naturaleza política que enfocan sus recursos hacia la creación de modelos de estimación y cálculo de la HdC¹⁰, esto es motivado fundamentalmente por la preocupación de estos países por las posibles pérdidas de competitividad de sus productores, quienes estarían compitiendo con otros exportadores con costos de emisión menores que aquellos que no han asumido obligaciones climáticas¹¹.

Métodos para la cuantificación de la huella de carbono (HdC)

Desde los años setenta han existido marcos metodológicos para la estimación del cálculo de los GEI⁹. Según Carballo¹², debido a las diferencias existentes en la definición de la HdC, las metodologías de cuantificación de los GEI han sido variantes los últimos años. Las diferentes concepciones de la HdC han llevado al desarrollo de metodologías de

cálculo muy diferentes, situación que genera una excesiva controversia frente a un índice de bastante popularidad política.

En el caso de una HdC, debe incluir todas las emisiones de gases de efecto invernadero que se pueden asociar directa e indirectamente con una actividad, y por lo tanto el análisis debe abarcar todo el ciclo de vida de un producto o servicio, desde las materias primas e insumos hasta el producto o servicio final¹⁷. Metodológicamente, esta perspectiva cíclica ha abordado desde dos direcciones: enfoque de arriba hacia abajo o enfoque corporativo (*top-down*) y enfoque de abajo hacia arriba o enfoque de producto (*bottom-up*)⁹. La características de análisis en cada enfoque son presentadas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis de los enfoques bottom-up y top-down para el diseño metodológico del cálculo de la HdC.	
Análisis Bottom-Up	Análisis Top-Down
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1. Análisis de productos • Nivel 2. Análisis de empresa <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 3. Análisis sectorial • Nivel 4. Macroeconomía (nacional) • Nivel 5. Macroeconomía (mundial) • Nivel 6. Decisión de compra o venta 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1. Macroeconomía (mundial) • Nivel 2. Macroeconomía (nacional) <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 3. Análisis Sectorial • Nivel 4. Análisis de empresa <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 5. Valor intrínseco

Fuente: Adaptación propia de Espíndola⁹

El enfoque *top-down* parte desde una visión organizacional, para la obtención de una o más magnitudes específicas de la HdC¹³, por el otro lado las metodologías correspondientes a la perspectiva *bottom-up* realiza un análisis específico de la magnitud particular de unidades parciales que constituyen a una organización, evento o proceso, para lo que se le van añadiendo varias magnitudes hasta integrar una magnitud de carácter global¹⁴.

La mejor opción metodológica para la determinación de un valor más real de la HdC parece ser una combinación de ambos enfoques Top-down y Bottom-up⁹. Matthews et al¹⁵ proponen determinar la HdC a través de una combinación de ambos métodos. En la actualidad existen 4 métodos principales para el cálculo: Protocolo de GEI (GEI protocol), Balance de Carbono (Bilan Carbone), Especificaciones públicamente disponibles¹⁶.

Protocolo de gases efecto invernadero (GEI)

Implementado en el 2001 por el Consejo Mundial de Negocios por el Desarrollo Sustentable^{17,13} y por el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, WRI). El protocolo de GEI es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (software) de cálculo de emisiones de GEI. El protocolo GEI ha logrado un alto nivel de reconocimiento a escala mundial y aparece como la principal referencia, junto con los estándares ISO 14064.

Balance de Carbono

La metodología y a la vez herramienta Balance de Carbono, conocida internacionalmente como *Bilan Carbone*, fue desarrollada por la Agencia del Medio Ambiente y Energía de Francia, ADEME, en el año 2002¹⁸. El método considera la contabilización de emisiones directas e indirectas de los GEI, relacionadas con las actividades industriales, empresariales, y de otras asociaciones y entidades administrativas⁶. Permite clasificar las emisiones según fuente, siendo la base de la herramienta, una planilla Excel que calcula las emisiones asociadas a cada actividad de un proceso¹⁹.

