



## ENERGÍA Y GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN DE DISTINTOS GRUPOS DE ALIMENTOS

A.D. González <sup>1)</sup>, B. Frostell <sup>2)</sup>, G. Assefa <sup>2)</sup>, R. Kutter <sup>2)</sup>, B. Strogon <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), CONICET y UNCOMA, Centro Regional Universitario Bariloche, 8400 Bariloche, Río Negro.

<sup>2)</sup> Division of Industrial Ecology, Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm, Suecia.

<sup>3)</sup> Department of Civil & Environmental Engineering, University of California, Berkeley, CA, EE.UU.

[agonzalez@crub.uncoma.edu.ar](mailto:agonzalez@crub.uncoma.edu.ar), [frostell@kth.se](mailto:frostell@kth.se), [getachew@kth.se](mailto:getachew@kth.se), [kutter@kth.se](mailto:kutter@kth.se), [bret@berkeley.edu](mailto:bret@berkeley.edu)

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es estudiar la energía usada y los gases de efecto invernadero emitidos en la producción y transporte de distintos alimentos. Se realizaron inventarios de ciclo de vida para carnes, huevos y lácteos, legumbres, cereales, frutas, hortalizas, tubérculos, y semillas oleaginosas. Junto con la revisión de datos previos se analizaron 40 alimentos, que discriminados por región y sistema productivo constituyen 92 ítems alimentarios. La unidad funcional elegida es de 1 kg de alimento puesto en puerto de acceso al sistema de comercialización mayorista en Suecia. Se encontró que los productos de origen animal presentan requerimientos de energía mayor, y están asociados a mayores emisiones que los productos de origen vegetal, con la excepción de hortalizas producidas en invernaderos calefaccionados. El análisis de la cantidad de proteína producida por unidad de energía usada y por unidad de emisiones muestra eficiencias mayores en productos de origen vegetal.

**Palabras clave:** Energía de producción, Gases de efecto invernadero, Producción agropecuaria

### INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las compras y actividades en los hogares son responsables de aproximadamente el 70% de la energía total usada en producción y consumo (Pachauri, 2004). Por otro lado, en distintas investigaciones se encontró que el uso indirecto de energía en los hogares (energía usada en industrias, transportes, y comercio para los productos requeridos por los hogares), puede ser aun mayor al uso directo (Cohen et al., 2005).

La producción y consumo de alimentos es un fenómeno complejo que incluye actividades rurales, transporte, procesamiento industrial, almacenaje y logística, refrigeración, deforestación, impacto en el suelo, agua y aire, y finalmente procesamiento en consumo y descarga de residuos. Del total de emisiones, los alimentos y bebidas constituyen cerca del 32% de los gases de efecto invernadero, de los cuales el 18% corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el 8% a metano (CH<sub>4</sub>), y el 6% a óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (EPA, 2006). Al presente, una cantidad creciente de investigaciones concluyen que los alimentos de origen animal tienen un impacto mucho mayor que los de origen vegetal (Steinfeld et al., 2006; González y Carlsson-Kanyama, 2008; Garnett, 2009). En parte, esto es debido a que la agricultura y ganadería son las actividades que más contribuyen a la emisión de gases de alto potencial de efecto invernadero, como CH<sub>4</sub> (contribuye con 45% del total emitido) y N<sub>2</sub>O (contribuye con 85% del total) (EPA, 2006). Estos gases están clasificados como de larga vida (PICC, 2006).

El presente trabajo forma parte de un proyecto de estudio del metabolismo de los hogares en Suecia. Este investiga las energías usadas y los gases emitidos en el consumo total residencial, y los datos se vuelcan en una herramienta de acceso directo en Internet para que el usuario pueda analizar vías para reducir los impactos ambientales. En la Comunidad Europea existen varios proyectos similares, con la intención de informar al usuario residencial y, desde el origen de la demanda, hacerlo participe directo de reducciones de impactos ambientales. Motivados tanto por la problemática ambiental como por la de salud pública, los cambios en las tendencias mundiales en el consumo de ciertos grupos de alimentos tendrá fuerte influencia en las preferencias productivas. Estas iniciativas son muy importantes para las políticas futuras de países exportadores como la Argentina. Por otro lado, si bien el análisis se basa en alimentos dirigidos a los hogares de Suecia, la selección del tipo de productos es muy similar a la que se produce y consume en Argentina. Entonces, las conclusiones ambientales también podrían formar parte de un programa de información alimentaria ambiental en Argentina.

