

# Estiación de la Huella de Carbono del proceso de panificación en la cadena agroindustrial del trigo

SIROTIUK, P.V.<sup>1</sup>; VIGLIZZO, E.F.<sup>2</sup>

## RESUMEN

Las cadenas alimentarias son responsables, en todo el mundo, de una gran parte de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. La Huella de Carbono (HC) representa un indicador que pretende cuantificar la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero -expresada en equivalentes de dióxido de carbono- causadas directa o indirectamente por una actividad o las acumuladas durante la vida o etapas de un producto. El objetivo del presente trabajo fue estimar la HC del proceso de panificación incluyendo las etapas de producción primaria, molienda, panificación, consumo y los transportes del trigo y de la harina y, además, comparar la HC del pan producido en Argentina con respecto al producido en Brasil y China, en función de las matrices energéticas de cada país. Para el cálculo de la HC, se relacionó el consumo energético promedio por unidad funcional de cada etapa, con su factor de emisión unitario de gases de efecto invernadero, expresado en Kg eq-CO<sub>2</sub>. El valor de la HC de 1 Kg de pan, varió entre 0.502 y 1.323 Kg eq-CO<sub>2</sub>. Las etapas de mayor contribución fueron consumo, panificación y producción primaria. Teniendo en cuenta, las matrices de generación eléctrica de Argentina, Brasil y China, se observó que la HC del pan producido en Argentina, fue mayor en 0.42 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> con respecto al pan producido en Brasil, pero menor en 0.62 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> al producido en China. Lo anterior, determina que uno de los principales responsables del tamaño de la HC de los productos es la matriz energética de cada país. Conociendo el valor de la HC del pan de trigo, el consumidor puede decidir qué producto comprar y cómo consumirlo, y los actores involucrados en la cadena de panificación, pueden optimizar el proceso productivo.

**Palabras claves:** Huella de Carbono, consumo energético, gases de efecto invernadero, pan de trigo.

## ABSTRACT

*Food chains are responsible, in the world, of a large part of the total emissions of greenhouse gases. The carbon footprint (CF) represents an indicator that attempts to quantify the total amount of greenhouse gas emissions - expressed in carbon dioxide equivalent - caused directly or indirectly, by an activity or the accumulated during life or stages of a product. The objective of the present work was to estimate the CF of the baking process, including the stages of primary production, milling, baking, consumption and the corresponding transport of wheat and flour and in addition, compare the CF of the bread produced in Argentina with respect to that produced in Brazil and China, according to the energy matrices of each country. For the calculation of the CF, related the average energy consumption per functional unit of each stage, with their emission factor unit of*

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam, Uruguay 151, 6300 Santa Rosa, La Pampa.

Correo electrónico: vale\_sirotiuk@yahoo.com.ar

<sup>2</sup>INTA EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", Anguil, La Pampa. Correo electrónico: eviglizzo@anguil.inta.gov.ar

greenhouse gases, expressed in Kg eq-CO<sub>2</sub>. The value of CF of 1 kg of bread, it has varied between 0.502 and 1.323 Kg eq-CO<sub>2</sub>. The more advanced stages of contribution were consumption, baking and primary production. Taking into account, the matrices of power generation from Argentina, Brazil and China, it was observed that the CF of the bread produced in Argentina, was higher at 0.42 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg of bread<sup>-1</sup> with respect to the bread produced in Brazil, but lower in 0.62 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg of bread<sup>-1</sup> that produced in China. The foregoing, determines that one of the main responsible of the size of the CF of the products, it is the energy matrix of each country. Knowing the value of the CF of the wheat bread, the consumer can decide which product buy and how consuming it and the actors involved in the bakery chain, optimize the productive process.

**Keywords:** Carbon Footprint, energy consumption, greenhouse gases, wheat bread.

## INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático, ha impulsado a organizaciones e instituciones, a profundizar su conocimiento respecto de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su dinámica (Schneider y Samaniego, 2010). El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma que “la mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura, desde mediados del siglo XX, se debe muy probablemente, al aumento de las concentraciones de GEI antropógenos”. Las emisiones mundiales de esos gases por efecto de actividades humanas han aumentado un 70% entre 1970 y 2004, siendo la generación de energía la principal actividad emisora. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el GEI antropógeno más importante, sus emisiones anuales aumentaron un 80% entre 1970 y 2004 debido, principalmente, a la utilización de combustibles de origen fósil (IPCC, 2007).

La matriz energética mundial está organizada alrededor de los combustibles fósiles (Agency Energy International, 2010), no obstante, cada país posee su propia matriz. En la Argentina, la matriz de generación eléctrica para el 2009 mostró una fuerte dominancia del gas natural como fuente de energía (Cárdenas, 2011). Mientras que, en Brasil, fue la utilización de energía hidroeléctrica (de Castro *et al.*, 2009) y en China, fue el carbón (Crompton y Wu, 2010). Lo anterior determina que el factor de emisión de GEI por unidad de energía eléctrica producida, varíe de un país a otro (Certificación Internacional de Sustentabilidad y Carbono 205, 2011 y EIA, 2010). Asimismo, cada empresa determina la participación de las diversas fuentes energéticas en el proceso productivo, generando así, diferencias en las emisiones de GEI por unidad de energía utilizada.