El *Bilan Carbone* se caracteriza por una visión general muy completa, por lo que, a través de sus distintos módulos, permite trabajar a nivel de empresas y eventos, pero también de territorios y productos⁹,

Especificaciones públicamente disponibles (PAS 2050)

El método de las Especificaciones Públicamente Disponibles (*Publicly Available Specification*), llamado PAS 2050, fue elaborado en el año 2007 por el Instituto Británico de Estandarización²⁰, con el apoyo del Consorcio del Carbono (Carbon Trust) y el Depto. para el Ambiente, la Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA), ambos organismos del gobierno inglés. La metodología PAS 2050 define inicialmente las fuentes de emisiones consideradas, además de seis grandes bloques de actividades, cuyas emisiones deben ser consideradas en la estimación del ciclo de vida de bienes y servicios.

Con la enumeración de las fuentes de emisiones consideradas, realiza una acotación general del ámbito al que se aplica el indicador. Los gases considerados en el cálculo de la HdC y sus efectos potenciales en el calentamiento global son muy variados. El potencial del CO₂ es definido como 1.0 y los valores de los otros gases son referidos a este valor de referencia. El potencial de contribución al calentamiento global (Global Warming Potential, GWP) es una medida útil para comparar los efectos reales de las emisiones de cada gas.

Método compuesto de las cuentas contables

El Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3)⁵ ha sido desarrollado por Doménech et al²¹. 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.

Comparado con las otras metodologías, esta propuesta tiene algunas ventajas: 1) presenta un *enfoque a la organización*, lo cual permite el *ecoetiquetado* de la institución y de sus productos o servicios con la misma metodología;

2) permite expresar el indicador tanto en toneladas de CO₂ (huella de carbono) como en hectáreas de terreno bioproductivo (huella ecológica); 3) permite extraer los datos de entrada de las cuentas contables, lo cual permite a su vez, incorporar todas las fuentes posibles de emisión de carbono, permitiendo así la comparabilidad; 4) finalmente, el ciclo de vida previo se incorpora con los productos o consumos de entrada, con lo cual no es necesaria la colaboración directa de clientes o proveedores; la información fluye automáticamente a lo largo de la cadena de suministro⁹.

Método de la FAO para el cálculo de la HdC en alimentos

La FAO establece que para determinar la HdC de productos alimentarios, es necesario determinar el total de GEI que el producto emite al considerar su *ciclo de vida*, expresado en unidades equivalentes de emisión de CO₂ (toneladas, kilogramos, gramos). Dentro de los GEI considerados se deben incluir aquellos producidos en la fase agrícola, tales como el metano (CH₄) y el monóxido de dinitrógeno (N₂O), sin embargo otras emisiones como aquellos provenientes al cambio del uso del suelo no son tomadas en cuenta en la metodología.

Según el marco metodológico anterior la mayor contribución de hacia la HdC y el desperdicio de alimentos son: cereales (34%), carne (21 %) y vegetales (21%); los productos de origen animal en su conjunto conforman un 33 % aproximadamente de la HdC, sin embargo su desperdicio de alimentos es del 15%. El servicio de investigación económica de los Estados Unidos de Norteamérica²² propuso una tabla de referencia para la estimación de la huella de carbono tomando como unidad un indicador denominado intensidad de carbono en cual se expresa en gramos equivalentes de emisión de CO₂ por Kilocaloría en distintos grupos de alimentos, ajustando los valores a la tasa de desperdicio de los mismos en población norteamericana²³.

Es importante mencionar que la propuesta de la FAO se basa en los datos obtenidos por la USDA/LCA²⁴, por lo cual se adapta a las características de un consumidor norteamericano, a pesar, de éstas condiciones se pudieron obtener datos precisos de los patrones alimentarios en éste tipo de culturas.

Los indicadores propuestos consideran dos dimensiones importantes: la huella de carbono y el desperdicio de alimentos, que conlleva otro tipos de acciones e implicaciones que sin embargo no fueron consideradas en la metodología de la FAO para la determinación de la *intensidad del carbono*.

