

## **GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ALIMENTOS DE USO CORRIENTE**

**Alejandro D. González \***, **Annika Carlsson-Kanyama \*\***

\* Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), CONICET y Universidad Nacional del Comahue, 8400 Bariloche, Río Negro. [agonzalez@crub.uncoma.edu.ar](mailto:agonzalez@crub.uncoma.edu.ar)

\*\* Division of Industrial Ecology. Royal Institute of Technology. 100 44 Stockholm, Suecia. [annika@carlsson-kanyama.se](mailto:annika@carlsson-kanyama.se)

**RESUMEN:** Se estudió la emisión de gases con potencial de efecto invernadero asociados a la producción y consumo de 22 alimentos de uso corriente. En trabajos previos investigamos la emisión de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en la producción agropecuaria de cereales, legumbres y carnes. En el presente trabajo agregamos la emisión directa de CO<sub>2</sub> debida al procesamiento, transporte, almacenamiento y consumo final de 22 productos alimenticios. Las contribuciones de los tres gases se suman usando los potenciales de calentamiento global, siendo el resultado expresado en kg de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes. Se obtuvieron valores entre 0,4 y 30 kg de emisiones por cada kg de producto listo para consumir. Los valores más bajos corresponden a cereales, legumbres, frutas, hortalizas y leche; en el rango intermedio se encuentran los huevos y el pollo; y los valores máximos corresponden a carne bovina, queso, y frutas transportadas por avión.

**Palabras clave:** Cambio climático, Gases de efecto invernadero, Producción agropecuaria

### **INTRODUCCIÓN**

El uso de la energía, y en particular la utilización de combustibles fósiles, conlleva emisiones de gases con potencial para producir calentamiento global. El gas emitido en mayor cantidad es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), directamente obtenido en la combustión. La contribución antropogénica de este gas está asociada a todo proceso en donde se usan recursos fósiles. Siguen en grado de importancia las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), hidrofluorocarbonados (HFCs) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (PICC, 2006). Las últimas estimaciones de emisiones globales muestran que el 50% de metano y el 85% del óxido nitroso se emiten en la producción de alimentos, tanto de origen vegetal como animal (PICC, 2006). Este sector de producción y consumo genera cerca del 30% del total de los gases antropogénicos con capacidad para producir cambio climático.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con los alimentos se producen en el uso de combustibles y energía eléctrica en: tareas de campo (arado, sembrado, cosecha, transportes locales, silos, etc.); en transporte de larga distancia hasta centros de procesamiento (molinos, frigoríficos, exportaciones, etc.); en tareas de almacenamiento y logística (almacenes, puertos, refrigeración, etc.); en procesamiento industrial (trozado, moliendas, mezclas, cocciones, y envasado); en comercialización (mayorista y minorista, empaque, transporte, refrigeración, edificios, etc.), y en el consumo final del usuario (cocción, refrigeración, limpieza, etc.). En trabajos previos, se mostró que hay diferencias substanciales de energía utilizada para distintos grupos de alimentos, y que la elección del usuario puede hacer variar las emisiones en un factor de 2 a 9 (Carlsson-Kanyama, 1998; Carlsson-Kanyama, 2003, Engström et al., 2007). En general, las producciones animales intensivas son las que más energía demandan, aunque las condiciones de producción y transporte también pueden influir en alimentos de origen vegetal (invernaderos calefaccionados, transporte por avión, almacenamiento prolongado, etc.) (Carlsson-Kanyama, 2003).

El metano y el óxido nitroso son gases con alto potencial de calentamiento global, y además de larga vida. Si se consideran los valores para 100 años de permanencia, el CH<sub>4</sub> tiene 25 veces más potencial de calentamiento global que el CO<sub>2</sub>; y el N<sub>2</sub>O 298 veces más (PICC, 2007). Los procesos biológicos naturales de la producción vegetal y animal están asociados a emisiones de estos gases, además del CO<sub>2</sub> directo proveniente del uso de la energía. Estas emisiones, entonces, se encuentran hasta en producciones en donde se utilizan energías renovables no emisoras. Recientemente, presentamos cálculos de emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para distintos productos agropecuarios (González y Carlsson-Kanyama, 2007; Carlsson-Kanyama y González, 2007). Las emisiones de CH<sub>4</sub> se producen en degradación de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, y los valores específicos más altos se encuentran en fermentación entérica del tracto digestivo de los rumiantes, seguido por emisiones en estiércol, especialmente con manejo en lagunas. En las producciones de arroz con anegamiento se emite CH<sub>4</sub>, y su contribución hace que este cereal presente valores de emisiones totales superiores a aquellos de secano.

En el presente trabajo, se estudian las intensidades de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para algunos alimentos de uso corriente. Se tienen en cuenta los procesos primarios agropecuarios, el transporte, el almacenamiento, el procesamiento, las mermas de producto en cada paso, y el consumo final por el usuario en hogares de Suecia. El objetivo es estudiar, por un lado, el peso relativo de distintas prácticas de producción, transporte y consumo, y por otro lado, el efecto que las distintas elecciones alimenticias del usuario pueden tener en las emisiones totales. Este estudio difiere de un inventario, en el cual las emisiones se calculan para la producción de un país o región a través de datos de entrada y salida (insumos y consumos totales). Aquí se busca obtener intensidades de emisión por cantidad de alimento consumido, considerando particularidades

de los métodos involucrados. Los resultados pueden usarse para diseñar estrategias de mitigación que conduzcan a menores emisiones de gases de efecto invernadero en rubros específicos.

En la primera parte de este artículo se resumen las fuentes de datos y los criterios de aproximación. En las secciones siguientes se presenta en detalle los casos de cultivo de maíz, soja y heno, y su aplicación al engorde bovino y porcino. Luego se comparan emisiones para 22 alimentos listos para consumir y de uso corriente. Finalmente, se comparan algunos valores nutricionales por unidad de emisiones, y los pesos relativos que diversos ingredientes de la alimentación humana tienen en las emisiones totales.