En este contexto, la Huella de Carbono (HC) representa un indicador que pretende cuantificar la cantidad total de emisiones de GEI -expresada en equivalentes de dióxido de carbono- causadas directa o indirectamente por una actividad o las acumuladas durante la vida o etapas de un producto (Wiedmann y Minx, 2008). Las cadenas alimentarias son responsables, en todo el mundo, de una gran parte de las emisiones totales de GEI (Sonesson *et al.*, 2010). En consecuencia,

al aplicar la HC a la producción de alimentos, se consideran todas las emisiones que generan las actividades involucradas en el ciclo de vida del producto (Papendieck, 2010).

Conocer el valor de la HC de los productos agroindustriales presenta un objetivo doble en el plano de la mitigación del cambio climático. En primera instancia, se configura como un indicador de desempeño en términos de eco-eficiencia y en segunda instancia, permite a los consumidores decidir qué alimentos comprar en base a la contaminación generada como resultado de los procesos por los que ha pasado. La etiqueta ayudará a los consumidores a ser conscientes del grado con el que contribuyen al calentamiento del planeta con sus compras diarias (Papendieck, 2010). En consecuencia, la “eco-etiqueta”, es un instrumento de comunicación directa entre el productor y el consumidor susceptible de comparación (Idígoras y Martínez, 2011).

La implementación del etiquetado de HC en agroalimentos es una realidad que ya cuenta con definiciones metodológicas y aceptación en las principales cadenas de comercialización, como también de los consumidores. Para mantener el acceso a estos mercados, la adecuación crítica y la definición metodológica propia de Argentina, es una exigencia presente para evitar efectos negativos (Papendieck, 2010). En países del Cono Sur, existe una notoria escasez de trabajos científicos y técnicos que se ocupen de unificar metodologías para estimar la HC. Pero subyace una preocupación generalizada acerca del problema y un reconocimiento de la necesidad de comenzar a abordarlo sin demoras (Viglizzo, 2010). Por su importancia en el comercio internacional de la región, las cadenas de la soja, el trigo y la carne bovina, parecen ser las que demandan un abordaje inicial más meticuloso (Viglizzo, 2010). En este trabajo, se consideró la cadena agroalimentaria del trigo, particularmente la trayectoria de panificación. El objetivo general del presente trabajo fue estimar la HC del proceso de panificación, incluyendo la producción primaria, molienda, panificación y consumo, incluyendo los transportes del trigo y de la harina. El objetivo específico fue comparar la HC del pan producido en Argentina con el producido en China y Brasil, los cuales presentan matrices energéticas muy contrastantes, para determinar la influencia de la matriz en la magnitud de la HC de los productos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Límites del sistema

El primer paso a seguir para estimar la HC de un producto es definir los límites del sistema para determinar qué etapas y procesos serán incluidos en la estimación (PAS 2050, 2011). Se debe decidir en qué puntos de la cadena iniciar y finalizar la evaluación: puede ser en el eslabón primario únicamente, cerrando los cálculos al momento de abandonar la tranquera de salida del establecimiento evaluado; en el eslabón industrial o el proceso integral; desde el predio agropecuario hasta el destino final del producto, incluído el reciclaje de los residuos. En la presente estimación, los límites definidos incluyen cuatro grandes subsistemas acordes con los procesos cronológicos que conforman la cadena agroindustrial del pan (Fig. 1):

- *Producción Primaria de trigo*: se incluyeron dos sistemas de labranza para la obtención del grano de trigo, Siembra Directa (SD) y Labranza Convencional (LC). Se consideró el consumo de combustibles fósiles correspondientes a las labores agrícolas realizadas en el predio rural (labranza/barbecho, siembra, fertilización, aplicación de plaguicidas y cosecha), a las operaciones post-cosecha (secado del grano y su almacenamiento) y de los insumos agropecuarios utilizados (fertilizantes, plaguicidas, entre otros).
- *Molienda Industrial*: las etapas incluídas fueron recibo, almacenamiento y pre-limpieza, limpieza y acondicionamiento, molienda o trituración, tamizado y purificación. Además, se tuvo en cuenta el consumo energético del embalaje de la harina producida, considerándose que puede ser cargada a granel o empaquetada en bolsas de papel Kraft de 32 Kg cada una para su posterior distribución a industrias de segunda transformación.
- *Panificación*: se consideraron dos escalas de producción de pan, Panificación Doméstica también llamada casera u hogareña (PD) y Panificación Industrial (PI). Se incluyeron todos los ingredientes necesarios para su obtención, desde la harina hasta los ingredientes minoritarios. Al no existir grandes diferencias entre los ingredientes y cantidades utilizadas en las dos escalas de panificación, se consideró la misma receta. Los consumos de energía de los insumos en la etapa de panificación fueron incluídos. En el caso de la PD, se consideró la posibilidad de que los hornos sean abastecidos por electricidad o por gas natural y en el caso de la PI se consideró únicamente la utilización de hornos eléctricos con quemadores a gas natural. Además, se incluyó el embolsado del pan en el caso de la PI, ya que si bien el consumidor puede llevar su propia bolsa, en otros casos se empaqueta en bolsas de papel o polietileno, para su transporte hasta el hogar por parte del consumidor, las tres situaciones mencionadas fueron consideradas.
- *Consumo en el hogar*: se consideró que una vez producido el pan, ya sea mediante PI o PD, el mismo puede ser almacenado a temperatura ambiente en el hogar o

bien, se puede refrigerar para prolongar su vida útil y además, por preferencias del consumidor el pan puede ser tostado, ambas situaciones fueron consideradas.