Metodología

Se trata de un estudio de tipo retrospectivo con paradigma cuantitativo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica en buscadores especializados tales como: PubMed, EBSCO, Google scholar, Redalyc y Scielo se utilizaron herramientas de búsqueda avanzada y filtros. Las palabras de búsqueda empleadas fueron: huella de carbono; *carbon footprint*; huella de carbono en alimentos; *food carbon footprint*; huella de carbono en México; *Mexican carbon footprint*. Se establecieron como criterios de inclusión los siguientes: contribuciones publicadas desde el año 2000 hasta el 2016, artículos de revisión y originales publicados en México y E.U.A, además de contribuciones en el idioma Inglés y Español.

Se encontraron un total de 770 publicaciones en el buscador PubMed, las cuales al aplicar los criterios de inclusión quedaron en 3, en el caso de Redalyc se obtuvieron 50,353 publicaciones, pero al aplicar los criterios de inclusión sólo quedaron 11 publicaciones, en el caso del buscador SCIELO se encontraron 32 documentos y al aplicar filtros, sólo quedaron 2; para Google Scholar se encontraron 6,720 resultados, al aplicar los filtros de búsqueda avanzada se contaron con 23 publicaciones. Por lo tanto, en total se analizaron de manera rigurosa 39 artículos y finalmente fueron 5 publicaciones seleccionadas.

Las publicaciones elegidas tuvieron contenido específico acerca de los metodologías del cálculo de la huella de carbono de manera directa o indirecta en sistemas de producción, nivel individual, procesos y productos. Posterior a la revisión de la literatura se determinó que el modelo de estimación más pertinente para el cálculo de huella de carbono fue a través de un enfoque *bottom-up* mediante el método de protocolo de gases invernadero (GEI), para lo que se empleó en indicador de intensidad de carbono, obtenido de la relación entre la medición indirecta de la HdC y el desperdicio de alimentos propuesto por la USDA, ver tabla 1.

Grupo de alimentos	g CO ₂ /Kcal [*]
Bebidas	2.2
Colaciones, snacks, azúcar	0.6
Aceites, pastas, masas	0.8
Fruta	4.6
Verduras	2.8
Cereales, panes (cocinados)	1.3
Productos lácteos	4.5
Pollo, pescado, cerdo	3.8
Res, cordero	14.1
Bebidas alcohólicas	1 cerveza o 40 ml de alcohol destilado / 113 g CO ₂

* las cantidades expresadas en la tabla son en gramos de alimento consumido, el valor de emisiones de CO₂ incluyen el total de producciones para la provisión de cada caloría consumida. Las emisiones no incluyen transporte personal, estancia en el hogar, cocción de alimentos o emisiones por uso del suelo y están basadas en características estándar de un consumidor norteamericano.

Plan de trabajo

Primeramente y una vez obtenidos los índices de emisión de equivalentes de CO₂ por cada grupo de alimentos se hizo una homogenización con los grupos y subgrupos propuestos en el sistema mexicano de alimentos equivalentes, los cuales quedaron tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Homologación de los grupos de alimentos entre la propuesta de la USDA's Economic Research Service y el sistema Mexicano de alimentos equivalentes.

Propuesta de grupos alimentarios de la USDA		Sistema Mexicano de alimentos equivalentes	
Grupo	Subgrupos o tipos de alimentos	Grupo	Subgrupos
Bebidas	N/D	Azúcares	Azúcares sin grasa Leche con azúcar
Colaciones, snacks, azúcar	Azúcar de mesa, endulzantes.	Azúcares	Azúcares sin grasa Azúcares con grasa
Aceites, pastas, masas	Masas para pan, pasteles, galletas.	Cereales y tubérculos Aceites y grasas	Cereales y tubérculos sin grasa Aceites y grasas con o sin proteína
Fruta	N/D	Frutas	N/D
Verduras	N/D	Verduras Leguminosas	
Cereales, panes (cocinados)	Productos de panificación industrializada	Cereales y tubérculos	Cereales y tubérculos con grasa
Productos lácteos	N/D	Leche	Leche entera Leche semidescremada Leche descremada
Pollo, pescado, cerdo	N/D	Alimentos de origen animal (AOA)	AOA con muy bajo aporte de grasa AOA con bajo aporte de grasa AOA con moderado aporte de grasa AOA con alto aporte de grasa
Res, cordero	N/D		
Bebidas alcohólicas		Alcohol*	N/D

*Se considera como equivalente o ración estándar de alcohol una cerveza de tamaño comercial (355 ml) o 40 ml de alcohol²⁵

Se trató de hacer una homologación de los grupos alimentarios, basados en criterios como el aporte nutrimental principal, forma de producción (sistemas y procesos), es importante mencionar que se trató de uniformar el grupo de bebidas alcohólicas con base a los análisis más actuales sobre el cálculo de huella de carbono en alimentos.