En este trabajo, analizamos la energía utilizada y los gases de efecto invernadero en 8 grupos de alimentos: productos proteicos de origen animal (carnes, huevos y lácteos), productos proteicos de origen vegetal (legumbres), cereales, aceites y grasas, raíces y tubérculos, hortalizas en invernaderos, hortalizas en suelo abierto, y frutas. Comparamos los resultados obtenidos para cada grupo y para distintas modalidades de producción.

### METODOLOGÍA Y DATOS UTILIZADOS

#### *Inventario de ciclo de vida*

La producción agropecuaria involucra sistemas complejos, que dependen fuertemente de las condiciones locales de suelo, clima, prácticas productivas y hasta culturales. En este trabajo se consideraron los datos locales de producción para cada

alimento, los transportes y los procesamientos necesarios hasta el punto de entrada en la cadena mayorista en Suecia. Algunos productos analizados son producidos en Suecia, y otros importados de diferentes regiones. Con estos datos se realizaron análisis de inventario de ciclo de vida para calcular la energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para cada región se consideró el modo local de generación de energía eléctrica, de acuerdo a datos de IEA (2008). 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).

*Ejemplo de cálculo: energía y emisiones en producción de arroz*

La Tabla 1 muestra el inventario de ciclo de vida para arroz producido en EE.UU.

| Entradas producción agrícola                            | Cantidad usada por hectárea <sup>1)</sup> | Energía por unidad de uso <sup>1)</sup> | Energía usada por ha (MJ/ha)                        | Emisiones de GEI por unidad de uso                        | GEI por ha (kg CO <sub>2</sub> eq. /ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| Diesel  | 370 L                                     | 40 MJ/L <sup>7)</sup>                   | 14800   | 0,075 kgCO <sub>2</sub> eq./MJ <sup>2)</sup>              | 1110                                    |
| Gasolina  | 67 L                                      | 36 MJ/L <sup>7)</sup>                   | 2415  | 0,070 kgCO <sub>2</sub> eq./MJ <sup>2)</sup>              | 169                                     |
| Electricidad  | 20 MJ                                     |   | 20  | 0,223 kgCO <sub>2</sub> eq./MJ <sup>3)</sup>              | 4                                       |
| Gas natural   | 51 m <sup>3</sup>                         | 38,7 MJ/m <sup>3) 7)</sup>              | 1974  | 0,056 kgCO <sub>2</sub> eq./MJ <sup>2)</sup>              | 106                                     |
| Fertilizante N  | 164 kg                                    | 46 MJ/kg                                | 7544  | 6,8 kgCO <sub>2</sub> eq./kg <sup>4)</sup>                | 1123                                    |
| Fertilizante P  | 26 kg                                     | 30 MJ/kg                                | 780   | 2,3 kgCO <sub>2</sub> eq./kg <sup>1)</sup>                | 61                                      |
| Fertilizante K  | 21 kg                                     | 12 MJ/kg                                | 252   | 1 kgCO <sub>2</sub> eq./kg <sup>1)</sup>                  | 20                                      |
| Semilla <sup>5)</sup>                                   | 146 kg                                    |   |   |   |   |
| Energía total / ha                                      |   |   | 27785   | Emisiones totales / ha 2593                               |   |
| Rendimiento cosecha arroz 7362 kg/ha                    |   |   |   |   |   |
| Energía por kg arroz cosechado                          |   |   | 3,85 MJ/kg  | Emisiones: 0,36 kg CO <sub>2</sub> eq./kg arroz cosechado |   |
| Emisiones de N <sub>2</sub> O debidas a N en suelos:    |   |   |   | 0,03 kg CO <sub>2</sub> eq./kg cosechado <sup>6)</sup>    |   |
| Emisiones debidas a CH <sub>4</sub> en campos anegados: |   |   |   | 0,5 kg CO <sub>2</sub> eq./kg cosechado <sup>6)</sup>     |   |
| Emisiones   |   |   | 0,89 kg CO <sub>2</sub> equivalentes / kg cosechado |   |   |