Además, se incluyó el transporte de los granos de trigo desde el campo al molino harinero, realizándose en un camión de 32 toneladas que recorre una distancia de 200 km y el transporte de la harina desde el molino a la panadería o almacén de venta minorista, que transita una distancia de 50 km en un camión de 26 toneladas. Mientras que, el transporte del pan o de la harina por parte de los consumidores hasta el lugar de consumo final, se consideró que es realizada a pie o en bicicleta.

Los límites del sistema excluyen la producción de bienes de capital, como maquinarias y edificios, los consumos de energía para el alumbrado de oficinas, talleres o comedores, limpieza de hornos y maquinaria, y el transporte de los empleados al molino o a la panadería, ya que los mismos corresponden a consumos energéticos indirectamente relacionados con el producto. Asimismo, se decidió excluir el reciclaje de los residuos generados en las distintas etapas de la cadena, debido a la diversidad de métodos de disposición final, reciclaje y recuperación de materiales que son aplicados en la actualidad.

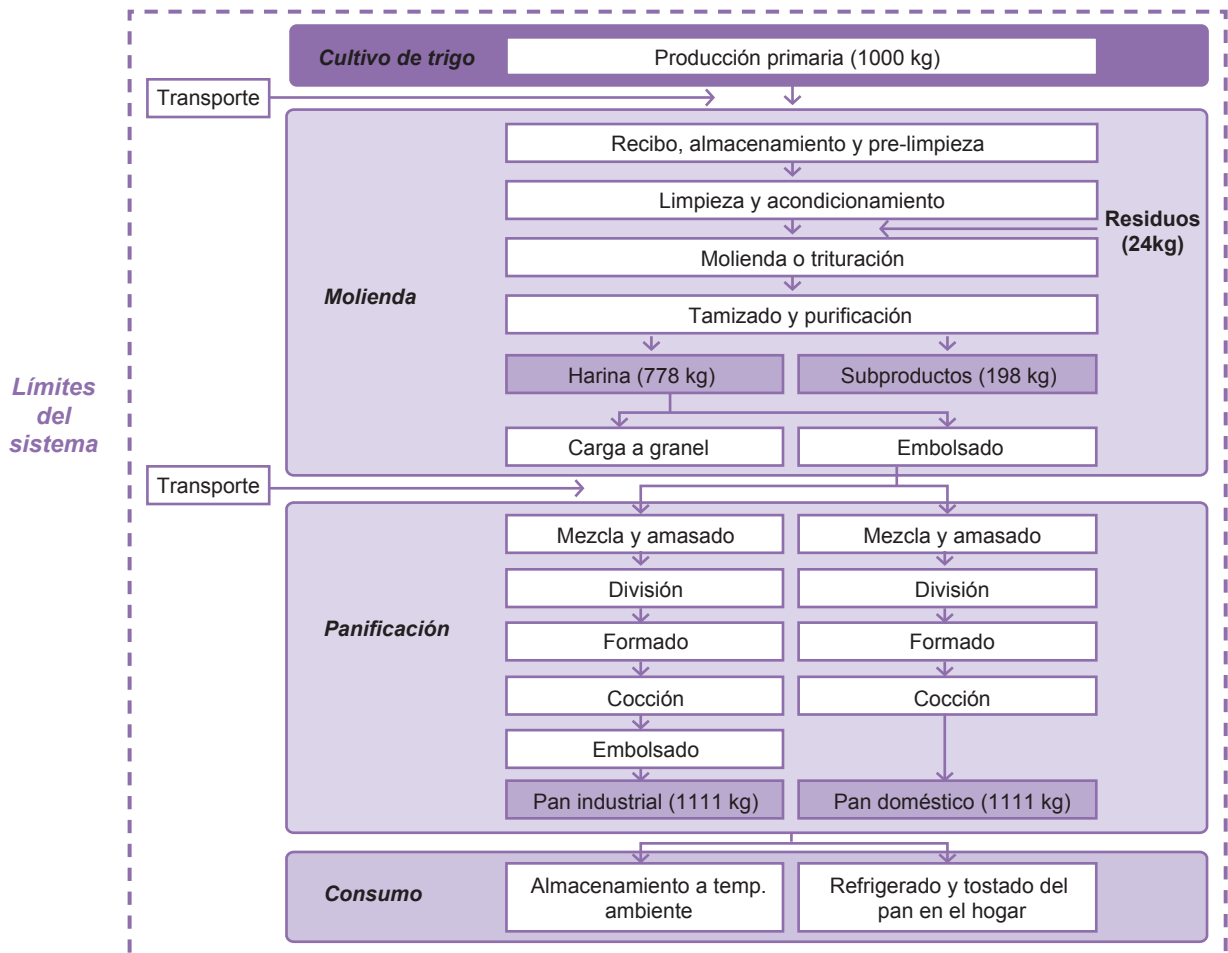
### Unidad Funcional

Se define como unidad funcional al rendimiento cuantificado de un producto que se utiliza como unidad de referencia. En este caso, la unidad funcional definida fue *1 Kilogramo de pan de harina de trigo* que se consume en el hogar, la cual se considera adecuada para la comunicación a los consumidores y para el etiquetado de carbono.