## METODOLOGÍA Y DATOS UTILIZADOS

### *Nivel de aproximación y obtención de datos*

Se realizaron análisis de inventario de ciclo de vida simplificados para emisiones en cada uno de los productos alimenticios. Esto requiere de datos sobre técnicas de producción, procesamiento y transporte. Esta información proviene de distintas fuentes, que corresponden al sector agropecuario, industrial y energético. Para la producción primaria, procesamiento y transporte se usaron datos del trabajo de revisión de Carlsson-Kanyama y Faist (2001), y de las referencias citadas allí; además de la Organización para la Alimentación y la Agricultura ([www.fao.org](http://www.fao.org)), y de la Central de Estadísticas de Suecia ([www.scb.se](http://www.scb.se)). El uso de fertilizantes involucra emisiones de  $N_2O$  en el suelo, y también emisiones de  $CO_2$  y  $N_2O$  en el proceso de fabricación. Kramer et al. (1999) informa sobre la energía y las emisiones en producción de fertilizantes en Holanda. Cuando no se tuvieron datos locales se usó información de productos similares pero producidos en otros países.

En este trabajo, se analizan alimentos en las condiciones de consumo de Suecia, algunos de producción local y otros de importación. Para estas condiciones, sería deseable contar con todos los datos que se corresponden con particularidades de cada región de origen. Sin embargo, esto no es posible en el sentido estricto y en todos los casos, debido a que, el análisis detallado de un sólo componente puede demandar el tiempo y esfuerzo que tomaría todo el análisis realizado aquí. Esta es una dificultad metodológica que se encuentra en la mayoría de los análisis de inventario de ciclo de vida tanto para energía como para emisiones e impacto ambiental en general. Entonces, se establecen criterios de semejanza para utilizar datos disponibles para otros lugares y situaciones y que representen aproximadamente las particularidades locales. En el presente trabajo consideramos sólo producciones y comercializaciones estandarizadas y ejecutadas a gran escala. Por ejemplo, las producciones de trigo y soja a gran escala requieren de semillas, agroquímicos y maquinaria que son producidos y utilizados de manera similar en distintas regiones del mundo. Existen variaciones, como ser clima, suelo, método de siembra, etc., que de alguna forma se ven reflejados en los rendimientos de cada lugar. Por lo tanto, la combinación de datos globales para insumos y de datos locales para rendimientos puede conducir a aproximaciones que tratan de disminuir las incertezas cuando no es posible un conjunto completo de datos locales.

Algo similar ocurre al analizar el transporte. Existen estándares comunes para la calidad y eficiencia de los sistemas de transporte y logística que se producen actualmente. Por ejemplo, los camiones de larga distancia o los barcos son manufacturados en pocos países y exportados, en parte o completos, a otras regiones. En este caso, las variaciones locales están determinadas por la calidad de las carreteras y vías navegables, así como también del grado de modernización de las flotas de transporte. Estas variaciones conducen a incertezas en los resultados, y pueden ser minimizadas tanto más como mayor sea el número de condiciones locales que se puedan determinar.

Estos procedimientos de aproximaciones sucesivas están bien explicados en las guías para realizar inventarios que publica el PICC (2006). En estas se establecen tres niveles de detalle. El nivel *Tier 1* usa datos globales, promedios regionales, y en la medida de lo posible de alguna particularidad local. En el nivel *Tier 2* se combinan datos detallados de promedios de la producción local, y se usan datos globales para aquellos que no se conocen. En el nivel *Tier 3* deben conocerse los detalles de cada paso en el proceso productivo, y los resultados son más precisos pero de validez más localizada. El PICC sugiere que pueden combinarse los métodos y trabajar parte de la evaluación en un nivel y parte en otro.

En el presente trabajo, utilizamos la metodología del nivel *Tier 1*, y en lo posible incluimos datos promedio de producción local. Por ejemplo, en producción bovina usamos datos de la Central de Estadísticas de Suecia para la cantidad de alimento por animal, su peso promedio y los rendimientos en la faena. En el alimento hay productos importados como la soja y el maíz, los cuales se consideran con los datos de las producciones más probables de Brasil y EE.UU. (Carlsson-Kanyama y Faist, 2001), y el transporte y elaboración local en Suecia. Los datos para emisiones de  $CH_4$  y  $N_2O$  de los animales y del manejo del estiércol se tomaron de promedios del PICC (2006) para Europa, con las temperaturas medias de la región de Suecia. Cada uno de los pasos de cálculo involucra incertezas. Un resumen de la evaluación de incertezas puede verse en PICC (2006) y su aplicación en la producción alimentaria en Carlsson-Kanyama y González (2007).

### *Potencial de calentamiento global*

Cada gas de efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento global (simbolizado por la sigla GWP derivada de Global Warming Potential), y es la capacidad de un gas de contribuir al apantallamiento radiativo relativo a otro gas de referencia (PICC, 2007). En la Tabla 1 del trabajo previo (González y Carlsson-Kanyama, 2007) resumimos los valores para óxido nitroso ( $N_2O$ ), metano ( $CH_4$ ), y algunos HFCs (Hydro-Fluoro-Carbon). En las estimaciones de emisiones lo habitual es considerar el GWP para un período de 100 años, para el cual el GWP de  $CO_2$  es igual a 1, el de  $CH_4$  es 25, y el de  $N_2O$  toma el valor 298. Las cantidades de  $CH_4$  y  $N_2O$  obtenidas en gramos para distintos productos alimenticios, son multiplicadas por 25 y 298, respectivamente, para obtener el resultado en `gramos equivalentes de  $CO_2$ . Estos resultados se suman a los gramos de  $CO_2$  emitidos en forma directa en el uso de combustibles fósiles.

## EMISIONES EN CULTIVOS Y APLICACIÓN AL ENGORDE BOVINO Y PORCINO

Las emisiones en la producción animal provienen de los procesos biológicos de los animales y del cultivo del alimento que se les provee. El estiércol produce emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, y es común a toda la producción animal. En cambio, las emisiones de CH<sub>4</sub> debidas a la acción bacteriana digestiva son muy particulares del tipo de animal. En rumiantes, estas emisiones pueden alcanzar valores muy altos, y en algunos casos constituyen la parte dominante de las emisiones totales. En cuanto al alimento, este puede ser de pastura, de granos o una combinación de ambos. Cualquiera de los cultivos requiere de fertilización, la cual involucra emisiones de N<sub>2</sub>O (González y Carlsson-Kanyama, 2007). Además, existen emisiones directas de CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles fósiles en el cultivo, el procesamiento, transporte y almacenamiento en las distintas etapas de cada producto involucrado.