Resultados

Con base a los artículos obtenidos y la uniformidad de los sistemas alimentarios propuestos, se diseñó la tabla 3 para la determinación cuantitativa de la HdC en la cuarta edición del sistema mexicano de alimentos equivalentes, los cálculos fueron basados en el aporte energético de cada grupo y subgrupo a excepción del grupo de bebidas alcohólicas, en el que se empleó una equivalencia basada en el volumen promedio de una cerveza comercial en México y a la ingesta de 40 ml de alcohol destilado (whiskey, vodka, ron, tequila). Un equivalente o alimento equivalente se define como aquella porción (o ración) de alimento cuyo aporte nutrimental es similar a los de su mismo grupo en calidad y cantidad; lo que permite que puedan ser intercambiables entre sí²⁶.

Tabla 3. Tabla de referencia propuesta para la el cálculo de la HdC en los grupos de alimentos del sistema Mexicano de equivalentes (SMAE, 4ta Edición)

Grupo en el sistema de equivalentes	Sub-grupos	g CO2e /Kcal	Energía (kcal)
Verduras		70	25
Frutas		276	60
Cereales y tubérculos	a. Sin grasa	56	70
	b. Con grasa	149.5	115
Leguminosas		336	120
Alimentos de origen animal (AOA)	a. Muy bajo aporte de grasa	152	40
	b. Bajo aporte de grasa	209	55
	c. Moderado aporte de grasa	285	75
	d. Alto aporte de grasa	1410	100
Leche	a. descremada	427.5	95
	b. semidescremada	495	110
	c. entera	675	150
	d. con azúcar	440	200
Aceites y grasas	a. sin proteína	36	45
	b. con proteína	56	70
Azúcares	a. sin grasa	24	40
	b. con grasa	51	85
Bebidas alcohólicas		113	1 lata de cerveza 355 ml o 40 ml de alcohol destilado

Los gramos equivalentes de emisiones de CO₂ se obtuvieron al multiplicar la energía promedio que aporta en promedio un alimento equivalente de cada grupo o subgrupo por el indicador de la intensidad de carbono propuesta por la USDA, de ésta manera se obtuvieron valores de estimación para grupo y subgrupo. Debido a que las condiciones de del sistema alimentario norteamericano tienen similitudes a la del mexicano se aplicaron criterios de transferencia para dicho contexto.

El grupo de alimentos que aporta una mayor cantidad de gramos equivalentes de CO₂ fue el grupo de AOA con alto aporte de grasa (1410 g CO₂^{eq}/ración), leche entera (675 g CO₂^{eq}/ración), cereales y tubérculos con grasa (149.5 g CO₂^{eq}/ración) y leguminosas (336 g CO₂^{eq}/ración). Los valores expresados en la tabla parten de una estandarización en cuanto al transporte, estancia en el hogar, uso de combustibles fósiles de un ciudadano que produce una HdC anual de 4 toneladas de emisiones equivalentes de CO₂ (Ton CO₂^{eq}). Según las últimas cifras de la FAO²¹, México produce actualmente 3.9 Ton CO₂^{eq} por lo que los contextos de producción de emisión de GEI son similares a las de un adulto que vive en los Estados Unidos de Norteamérica.

Las emisiones de CO₂ pueden ser variables en cuanto al estilo de vida del usuario, sus procesos culturales y sociales, sin embargo se realizó un esfuerzo por tratar de unificar la cuantificación del indicador intensidad de carbono, el cual a su vez considera otros aspectos de impacto ambiental, tales como el desperdicio de alimentos, el cual también puede estar influenciado por la cultura ecológica de cada individuo. Las emisiones de dióxido de carbono para el tipo de transporte, el hospedaje y el uso del suelo para el cultivo no fueron considerados dentro del modelo, ya que ésta situación puede ser muy variable en México.