### Recolección de datos

Una vez determinados los límites del sistema y definida la unidad funcional, se realizó la recolección de datos. Los datos necesarios para calcular la HC fueron de actividad y factores de emisión. Los datos de actividad se refieren a los consumos de energía involucrados en cada una de las etapas del proceso de elaboración. Los factores de emisión proporcionan el vínculo que convierte los consumos energéticos en emisiones de GEI, es decir, la cantidad de GEI emitidos por "unidad" de los datos de actividad (PAS 2050, 2011). Los factores de emisión se obtuvieron de publicaciones del IPCC (2006) y Certificación Internacional de Sustentabilidad y Carbono (ISCC 205, 2011). Se utilizaron datos primarios en las actividades directamente relacionadas con el proceso o producto y datos secundarios cuando no se lograron obtener datos primarios (PAS 2050, 2011).

En el subsistema *producción primaria*, para determinar el consumo de energía se utilizaron los datos provenientes de un relevamiento realizado durante el año 2002, en 200 establecimientos rurales dispersos en la región pampeana, mediante la utilización del Software Agro-Eco-Index®. Para los *subsistemas molienda, panificación, consumo y transportes* se realizó una revisión bibliográfica, tanto na-



**Figura 1.** Límites del sistema de la cadena de panificación, subsistemas y procesos unitarios de cada subsistema. Entre paréntesis flujo de masa (en Kg). Balance de masas, para producir 1 Kg de pan son necesarios 0.7 Kg de harina de trigo que se obtienen a partir de 0.9 Kg de grano de trigo.

Fuente: elaborada por los autores.

cional como internacional. Se obtuvieron coeficientes medios de consumos de energía, de cada etapa del proceso, los cuales se diferenciaron según la fuente energética utilizada y luego fueron expresados en una misma unidad de medida (MJ/unidad funcional). Los valores medios del subsistema molienda se validaron con datos suministrados por la empresa “Molino Los Grobo” y los de PI con datos reales de una empresa panificadora local. Para la panificación doméstica, se utilizaron mediciones propias en función del valor de consumo de gas natural de una cocina tipo, publicado por el Ente Nacional Regulador del gas (ENARGAS).

#### Estimación de la Huella de Carbono de la cadena del pan

Para el cálculo de la HC, teniendo en cuenta los valores medios de consumo de energía obtenidos de cada etapa de la cadena del pan, se relacionó el consumo energético por unidad funcional con su factor de emisión unitario de GEI, expresado en Kg eq-CO<sub>2</sub>. La ecuación utilizada fue la suma de todos los consumos energéticos utilizados en

todas las actividades del ciclo de vida del producto multiplicado por los factores de emisión de GEI (PAS 2050, 2011).

Una vez obtenidos los valores por defecto del consumo de energía y de emisiones de GEI, se describió el modelo de estimación de la Huella de Carbono del pan de trigo, que incluyó un análisis energético (en MJ/Kg de pan) y un análisis de la HC (en Kg eq-CO<sub>2</sub>/Kg de pan).

Teniendo en cuenta las matrices de generación eléctrica de Argentina, Brasil y China, y los factores de emisión de GEI por KWh de electricidad producida correspondientes al año 2010 (0.51, 0.24 y 0.9 Kg eq-CO<sub>2</sub>, respectivamente), y la emisión de GEI por MJ de energía del gas natural (0.08 Kg eq-CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup>) (EIA, 2010 y ISCC 205, 2011), se determinó el valor de la HC del pan producido en cada uno de los países mencionados.

#### Supuestos

- Existe gran diversidad de aditivos agregados en el enriquecimiento de las harinas que, debido a su baja

proporción (<0.02%), se considera que su contribución a la demanda de energía y emisiones es despreciable.

- No hay grandes diferencias entre los ingredientes y cantidades utilizadas en las dos escalas de panificación.
- En la PD el consumo de energía es originado en la etapa de cocción, siendo las demás etapas realizadas manualmente, mientras que en la PI todas las etapas son realizadas utilizando maquinaria especializada.
- La adquisición del pan en el caso de la PI y de la harina en el caso de la PD por parte de los consumidores, es realizada a pie o en bicicleta, por lo tanto, la demanda de energía y las emisiones son cero o no significativas.

## RESULTADOS

### Consumos energéticos en cada uno de los eslabones de la cadena del pan

En el subsistema producción primaria, al comparar los consumos de energía en dos sistemas de labranza se encontró que, en promedio, el sistema de SD consume más energía que el sistema de LC ( $3.23 \pm 1.14$  MJ Kg de pan<sup>-1</sup> y  $2.94 \pm 0.82$  MJ Kg de pan<sup>-1</sup>, respectivamente).

El transporte desde el predio rural al molino harinero se realizó mediante un camión de 32 toneladas modelo nuevo, que recorrió una distancia de 200 Km. Dicho transporte, demandó 0.11 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>.

En el subsistema molienda de trigo la energía necesaria para producir la harina requerida para obtener 1 Kg de pan, fue de  $0.317 \pm 0.22$  MJ Kg de pan<sup>-1</sup>. Con respecto al empaque de la harina obtenida, la carga a granel demandó 0.117 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>, mientras que el embolsado en bolsas de 32 Kg requirió de 0.150 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>, incluida la fabricación del papel Kraft. Por lo tanto, el total de energía demandada fue de 0.43 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> para la harina cargada a granel y 0.47 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> para la harina empaquetada en bolsas de papel Kraft.