Por ejemplo, consideremos la producción de carne bovina y porcina en un régimen de alimentación de corral (“feedlots”), para una producción promedio en Suecia. Los ingredientes que constituyen la mezcla de alimento de engorde bovino contienen principalmente uno o dos cereales, y en proporción menor alguna legumbre, algo de pastura seca y alguna mezcla

	Maíz, <sup>1</sup> EEUU	Emisiones <sup>2</sup> Maíz	Soja, <sup>1</sup> Brasil	Emisiones <sup>2</sup> Soja	Heno <sup>1</sup> Suecia	Emisiones <sup>2</sup> Heno	Emisiones en alimento
Rendimiento	5083 kg/ha		2120 kg /ha		6600 kg /ha		
Diesel <sup>3</sup>	206 l/ha	607 kg CO <sub>2</sub> /ha	60 l/ha	177 kgCO <sub>2</sub> /ha	108 l/ha	318 kgCO <sub>2</sub> /ha	
Electricidad <sup>4</sup>	1239 MJ/ha	276 kg CO <sub>2</sub> /ha					
Nitrógeno <sup>5</sup>	125 kg/ha	666 kg CO <sub>2</sub> /ha			145 kg/ha	691 kgCO <sub>2</sub> /ha	
Fósforo <sup>5</sup>	35 kg/ha	83 kg CO <sub>2</sub> /ha	17 kg /ha	40 kgCO <sub>2</sub> /ha	20 kg/ha	15 kgCO <sub>2</sub> /ha	
Potasio <sup>5</sup>	67 kg/ha	65 kg CO <sub>2</sub> /ha	33 kg /ha	32 kgCO <sub>2</sub> /ha	50 kg/ha	27 kgCO <sub>2</sub> /ha	
a- Emisiones por kg debidas a insumos		0,33 kg CO <sub>2</sub> equiv./ kg cosechado		0,12 kg CO <sub>2</sub> equiv./ kg cosechado		0,16 kg CO <sub>2</sub> equiv./kg cosechado	
b- Emisiones en suelos <sup>6</sup>		0,15 kg CO <sub>2</sub> equiv./ kg cosechado		0,07 kg CO <sub>2</sub> equiv./ kg cosechado		0,06 kg CO <sub>2</sub> equiv./ kg cosechado	
c- Transporte hasta Suecia <sup>7</sup>		0,18 kg CO <sub>2</sub> / kg cosechado		0,25 kg CO <sub>2</sub> /kg cosechado			
Emisiones totales (a+b+c)*1,10 <sup>8</sup>		0,72 kg CO <sub>2</sub> eq./ kg maíz		0,48 kg CO <sub>2</sub> eq./ kg soja		0,22 kg CO <sub>2</sub> eq./ kg heno	
Alimento bovino (65% maíz, 20% heno,15% soja)		0,47 kg CO <sub>2</sub> eq. / 0,65 kg maíz		0,06 <sup>9</sup> kgCO <sub>2</sub> eq. / 0,15 kg soja		0,04 kgCO <sub>2</sub> eq. / 0,20 kg heno	0,57 kgCO <sub>2</sub> eq. / kg ali.bovin
Alimento porcino (85% maíz, 15% soja)		0,61 kg CO <sub>2</sub> eq. / 0,85 kg maíz		0,06 <sup>9</sup> kgCO <sub>2</sub> eq. / 0,15 kg soja			0,67 kgCO <sub>2</sub> eq. / kg ali.bovin

<sup>1</sup> Datos de rendimiento e insumos de Carlsson-Kanyama y Faist (2001)

<sup>2</sup> Los fertilizantes involucran emisiones de CO<sub>2</sub> directo y de N<sub>2</sub>O en la fabricación, este último se traduce a CO<sub>2</sub> equivalente con el factor 298, correspondiente al potencial de calentamiento global explicado en la sección anterior.

<sup>3</sup> Las emisiones se calcularon considerando el valor 0,074 kg CO<sub>2</sub> /MJ, dado por PICC (2006)

<sup>4</sup> Se consideran las componentes fósiles de electricidad en EE.UU., resultando 0,223 kg CO<sub>2</sub>/MJ (IEA, 2008)

<sup>5</sup> Para los fertilizantes se usan los valores calculados por Kramer et al. (1999)

<sup>6</sup> Datos de González y Carlsson-Kanyama (2007)

<sup>7</sup> Se consideran los tramos terrestres, y los marítimos entre EE.UU. y Brasil hasta Gotenburgo; a valores 0,0466 kg CO<sub>2</sub>/ton km y 0,0154 kg CO<sub>2</sub>/ton km, en camión y barco, respectivamente (Carlsson-Kanyama y Faist (2001)

<sup>8</sup> Se considera 5% de pérdida en transporte y 5% en envasado en Suecia (Carlsson-Kanyama, 1998)

<sup>9</sup> Se alocó el aceite y el alimento de soja en la proporción 1:5,8 (Carlsson-Kanyama y Faist (2001)

Tabla 1: Ejemplo de cálculo de emisiones en la producción de maíz y soja, y el procesamiento como alimento para animales

procesada (ensilaje). Sin pérdida de generalidad, podemos asumir para bovinos un alimento simplificado con 65% de maíz, 20% heno, y 15% de soja; y para porcinos de 85% de maíz y 15% de soja (Carlsson-Kanyama y Faist, 2001). La Tabla 1 muestra el detalle de cálculo de emisiones para el cultivo y procesado de estos componentes.