El grupo de alimentos que aporta una mayor cantidad de gramos equivalentes de CO₂ fue el grupo de AOA con alto aporte de grasa (1410 g CO₂^{eq}/ración), leche entera (675 g CO₂^{eq}/ración), cereales y tubérculos con grasa (149.5 g CO₂^{eq}/ración) y leguminosas (336 g CO₂^{eq}/ración). Los valores expresados en la tabla parten de una estandarización en cuanto al transporte, estancia en el hogar, uso de combustibles fósiles de un ciudadano que produce una HdC anual de 4 toneladas de emisiones equivalentes de CO₂ (Ton CO₂^{eq}). Según las últimas cifras de la FAO²⁷, México produce actualmente 3.9 Ton CO₂^{eq} por lo que los contextos de producción de emisión de GEI son similares a las de un adulto que vive en los Estados Unidos de Norteamérica.

El único grupo de alimentos que no se incluyó dentro de la tabla de referencia fueron los alimentos libres de energía, ya que su amplia heterogeneidad en composición nutrimental, producción, almacén y transporte no permitieron establecer un rango claro y preciso de la producción de sus GEI, sin embargo se espera que en un futuro se pueda unificar un sistema para la estimación de la HdC de éste grupo de alimentos.

Discusión

De una manera general se puede afirmar que se logró el objetivo general, puesto que se diseñó un modelo de cálculo con referencia a la cuarta edición del sistema mexicano de alimentos equivalentes, en cuanto al supuesto hipotético, la investigación pudo ser realizado con diversos aportes de cálculos y estimaciones de la HdC de diversas instituciones y organizaciones, por lo que el supuesto no se cumplió de una manera integral.

Uno de los retos y obstáculos para la investigación fue la búsqueda de la literatura, pues inclusive desde la perspectiva de varios autores como Espíndola⁹, concuerdan en que la existencia actual de modelos de cálculo y estimación para la HdC son pocos hasta el momento, aunado a lo anterior, los esquemas para la cuantificación en alimentos fueron aún más escasos, generando una base teórica débil en cuánto a éste rubro, por el contrario éste evento le sumo mayor importancia al trabajo de investigación, pues permitió abonar al actual estado del conocimiento.

Como parte de las recomendaciones se encontró lo siguiente: es necesario aplicar la herramienta generada en ésta investigación dentro de la práctica y enseñanza de la Dietética, pues así se podrán obtener evidencias empíricas más asertivas y precisas del producto investigativo final; otro aspecto que se debe considerar en futuras investigaciones es la inclusión de otros GEI, y no sólo el dióxido de carbono, ya que tal vez al complementar las emisiones con éste tipo de sustancias se podrá obtener una HdC más significativa y medible.

Se piensa que la utilidad y practicidad de la herramienta generada en éste artículo podrá servir como parte de los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Dietética, principalmente al concientizar a los Nutriólogos hacia el diseño de planes de alimentación que no solamente cubran con los principios de la Ley de la alimentación, sino también con el enfoque actual de la sustentabilidad, determinando prescripciones dietarias más sustentables para la sociedad y las futuras generaciones, sin embargo es necesario validar de una manera más rigurosa su utilidad en la práctica nutricional.

Conclusión

A pesar de la poca cantidad de modelos, herramientas y técnicas para estimar la HdC en los sistemas alimentarios, se ha podido estimar de una manera general el impacto de los procesos incluidos en la producción, transporte, digestión y desecho de productos comestibles. Como conclusión para la presente investigación el estimar la HdC en alimentos aún sigue siendo un reto, sin embargo es importante la propuesta de modelos de cálculo que permitan estimar la producción de GEI a través de un sistema alimentario más sustentable.