El transporte de la harina desde el molino harinero a la panadería o almacén de venta minorista demandó 0.02 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>. El transporte se realizó utilizando un camión de 26 toneladas, modelo nuevo, que recorrió una distancia de 50 Km.

En el subsistema panificación se encontró que la PD consume más energía que la PI. La PD demandó 3.05 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> en el caso de un horno eléctrico y cuando se utilizó un horno abastecido con gas natural, demandó 3.32 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>. Mientras que la PI demandó 2.16 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> cuando el pan no fue empaquetado, es decir, el consumidor llevó su propia bolsa. El consumo de energía para producir una bolsa de papel fue de 0.53 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> y para una de polietileno fue de 0.15 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>. Por lo cual, la demanda energética total del proceso de panificación fue de 2.70 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> cuando el pan fue empaquetado en bolsas de papel y 2.31 MJ Kg de pan<sup>-1</sup> si lo fue en bolsas de polietileno. Se observa la marcada diferencia

entre el consumo energético de la fabricación de bolsas de papel y de polietileno, sin embargo la contribución del empaquetado al valor total de la demanda energética del proceso de panificación es baja (menor al 13%). En ambas escalas de producción de pan, la etapa de cocción mostró el mayor consumo de energía.

En el subsistema consumo, cuando el pan se almacenó a temperatura ambiente no manifestó consumo de energía, mientras que cuando se refrigeró en el hogar, entre 4 y 8 días, demandó 0.044 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>. Además, cuando se incluyó el tostado del pan, demandó 4.21 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>. La demanda energética total de la fase de consumo fue de 4.25 MJ Kg de pan<sup>-1</sup>.

### Demanda energética total del proceso de panificación en 12 escenarios posibles de producción de pan

Al compararse distintos escenarios de producción de pan (Fig. 2), se encontró que el escenario de menor demanda energética corresponde al cultivo de trigo con sistema de LC, panificación industrial y almacenamiento a temperatura ambiente sin tostado del pan ( $5.70$  MJ Kg de pan<sup>-1</sup>). Mientras que el escenario de mayor consumo energético fue producción primaria con sistema de SD, panificación doméstica utilizando un horno a gas natural, refrigerado y tostado de pan en el hogar ( $11.40$  MJ Kg de pan<sup>-1</sup>). En promedio, la demanda energética de la cadena del pan fue de  $8.65$  MJ Kg de pan<sup>-1</sup>, siendo las etapas de mayor consumo de energía: producción primaria (35.6%), panificación (32.9%) y consumo (refrigerado y tostado) en el hogar (24.6%).

### Emisión de Gases de Efecto Invernadero de cada etapa de la cadena del pan

La emisión de GEI en la producción primaria de trigo fue, en promedio, mayor en el sistema de SD que en el sistema de LC, siendo los valores encontrados  $0.233 \pm 0.082$  Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> y  $0.211 \pm 0.059$  Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, respectivamente. A menudo se argumenta, que la SD reduce en forma significativa el uso de combustibles fósiles, lo cual es aceptable si se considera que la reducción de labores implica un menor movimiento de máquinas y equipos. Pero si se considera que al realizarse un menor número de labores no se logra la destrucción mecánica de las malezas que compiten con el cultivo, se produce una dependencia de los herbicidas. Si se tiene en cuenta que para fabricar los herbicidas se insumen grandes cantidades de combustible fósil, la mayor eficiencia energética de la labranza mínima son supuestos cuestionables (Viglizzo, 2001).

El transporte de trigo, generó una emisión GEI de  $0.008$  Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, utilizándose como medio de transporte un camión de 32 toneladas, modelo nuevo, que recorrió una distancia de 200 Km, desde el predio rural hasta el molino harinero.

La emisión de GEI de la etapa de molienda fue, en promedio, de  $0.041 \pm 0.025$  Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>. Cuando la



**Figura 2.** Consumo de energía (MJ Kg de pan<sup>-1</sup>) en 12 escenarios posibles de panificación. Referencias: SD: Siembra Directa, LC: Labranza Convencional, PDG: Panificación Doméstica utilizando un horno alimentado por gas natural, PDE: Panificación Doméstica utilizando un horno eléctrico, PI: Panificación Industrial, C: Consumo refrigerado y tostado, A: almacenamiento a temperatura ambiente sin tostado del pan en el hogar. En todos los escenarios planteados la molienda fue industrial y se utilizaron similares valores de emisión de GEI para el transporte de trigo y de harina.

Fuente: elaborada por los autores.

harina producida se cargó a granel, la emisión fue de 0.054 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, mientras que cuando fue embolsada en bolsas de papel Kraft de 32 Kg cada una, fue de 0.057 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>.

El transporte de harina, desde el molino harinero a la panadería o almacén de venta minorista generó una emisión GEI de 0.001 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, utilizándose como medio de transporte un camión de 26 toneladas, modelo nuevo, que recorrió una distancia de 50 Km.