En la segunda columna se indican los rendimientos e insumos principales usados por hectárea cultivada. En base a estos datos y a las emisiones específicas se obtienen las emisiones por hectárea, y dividiendo por el rendimiento se tiene la emisión de CO<sub>2</sub> equivalente debida al uso de maquinaria e insumos en la producción primaria. Además, se indican las emisiones debidas

a los suelos: N<sub>2</sub>O proveniente de los fertilizantes y de los residuos dejados en la superficie. En el caso del maíz y de la soja se incluye el transporte desde EE.UU. y Río de Janeiro hasta Gotenburgo, de 7500 km y 12000 km, respectivamente, estimados con Google Earth ([www.google.com](http://www.google.com)). La producción de heno se considera local y no se tiene en cuenta la merma del 10% considerada en los demás ingredientes. La soja no se usa en forma directa en el alimento, sino que primero se extrae aceite en la proporción másica 1:5,8. Se usó el criterio de relación de masas para evaluar la incidencia en el alimento. Con estos resultados se calculan las emisiones totales para los dos tipos de alimento de engorde.

En la tabla 2 se muestra el resultado de las emisiones por kg de carne en faena (corte denominado media res, con porcentajes de 60% del peso vivo para bovinos y 70% para porcinos). Se consideran las contribuciones debidas al alimento, al manejo del estiércol y al metano emitido en la fermentación digestiva. Para el cálculo del alimento se consideró una tasa de conversión en bovinos de 10 kg de alimento de engorde por kg de carne en faena, y para porcinos de 3 kg de alimento por kg de carne en las mismas condiciones (Carlsson-Kanyama y Faist, 2001). Estas tasas de conversión se multiplican por los valores obtenidos en la Tabla 1. Las emisiones por alimento son mayoritariamente debidas a CO<sub>2</sub>, aunque también incluyen una parte de N<sub>2</sub>O debida a los fertilizantes.

	Bovinos, emisiones en kg CO <sub>2</sub> equiv. / kg carne faena	Porcentaje de cada contribución en bovinos	Porcinos, emisiones kg CO <sub>2</sub> equiv. / kg carne faena	Porcentaje de cada contribución en porcinos
Alimento	5,70	38 %	2,01	46 %
Manejo de estiércol	2,85	19 %	2,13	49 %
Fermentación digestiva	6,33	43 %	0,24	5 %
Emisiones totales	14,88		4,38	

Tabla 2: Emisiones en la producción de carne bovina y porcina en Suecia, con alimento importado

En el manejo de estiércol se emiten N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, en proporciones que dependen de la condición aeróbica del tratamiento. Los valores usados aquí corresponden a los obtenidos en un trabajo previo (González y Carlsson-Kanyama, 2007). Para bovinos el manejo es mayoritariamente aeróbico, y para porcinos anaeróbico, por lo cual tiene predominancia de CH<sub>4</sub>. La fermentación digestiva en rumiantes produce cantidades significativas de CH<sub>4</sub>, las cuales son menores en porcinos. Los porcentajes indican las emisiones relativas de cada contribución al proceso de producción de estos animales, y pueden dar claves para su reducción. La importancia del manejo de estiércol es la menor contribución en bovinos, pero la mayor en porcinos. En cambio, la emisión de metano es mucho mayor en bovinos. Los porcentajes del total debidos al alimento son similares, aunque en cerdos es un poco mayor debido a la mayor proporción de maíz en el alimento elegido.

Cabe mencionar que existen otras fórmulas alimenticias y que algunas bajan el porcentaje de maíz con cereales de producción local como la avena, el trigo o la cebada. Esto afecta principalmente el rubro transporte, y el resultado promedio puede ser inferior en cerca del 10%. Otras fórmulas incluyen mayor porcentaje de fibras y heno, lo que baja las emisiones específicas. Sin embargo, como también se baja el valor nutricional se necesita mayor cantidad de alimento y mayor tiempo de engorde, lo cual conduce a resultados de emisiones totales similares. De todos modos, las condiciones específicas de cada producción deben considerarse en las aproximaciones más precisas *Tier 2* o *Tier 3* (PICC, 2006), pero no son necesarias para la evaluación comparativa del presente trabajo.

En un trabajo anterior se detallan las incertezas para cada gas y cada sistema de producción animal (Carlsson-Kanyama y González, 2007). Los valores de emisiones de la Tabla 2 tienen incerteza del orden de 50%. Por ejemplo, para calcular la emisión de CH<sub>4</sub> en fermentación digestiva se usa el valor de 1425 ± 40% kg CO<sub>2</sub> equiv. / animal y año, dado por PICC (2006). Esta es la cantidad anual, y existen variaciones desde 13 meses hasta 18 meses en el período de vida de los bovinos en régimen de engorde de corral permanente. Los diferentes períodos de vida se corresponden con diversos sistemas de alimentación. Para los cálculos presentados en la Tabla 2 consideramos consistentemente el tipo de animal, su alimento, el peso y edad en faena (500 kg peso vivo, 300 kg faenado, 16 meses).

## COMPARACIÓN DE PRODUCTOS VEGETALES Y ANIMALES DE CONSUMO CORRIENTE

Como se discutió en la sección anterior, las condiciones particulares del tipo de alimento determinan en gran medida las emisiones. En general, los alimentos de origen vegetal producen menores emisiones, y necesitan menor cantidad de energía para su producción y consumo. Al presente, existen diversas investigaciones que sugieren algunos cambios de alimentación para mitigar el aumento de emisiones en el sector de la agricultura, en especial reduciendo la cantidad de alimentos de origen animal (McMichael et al., 2007), o disminuyendo su incidencia con el reemplazo por proteínas de origen vegetal en distintas preparaciones (Smil, 2002).

Para comparar las emisiones de distintos productos en la alimentación de uso corriente en Suecia, elegimos 22 alimentos vegetales y animales, y estudiamos las emisiones hasta el consumo final en el hogar. Los cálculos de emisiones en la producción primaria se realizaron siguiendo los mismos procedimientos que en nuestro trabajo previo (González y Carlsson-Kanyama, 2007). Se consideraron las emisiones debidas a transporte, almacenamiento, procesamiento, cocción en el hogar, y las pérdidas que ocurren en cada caso usando datos de Carlsson-Kanyama y Faist (2001) y PICC (2006). En la Tabla 3 se muestran los resultados para las contribuciones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> y los totales para alimentos listos para consumo. Las cocciones se consideran con las condiciones locales, en las cuales predomina el uso de cocinas y hornos eléctricos. En Suecia, la proporción de energía eléctrica hidráulica y nuclear es cercana al 92%, lo cual conduce a una tasa de emisiones por uso de electricidad de 0,018 kg CO<sub>2</sub>/MJ (IEA, 2008; PICC, 2006).