Referencias

1. Pontificia Universidad de Chile, (2013). Reporte de huella de carbono 2013. Chile Recuperado de: <http://sustentable.uc.cl/wp-content/uploads/2014/09/Reporte-Huella-de-Carbono-2013.pdf>
2. Caballero, M., Lozano, S., Ortega, B., (2007). Efecto Invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*. 8(10). pp.2-11.
3. United nations (1992). United Nations framework convention on climate change. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
4. Padgett, P., A. Stenemann, J. Clarke y M.A. Vanderbergh (2008). A Comparison of Carbon Calculators, *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 106-115
5. Wilson, L. (s.f). The carbon footprint of 5 diets compared. Shrink that footprint. Recuperado de <http://shrinkthatfootprint.com/food-carbon-footprint-diet/comment-page-1>.
6. Wiedmann, T. y J. Minx (2008). A Definition of Carbon Footprint In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*, 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.
7. Pandey, D. M. Agrawal y J. Pandey (2010) Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1-4), 135-160.
8. Wiedmann T. (2009) Carbon Footprint and Input-Output Analysis - An Introduction, *Economic Systems Research*, 21, pp.175-186
9. Espíndola, C. y Valderrama, J. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información Tecnológica*. 23(1). pp.163-176
10. Hertwich, E. y G. P. Peters (2009). Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis. *Environmental Science & Technology*, 43, 6414-6420
11. De La Torre, A., P. Fajnzylber y J. Nash (2009). Desarrollo con menos carbono: respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático. Banco Central, Washington D.C., USA.
12. 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).
13. Minx, J.C., G.P. Peters, T. Wiedmann y J. Barrett (2008) GHG Emissions in the Global Supply Chain of Food Products. The 2008 International Input-Output Meeting on Managing the Environment (IOMME), Seville, Spain, July 9-11.
14. Wiedmann T. (2009) Carbon Footprint and Input-Output Analysis - An Introduction, *Economic Systems Research*, 21, pp.175-186
15. Matthews, H. S., C.T. Hendrickson y C.L. Weber (2008). The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. *Environ. Sci. Technol.* 42(16), 5839-5842.
16. British Standards Institute (BSI) (2010). PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse emissions of goods and services. Recuperado de: <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050>.
17. World Business Council for Sustainable Development, WBCSD (2004). Greenhouse gas protocol. Recuperado de: <http://www.ghgprotocol.org/>
18. Ademe (l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) (2010). Bilan Carbone, Entreprises et Collectivités. Guide méthodologique, version 6.1, objectifs et principes de comptabilisation. Recuperado de http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/110912_Art75_Guide_specifique_pour_les_collectivites_vfinale.pdf
19. Jancovici J. M (2003). Un outil pour connaître les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise ou administration : le "bilan carbone" de l'ADEME, 2003. Recuperado de: http://www.manicore.com/missions/bilan_carbone.html.
20. Instituto Británico de Estandarización, British Standards Institute (BSI) (2008). PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse emissions of goods and services. Recuperado de: <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050>.
21. Doménech, J (2004). Huella ecológica portuaria y desarrollo sostenible. *Puertos*, 114, 26-31.
22. United States Department of Agriculture Economic Research Service (USDA) (2013). Agriculture and climate change. Recuperado de: <https://www.ers.usda.gov/topics/natural-resources-environment/climate-change/agriculture-and-climate-change/>
23. Wilson, L. (s.f). The carbon footprint of 5 diets compared. Shrink that footprint. Recuperado de <http://shrinkthatfootprint.com/food-carbon-footprint-diet/comment-page-1>
24. USDA/LCA, United States Department of Agriculture Economic Research Service (2013). Agriculture and climate change. Recuperado de: <https://www.ers.usda.gov/topics/natural-resources-environment/climate-change/agriculture-and-climate-change/>
25. Fat Tire Amber Ale (2016). The carbon footprint. Recuperado de: <http://www.newbelgium.com/Files/the-carbon-footprint-of-fat-tire-amber-ale-2008-public-dist-rfs.pdf>
26. Pérez, A., Laborde, L., Palacios, B. (1988). Sistema Mexicano de alimentos equivalentes. 1ª Edición. Ed. Fomento de Nutrición y Salud. México.
27. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013). Food wastage footprint: impacts on natural resources, summary report. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>