La PD utilizando un horno eléctrico en la cocción, fue la forma de panificación de mayor emisión de GEI, obteniéndose un valor de 0.405 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, mientras que cuando se utilizó un horno alimentado con gas natural, la emisión fue de 0.225 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, siendo ésta la forma de panificación que presentó la emisión de GEI más reducida. Dentro de la PI, cuando el pan se empaquetó utilizando una bolsa de papel, la emisión de GEI fue de 0.267 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, cuando se utilizó una bolsa de polietileno se emitieron 0.241 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> y 0.230 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> cuando el consumidor llevó su propia bolsa. Se observa que es mayor la emisión de GEI si el pan se empaqueta en bolsas de papel, debido al alto costo energético en su fabricación.

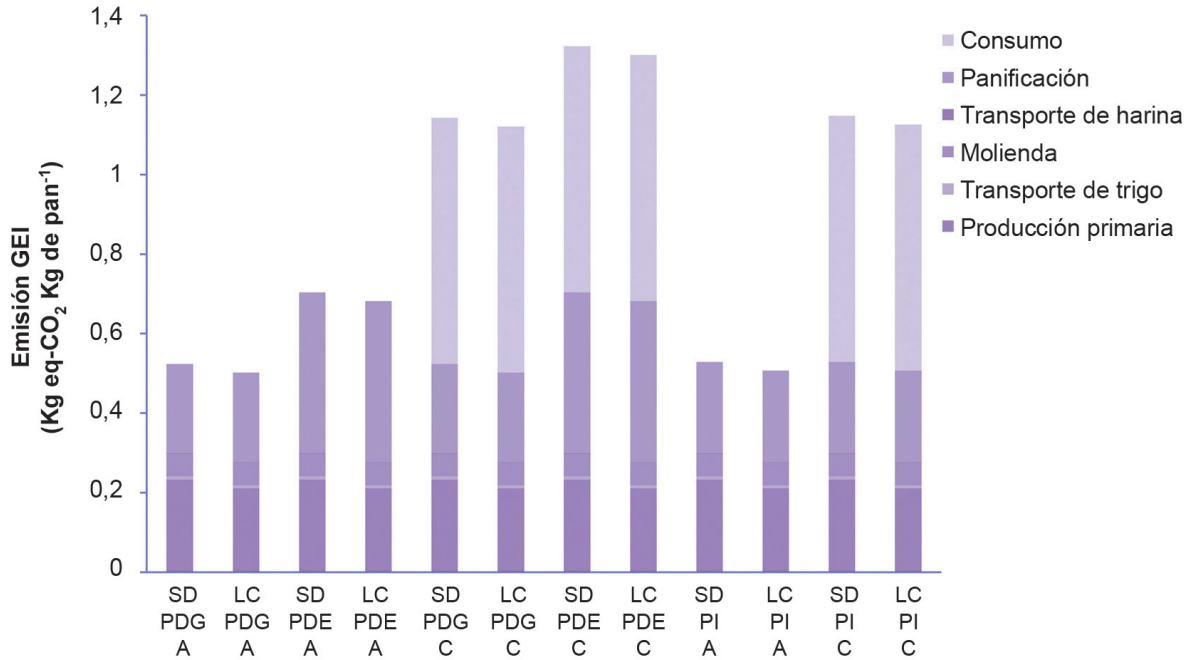
Cuando el pan se refrigeró en el hogar, entre 4 y 8 días, se generó una emisión de GEI de 0.022 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>. Además, cuando fue tostado se emitieron 0.597 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>. El consumo, incluyendo la refrigeración y tostado, generó 0.619 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>.

### Huella de Carbono de la cadena del pan

El valor promedio de la HC del pan fue de 0.884 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>. El escenario de producción primaria con sistema de LC, PD utilizando un horno alimentado con gas natural y almacenamiento en el hogar a temperatura ambiente, sin tostado del pan, mostró la menor emisión de GEI, con un valor de 0.502 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>. Mientras que, la máxima emisión fue de 1.323 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, valor que surge de la producción de trigo utilizando sistema de SD, PD con cocción del pan en horno eléctrico, refrigerado y tostado del pan (Fig. 3). Las etapas de mayor contribución al valor total de la HC fueron consumo, panificación y producción primaria, siendo el porcentaje de contribución 35.01%, 32.01% y 25.11%, respectivamente.

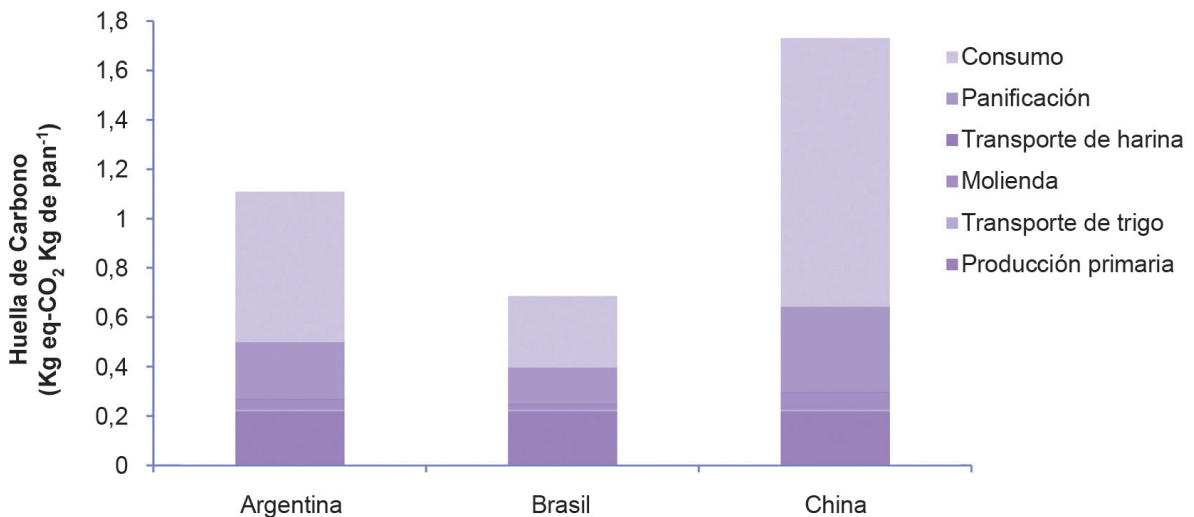
### Huella de Carbono del pan producido en Argentina, Brasil y China