En la Tabla 3 se indica la procedencia del producto y el modo de transporte principal. Para productos importados desde otras localizaciones en Europa se considera un camión de 40 toneladas de capacidad, con un consumo de 0,63 MJ/ton km y con emisiones de 0,074 kg CO<sub>2</sub> / MJ de diesel consumido. En el caso de las importaciones por barco se considera 0,20 MJ/ton km, y las emisiones de 0,077 kg CO<sub>2</sub> / MJ de fuel oil (PICC, 2006, capítulo 3). Los transportes de carga por avión son los de mayor emisión específica. En este caso existe una fracción importante del despegue y aterrizaje, lo cual para un vuelo internacional conduce a un total de 0,55 kg CO<sub>2</sub>/ton km.

<b>1 kilogramo de alimento listo para consumir en hogares:</b>	Emisión de CO <sub>2</sub> en kg CO <sub>2</sub>	Emisión de N <sub>2</sub> O en kg CO <sub>2</sub> equiv.	Emisión de CH <sub>4</sub> en kg CO <sub>2</sub> equiv.	Total kg CO <sub>2</sub> equiv.
Zanahorias, frescas, del país	0,38	0,04	0,00	0,42
Papas, cocidas, del país	0,40	0,06	0,00	0,45
Miel, del país	0,46	0,00	0,00	0,46
Trigo entero, del país, cocido	0,54	0,08	0,00	0,63
Manzanas, del país, frescas	0,80	0,02	0,00	0,82
Soja, importada, por barco, cocida	0,92	0,04	0,00	0,96
Leche, del país, 4% grasa	0,45	0,14	0,45	1,04
Azúcar, del país (remolacha)	1,04	0,03	0,00	1,06
Fideos, UE, camión, cocidos	0,96	0,12	0,00	1,08
Naranjas, UE, camión, frescas	1,08	0,10	0,00	1,18
Arroz, importado, barco, cocido	0,59	0,21	0,52	1,31
Chauchas, UE camión, cocidas	1,20	0,12	0,00	1,32
Arenque, pesca aguas cercanas	1,51	0,00	0,00	1,51
Vegetales congelados, UE, hervido	2,20	0,05	0,00	2,26
Huevos, del país, cocidos	1,66	0,74	0,04	2,45
Aceite de colza, UE	1,54	1,45	0,00	2,99
Pollo, del país, fresco, cocido	3,11	1,15	0,01	4,26
Bacalao, pesca lejana, cocido	8,47	0,00	0,00	8,47
Cerdo, del país, fresco, cocido	3,40	0,90	4,60	8,90
Queso, del país	4,99	1,54	4,46	10,99
Frutas tropicales, por avión	11,02	0,23	0,00	11,26
Carne bovina, del país, cocida	9,04	4,64	16,22	29,90

Tabla 3: Emisiones de gases de efecto invernadero en 1 kg de alimento listo para ser consumido

La producción lechera se calculó con los datos para Suecia, aunque las emisiones en estiércol y fermentación digestiva se tomaron de acuerdo a los promedios europeos estándar (Carlsson-Kanyama y González, 2007). Para la manufactura de queso se consideraron 10 litros de leche por kg de queso. Los fideos son importados de Italia, y las naranjas, chauchas y vegetales congelados de España, transportados por camión. Se observa una diferencia sustancial en los vegetales congelados respecto a los frescos. Esto es debido a las mermas en el procesamiento y a la refrigeración, incluida también en el transporte. El arroz considerado es de cultivo anegado, lo cual produce CH<sub>4</sub> y lo convierte en el cereal con mayores emisiones. Para la producción de pollo y huevos se consideró un manejo de estiércol seco, lo que conduce a emisiones mayores de N<sub>2</sub>O que de CH<sub>4</sub>. Para las carnes se consideró la cocción en horno, y las partes que se desechan o reasignan a otros usos (huesos, grasa, órganos, etc.) se pesaron por su valor económico. Como el valor de la carne a consumidor final en Suecia es alto (por ejemplo, para churrasco bovino del orden de \$50/kg y porcino \$30/kg), la mayor parte de las emisiones quedan adjudicadas al producto final.

Los alimentos en la Tabla 3 representan varios grupos alimenticios: carnes, cereales, legumbres, verduras y frutas. La cantidad considerada es 1 kg de alimento pero no establece el valor nutricional de cada uno, lo que se discutirá en la sección siguiente. De todos modos, se observa un rango amplio de valores en las emisiones totales, con alimentos que están por debajo de 1kg de CO<sub>2</sub> por kg de alimento, hasta emisiones de 30 kg CO<sub>2</sub> por kg de alimento. Entre los productos de origen vegetal los cereales de secano, y las verduras y frutas locales son las de menores emisiones. La legumbre estudiada aquí (soja) tiene una parte considerable de transporte y logística, pero aun así presenta emisiones bajas. Existen legumbres locales y que también son de bajo impacto, aunque la soja se utiliza en forma diversa en preparaciones similares a quesos, leche, proteínas saborizadas, con buena aceptación por parte del consumidor. Además, la soja es una legumbre muy usada en la industria alimenticia como agregado en fiambres, carnes molidas, panificados, alimentos para bebés, etc. Es interesante la comparación de la leche y el arroz, ambos fuertemente influidos por las emisiones de metano. El caso de la leche es el de un alimento líquido, con 88% de agua.

Entre los alimentos de origen animal, en esta selección se encontró que el arenque es el de emisiones más bajas. Este se pesca en aguas cercanas a la costa. Debido a esto sus emisiones lo sitúan como un producto animal con emisiones similares a las de los de origen vegetal. El pollo se sitúa por debajo de los 5 kg de CO<sub>2</sub> por kg de alimento preparado, y los huevos la mitad de esas emisiones. En el rango de mayores emisiones, cercanas y por encima de 10 kg CO<sub>2</sub> por kg de alimento, se encuentran el cerdo, el queso y la carne bovina. Como se discutió más arriba, las diferencias entre estas son debidas al CH<sub>4</sub> en la fermentación digestiva, la cual también se presenta en las carnes ovinas. Finalmente, los cálculos para frutas especiales

importadas por avión muestran el peso de este medio de transporte en las emisiones de un producto que en otras condiciones resulta de baja emisión, como se observa para manzanas locales o incluso naranjas importadas por camión. Si se tratara de manzanas importadas por barco, por ejemplo desde Argentina, la influencia del transporte sería menor a 0,40 kg de CO<sub>2</sub> por kg de producto, aun para cargas transoceánicas (los datos para estimarlo se encuentran a pie de la Tabla 1).

### ANÁLISIS DE EMISIONES PARA DISTINTOS PARÁMETROS NUTRICIONALES

Los resultados de la Tabla 3 sugieren que la elección alimentaria puede ser una forma posible de mitigar emisiones en el sector de la agricultura. Se mostraron los resultados de las emisiones para la producción y consumo de 1 kg de distintos alimentos en hogares de Suecia. Sin embargo, para una planificación alimentaria es necesario incluir las propiedades nutricionales. En esta sección se discuten algunos aspectos nutricionales en relación con las emisiones.

Se obtuvieron los valores nutritivos para los alimentos cocidos, listos para consumir, de una base de datos de acceso público (NAL, 2008). Las carnes de distintos tipos y el queso son los alimentos más proteicos, con valores entre 220 y 300 g de proteína por kg de producto. Le siguen los huevos y los porotos de soja, entre 120 y 170 g / kg de alimento. El trigo, los fideos y el arroz se encuentran en el rango de 20 a 60 g de proteína por kg de producto cocido, y los más bajos son las verduras, frutas y miel, por debajo de 10 g por kg de alimento. Para los alimentos listados en la Tabla 3, la Figura 1 muestra la cantidad de proteína por cada kg de CO<sub>2</sub> equivalente emitido.

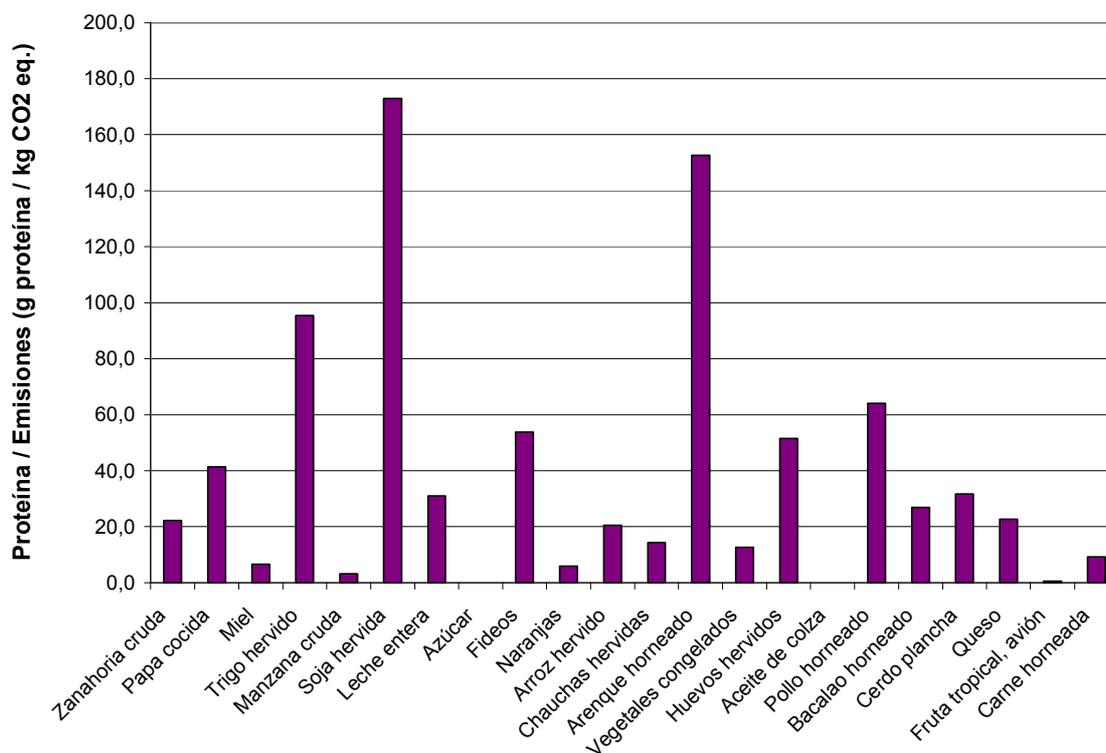


Figura 1: Proteína obtenida por cada kg de gases de efecto invernadero, emitidos en la producción y consumo de alimentos en hogares de Suecia

Los valores más altos de proteína por unidad de emisión se obtuvieron para los porotos de soja y el arenque. Entre las carnes más comunes el pollo presenta el valor más alto por kg de emisiones, seguido de los huevos hervidos. Esto es debido a la mayor eficiencia de las aves para la conversión de alimentos en el engorde (cerca del doble que en cerdos y 5 veces más eficiente que en bovinos). Los cereales presentan valores entre 20 y 90 g de proteína por kg de CO<sub>2</sub> emitido, superando en algunos casos a la carne porcina y bovina. La papa es un caso sorprendente, y muestra la influencia de las muy bajas emisiones en vegetales de producción local. Una alimentación adecuada requiere de un balance correcto de los aminoácidos presentes en las proteínas, en particular de 8 aminoácidos denominados esenciales porque el cuerpo humano no puede producirlos (Wardlaw et al., 1994). Las carnes, los lácteos y los huevos presentan espectros de aminoácidos apropiados. Los cereales son bajos en algunos aminoácidos que las legumbres contienen en abundancia, y viceversa, los cereales tienen cantidades suficientes de aquellos en menor proporción en las legumbres. Esto hace que una combinación de cereales y legumbres presente una proteína completa para la alimentación humana. De acuerdo a la Figura 1, esta combinación también conduce a la mayor cantidad de proteínas por unidad de emisiones.