Se realizó una comparación de la HC del pan producido en Argentina, Brasil y China, en función del tipo de energía utilizada empleando la matriz energética de cada país, teniendo en cuenta los mismos límites definidos, mismos supuestos, con las mismas características de producción primaria, transportes y distancias recorridas, molienda, panificación y consumo. Se encontró que la HC del pan producido en Argentina, fue mayor en 0.42 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> con respecto al pan producido en Brasil, pero menor en 0.62 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup> al producido en China (Fig. 4).



**Figura 3.** Emisión de GEI (Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>) en 12 escenarios posibles de panificación. Referencias: SD: Siembra Directa, LC: Labranza Convencional, PDG: Panificación Doméstica utilizando un horno alimentado por gas natural, PDE: Panificación Doméstica utilizando un horno eléctrico, PI: Panificación Industrial, C: Consumo refrigerado y tostado, A: almacenamiento a temperatura ambiente sin tostado del pan en el hogar. En todos los escenarios planteados la molienda fue industrial y se utilizaron similares valores de emisión de GEI para el transporte de trigo y de harina.

Fuente: elaborada por los autores.



**Figura 4.** Huella de Carbono del pan producido en Argentina, Brasil y China, en función de las matrices energéticas correspondientes a cada país.

Fuente: elaborada por los autores.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El proceso de producción de pan, al igual que cualquier otro proceso de producción, se asocia con impactos ambientales debido a la utilización de energía y emisión de

GEI. Sin embargo, los impactos ambientales varían en función de las fuentes energéticas utilizadas en el proceso productivo. González (2011) manifiesta que para la cocción de alimentos, el uso de gas natural en el hogar conlleva menor emisión GEI que el uso de electricidad.

Los valores encontrados en el presente trabajo parecen razonables al compararse con los resultados de estudios anteriores. Ya que los valores determinados por los siguientes autores, se encuentran dentro del rango encontrado en este estudio, Smith (2010) en Australia encontró un valor de 0.895 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, Ruini (2012) en Italia, 0.90 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>, Schader *et al.* (2010) en Alemania, 0.563 Kg eq-CO<sub>2</sub> y Powell Wayne (2011) en el Reino Unido, 1.2 Kg eq-CO<sub>2</sub> Kg de pan<sup>-1</sup>.

Conociendo el valor de la HC del pan de trigo, el consumidor puede decidir qué producto comprar y qué comportamiento adoptar en el hogar; por otro lado, los actores involucrados en la cadena de panificación pueden utilizar esta información para optimizar el proceso de producción a través del uso eficiente de la energía y la incorporación de fuentes energéticas renovables.

Identificar las etapas de mayor contribución al valor de la HC permite definir políticas de reducción de emisiones y optimizar los procesos productivos. Es de destacar la importancia del comportamiento en el hogar de los consumidores en la cadena del pan, ya que dicho comportamiento es determinante del valor total de la HC. En la cadena del pan, se encuentra que la mayor contribución de emisiones de GEI está dada por la producción primaria de trigo, la panificación y el consumo del pan, etapas de alto consumo energético. Una tendencia similar fue encontrada por Wanhalingna (2010), Espinosa Orias *et al.* (2011), González (2011), Lindenthal (2009) y Schader *et al.* (2010). La búsqueda de estrategias, para disminuir el consumo de energía por unidad de producto y, por lo tanto, reducir la emisión de GEI, tiene una alta prioridad para enfrentar el cambio climático y debería apuntarse a las etapas de mayor emisión de GEI.

La matriz de generación eléctrica de cada país es uno de los principales responsables de la magnitud de la HC de los productos. Brasil presentó el menor valor de la HC del pan, comparado con la Argentina y China. En este sentido, la participación de energías renovables con menor emisión de GEI juega un papel fundamental. Nuestra matriz contrasta fuertemente con la de Brasil, país que tiene muy diversificada sus fuentes primarias (44.8%), mientras que la matriz de la Argentina está compuesta en un 9% por energías renovables y la China sólo tiene una participación del 2.66%. (Cárdenas, 2011; de Castro *et al.*, 2009 y Crompton y Wu, 2010).

En las recomendaciones del reciente encuentro del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, se señala que “en 40 años, las energías renovables pueden cubrir cerca del 80% del consumo mundial de energía” (IPCC, 2011). Generar energía a través de fuentes renovables, reducir el uso de los combustibles fósiles y mejorar la eficiencia energética son, sin duda alguna, desafíos para disminuir la HC de los productos agro-industriales y para alcanzar un desarrollo sustentable.