Otro de los aspectos importantes en la alimentación es la provisión de energía calórica. En la Figura 2 se muestran los resultados para los alimentos de la Tabla 3, en kJ por cada kg de CO<sub>2</sub> equivalente emitido. La miel, el azúcar, y el aceite presentan los valores mayores, que superan los 10000 kJ/kgCO<sub>2</sub>eq., y entonces se indican con flechas en la figura. Estos son alimentos puramente calóricos, y sin agua.

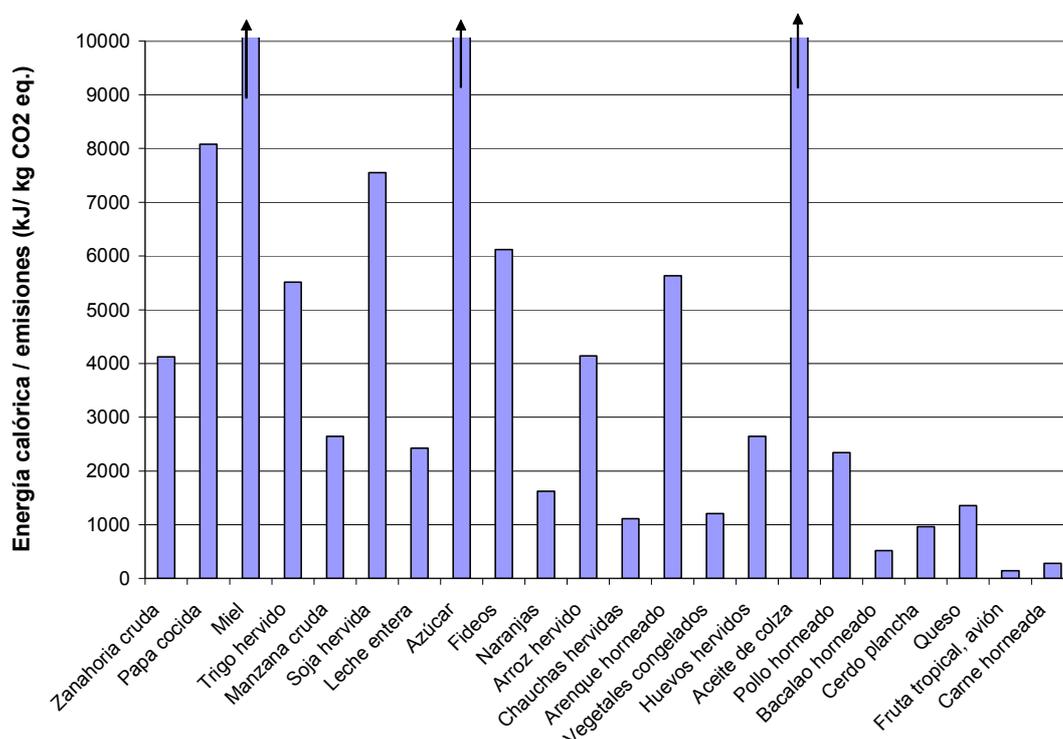


Figura 2: Energía calórica por cada kg de gases de efecto invernadero, emitidos en la producción y consumo de alimentos en hogares en Suecia

Los alimentos de origen vegetal presentan valores entre 1000 y 8000 kJ/kgCO<sub>2</sub>eq., de los cuales la papa y la soja presentan valores calóricos máximos. Con la excepción del arenque, los alimentos de origen animal proveen menos de 2600 kJ/kgCO<sub>2</sub>eq. De estos, debido a las emisiones por fermentación digestiva y a la tasa de conversión del alimento, la carne bovina provee el menor valor, 300 kJ/kgCO<sub>2</sub>eq. La carne de pollo y los huevos proveen casi 3 veces más energía calórica por kg CO<sub>2</sub> eq. que la carne porcina, y 8 veces más que la bovina.

Finalmente, en la Tabla 4, comparamos dos posibles comidas de 0,50 kg cada una. La comida A está constituida por productos locales de baja emisión, salvo la porción más proteica que la constituyen 0,15 kg de soja hervida. La comida B, en cambio, se forma con productos importados de alta emisión, y la parte más proteica incorpora 0,10 kg de carne bovina local. Ambas tienen valores nutricionales similares, y contienen verduras, cereales, fruta y suficiente proteína. Por otro lado, con una preparación adecuada en condimentos y algunas salsas de peso menor (no considerado en la estimación), ambas pueden tener la misma aceptabilidad (González, 2006). La comida A puede considerarse en torno al extremo de las bajas emisiones, y la B alrededor del extremo de muy altas emisiones.

Comida A			Comida B		
Alimento (kg)	Emisiones kg CO <sub>2</sub> eq.		Alimento (kg)	Emisiones kg CO <sub>2</sub> eq.	
Papas, cocidas, del país	0,10	0,04	Vegetales congelados, EU, hervido	0,15	0,33
Trigo entero, del país, cocido	0,15	0,07	Arroz, importado, barco, cocido	0,15	0,20
Soja, importada, por barco, cocida	0,15	0,14	Carne bovina, del país, cocida	0,10	3,03
Manzanas, del país, frescas	0,10	0,08	Frutas tropicales, por avión	0,10	1,13
<b>Total comida A</b>	<b>0,50</b>	<b>0,33</b>	<b>Total comida B</b>	<b>0,50</b>	<b>4,69</b>

Tabla 4: ejemplos de dos comidas extremas, de muy baja emisión y de muy alta.