Se proponen como líneas de investigación para enriquecer el presente estudio investigar sobre las pérdidas de producto en la fase de consumo, es decir, conocer el porcentaje de “residuos evitables”, excluyendo cáscaras,

granos, etc. en la cadena del pan de trigo. Si bien, se conoce que las cantidades posibles de ahorros son de hasta el 33% del suministro mundial de alimentos, lo que significa que dicho porcentaje de los alimentos producidos son un desperdicio evitable a nivel mundial, hay pocos estudios realizados sobre los residuos domésticos. Además, determinar la emisión de gases de efecto invernadero de la disposición final, recuperación y reciclaje de los materiales utilizados en el embalaje a lo largo de la cadena de panificación, para así obtener los valores de emisión de GEI en la etapa final de la cadena y aumentar el conocimiento sobre la utilización de energías renovables, siendo un punto de partida fundamental, a nivel nacional, para lograr disminuir la HC de los productos.

## AGRADECIMIENTOS

A la empresa “Molino Los Grobo”, a Federico Frank, a Gustavo Montero y a Oscar Aranda, propietario de la panadería visitada, sin la valiosa información suministrada este trabajo no hubiese sido posible.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGENCY ENERGY INTERNATIONAL. 2010. Disponible en <http://www.iea.org/>. Visitada el 10 de abril de 2012.
- CÁRDENAS, G. J. 2011. Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación. Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario. 10 pp.
- CROMPTON, P. y WU, Y. 2010. Energy consumption in China: past trends and future directions. *Forthcoming in Energy Economics*. Australia. 21 pp.
- DE CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R. y DANTAS, G. 2009. Considerações sobre a Ampliação da Geração Complementar ao Parque Hídrico Brasileiro. Rio de Janeiro. Brasil. 32 pp.
- ESPIÑOZA-ORIAS, N.; STICHNOTHE, H. y AZAPAGIC, A. 2011. The carbon footprint of bread. *Int J Life Cycle Assess*. Reino Unido. 16 (2):351–365.
- GONZÁLEZ, A. D. 2011. Energía y gases de efecto invernadero en el consumo de alimentos en los hogares: incidencia de la cocción. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 15 (1):1-8.
- IDÍGORAS, G. y MARTÍNEZ, C. 2011. Evaluación de los estudios existentes sobre los ciclos de vidas de consumo energético y emisiones de gases efecto invernadero para los sectores lechero, cerealero, oleaginoso y carne bovina así como relevamiento de las preocupaciones y expectativas de esos sectores con miras a su inserción internacional. Apoyo a los procesos de apertura e integración al comercio internacional. ATN/ME-9565-RG BID-FOMIN. Programa de Inserción Agrícola. 77 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Autores: Amit Garg (India), Kainou Kazunari (Japón) y Tinus Pulles (Países Bajos). Volumen 2: Energía. 30 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). 2007. 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. Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y Reisinger, A.



Ginebra, Suiza. 104 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). 2011. Comunicado de prensa. El potencial de las energías renovables descrito en el Informe del Grupo. Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Undécima reunión del Grupo de trabajo III. Abu Dhabi. 7 pp.

ISCC 205. (2011). GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit. 28 pp.

LINDENTHAL, T. 2009. Climate relevance of foodstuffs – what can the organic farmer do? Ratgeber für den Bioherbstanbau. LFI Wien, FiBL Österreich. Austria. 2 pp.

PAPENDIECK, S. 2010. La Huella de Carbono como Nuevo Estándar Ambiental en el Comercio Internacional de Agroalimentos: Informe Final. ATN/ME-9565-RG BIDFOMIN. 82 pp.

PAS 2050. 2011. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. British Standards Institution, London (UK). 38 pp.

POWELL, W. 2011. Working together to sustain the UK's domestic food supply chain: Connecting policy, science and industry to underpin development of future farming systems. Centre of Excellence for UK farming. UK. 15 pp.

RUINI, L. F. 2012. Implementing EPD Process Certification: What's done & what's next? EPD Conference Stockholm. Italia. 41 pp.

SCHADER, C.; LINDENTHAL, T.; MARKUT, T. y HÖRTENHU-

BER, S. 2010. Carbon footprint of organic products. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) Biofach, Nuremberg. 22 pp.

SCHNEIDER, H. y SAMANIEGO, J. 2010. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Documento de Proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 46 pp.

SMITH, H. 2010. Food for thought: Food miles and carbon footprint of a food basket in the Northern Rivers region, Australia. Unpublished Third Year Undergraduate Report. School of Environmental Science and Management, Southern Cross University, Lismore. 68 pp.

SONESSON, U.; DAVIS, J. y ZIEGLER, F. 2010. Food Production and Emissions of Greenhouse Gases. An overview of the climate impact of different product groups. SIK-Report N.º 802. 25 pp.

VIGLIZZO, E.F. 2001. La Trampa de Malthus: agricultura, competitividad y medio ambiente en el siglo XXI. Buenos Aires. Eudeba. 189 pp.

VIGLIZZO, E.F. 2010. Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica. PROCISUR, IICA. Montevideo, Uruguay. 44 pp.

WANHALINNA, V. 2010. Carbon footprint of bread. Master's thesis. Department of Food and Environmental Sciences. Helsinki. 80 pp.

WIEDMANN, T. y MINX, J. 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. 11 pp.