Con ayuda de la Tabla 3 pueden diseñarse distintas comidas con resultados intermedios, por ejemplo reemplazando por otras carnes, huevos o lácteos, y por otros vegetales. De todos modos, queda claro que la elección alimenticia por parte del consumidor puede ser relevante para mitigar emisiones en el sector agropecuario. La ayuda de instituciones médicas y de salud pública es importante en la posible etapa de cambio de hábitos. Por un lado, para que las elecciones sean nutricionalmente correctas. Por otro lado, es útil considerar los beneficios que una alimentación principalmente de origen vegetal tiene en la salud humana (OMS, 2003). Al presente, y luego de dos décadas de investigaciones y compilación de resultados, se sabe que una alimentación de origen vegetal es una estrategia efectiva en la prevención de enfermedades crónicas, por ejemplo, enfermedades cardiovasculares y cáncer (OMS, 2003; WCRF, 2007). Aparentemente, se da la coincidencia muy favorable de que la misma estrategia alimenticia que beneficiaría al medio ambiente, también beneficiaría a la salud humana.

## CONCLUSIONES

Se estudió la emisión de gases con potencial de efecto invernadero asociados a la producción y consumo de alimentos de uso corriente en Suecia. Se usaron datos de producción y consumo para las condiciones locales en algunos casos, y de ingredientes importados en otros. Se presenta un ejemplo de cálculo detallado para maíz, soja y heno, y su aplicación a la producción de carne bovina y porcina en condiciones de engorde de corral. La carne bovina resulta en emisiones 3 veces mayores que la porcina. Por efecto de la fermentación digestiva natural en rumiantes, la emisión más relevante en bovinos es el metano (CH<sub>4</sub>), y en porcinos la debida a alimentación.

Se sumaron las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en el consumo en hogares de 22 productos alimenticios cocidos, y los resultados se expresaron en kg de CO<sub>2</sub> equivalentes. Se obtuvo una diversidad de valores en el rango desde 0,4 hasta 30 kg de emisiones por cada kg de alimento. Por debajo de 2 kg CO<sub>2</sub> equiv., se encuentran los cereales, legumbres, frutas, hortalizas, leche, y el arenque, un producto de pesca cercana. El rango intermedio, entre 2 y 5 kg CO<sub>2</sub> equiv., lo constituyen vegetales congelados, aceite, huevos y la carne de pollo. Los valores máximos corresponden a carne bovina, porcina, queso, y frutas transportadas por avión. Se observa que no sólo influyen las características de la producción sino también el transporte. En el caso de medios marítimos y terrestres se encontraron emisiones relativamente bajas.

Finalmente, se investigaron algunas variables nutricionales como las proteínas y la energía calórica contenidas en los alimentos. Las cantidades mayores de proteína y energía por unidad de emisión de kg CO<sub>2</sub> equiv., se obtuvieron para productos de origen vegetal. Se infiere que un cambio de hábitos alimenticios, con aumento de alimentos de origen vegetal y disminución de aquellos de origen animal, puede ser una estrategia plausible para mitigar emisiones en el sector agropecuario. Coincidentemente, este cambio también parece beneficiar a la salud pública, en especial a prevenir enfermedades crónicas degenerativas graves.

## REFERENCIAS

- Carlsson-Kanyama A., González A.D. (2007). Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions associated with food production: methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). KTH report Trita-IMA 2007:22. Internet acceso libre: [http://www.ima.kth.se/eng/respublic/emissions\\_report\\_17\\_set\\_ACK.pdf](http://www.ima.kth.se/eng/respublic/emissions_report_17_set_ACK.pdf).
- Carlsson-Kanyama A. et al. (2003) Food and life cycle energy inputs: consequences of diet and ways to increase efficiency. *Ecological Economics* 44, 293-307
- Carlsson-Kanyama A., Faist M., (2001). Energy use in the food sector: a data survey. FMS report, de libre acceso en <http://www.infra.kth.se/fms/pdf/energyuse.pdf>.
- Carlsson-Kanyama A., (1998). Climate change and dietary choices—how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23, 277-293
- Engström R., et al. (2007). Environmental assessment of Swedish agriculture. *Ecological Economics* 60, 550-563
- González A.D., Carlsson-Kanyama A., (2007). Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 11, artículo
- González A.D., (2006). Yo cocino, tú cocinas: ingredientes y métodos alternativos para complementar lo cotidiano. 2da Edición. Bariloche, ISBN 987-05-1167-8
- IEA, (2008). Energy balances: electricity. Internacional Energy Agency. [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Kramer K.J., Moll H.C., Nonhebel S. (1999). Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture Ecosystems & Environment* 72, 9-16
- McMichael A. et al., (2007). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *The Lancet* 370, 1253-1263
- NAL, (2008). Nutrition Data Laboratory. Food and Nutrition Centre. United States Department of Agriculture. [www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search), libre acceso
- OMS, (2003). Organización Mundial de la salud. Diet, nutrition, and the prevention of chronic disease. WHO technical report series 916. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int), con libre acceso
- PICC, (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I (ISBN 978 0521 70596-7). Disponible en <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- PICC, (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>
- Smil V., (2002). Worldwide transformation of diets, burden of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology* 30, 305-311
- Wardlaw G.M., Insel P.M., Seyler M.F., (1994). Contemporary nutrition, issues and insights. (Mosby Books, St Louis)
- WCRF, (2007). World Cancer Research Fund. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer. Disponible en [www.wcrf.org](http://www.wcrf.org), de libre acceso

**ABSTRACT:** The emission of greenhouse gases for the production and consumption of common food items has been studied. In previous works, we have investigated the emission of methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) in the production of cereals, legumes and certain meats. In the present article, the direct emission of CO<sub>2</sub> due to processing, transport, storage and final consumption of 22 foods have been added. The contribution of the three gases are added using the Global Warming Potentials, and the results represented in kg of CO<sub>2</sub> equivalents. Emission intensities between 0,4 and 30 kg CO<sub>2</sub> equivalents per kg of food have been obtained. The lower values correspond to cereals, legumes, fruits, horticulture products and milk; in the middle range we found chicken meat and eggs; and the highest emissions corresponds to bovine meats, cheese, and fruits transported by airplane.

**Keywords:** Climate change – N<sub>2</sub>O – CH<sub>4</sub> – Agriculture and livestock production