<sup>1)</sup> Carlsson-Kanyama y Faist (2001)

<sup>2)</sup> PICC (2006)

<sup>3)</sup> IEA (2008) para la mezcla de generación, y PICC (2006) para emisiones de los distintos combustibles

<sup>4)</sup> Kramer et al. (1999a), incluye emisión de N<sub>2</sub>O en la manufactura

<sup>5)</sup> La cantidad de semilla se dedujo del rendimiento

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

<sup>7)</sup> Incluye energía para producción y transporte, de Carlsson-Kanyama y Faist (2001)

Tabla 1: inventario de ciclo de vida para el cultivo de arroz en EE.UU., en campo anegado.

Los combustibles y electricidad listados en la Tabla 1 para producción de arroz son usados para maquinaria agrícola, bombeo de agua para irrigación, limpieza del grano, secado y almacenaje en el lugar de producción. El uso de fertilizante nitrogenado requiere alto porcentaje de energía y emisiones. En los cultivos con fertilización hay dos factores que suman a las emisiones: 1) se producen emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O en la manufactura de los fertilizantes (Kramer et al., 1999); y 2) se producen emisiones de N<sub>2</sub>O en los suelos nitrogenados. En el caso del cultivo de arroz, como consecuencia del anegamiento que favorece fenómenos anaeróbicos, las emisiones de N<sub>2</sub>O son bajas, pero las de CH<sub>4</sub> son altas. Ambas contribuciones pueden compararse en la Tabla 1.

En el caso del arroz blanco, que es el que mayoritariamente se consume, una vez que el cereal es limpiado (descortezado), se almacena a la espera del transporte a la planta de pulido. En el proceso de pulido aproximadamente el 29% se separa para alimento animal, con un valor económico mucho menor al del arroz pulido. Luego se transporta por tierra en camiones de 40 toneladas de capacidad hasta el puerto, y por barco desde un puerto en la costa este de EE.UU. hasta el puerto de Gotemburgo en Suecia. En la Tabla 2 se resumen los datos usados en transporte, y en la Tabla 3 su aplicación para obtener la energía almacenada y emisiones producidas para el arroz blanco puesto en puerto de Gotemburgo.

|  | Distancia (km) | Energía específica (MJ/ ton km) | Emisiones específicas (kg CO <sub>2</sub> /ton km) | Energía usada en el transporte (MJ / kg) | Emisiones en el transporte (kg CO <sub>2</sub> / kg) |
|--|----------------|---------------------------------|--|--|--|
| Transporte campo al puerto de partida, camión 40 ton | 2000           | 0,63 (diesel)                   | 0,047  | 1,26                                     | 0,094  |
| Barco interoceánico sin refrigeración                | 7500           | 0,2 (diesel)                    | 0,016  | 1,50                                     | 0,12   |

Fuente: Carlsson-Kanyama y Faist (2001), apéndice 9, transporte

Tabla 2: Energía usada y emisiones de GEI en transporte de larga distancia, en camión y en barco

No se incluyeron las operaciones de carga y descarga porque al presente carecemos de esos datos. El transporte se considera sin refrigeración. Las distancias se estimaron a través del programa GoogleEarth (de libre acceso en [www.google.com](http://www.google.com)). Dada la mayor eficiencia del transporte por barco, en la Tabla 2 se obtienen impactos totales por transporte terrestre y oceánico que son similares.

| Etapas del proceso             | Producto final | Energía acumulada (MJ / kg producto final) | GEI acumulados (kg CO <sub>2</sub> e. / kg prod. final) |
|--------------------------------|----------------|--|---|
| Cultivo                        | Arroz limpio   | 3,85                                       | 0,89  |
| Procesado para exportación     | Arroz pulido   | 5,52 <sup>1)</sup>                         | 1,27 <sup>2)</sup>                                      |
| Puesto en Gotemburgo (Tabla 2) | Arroz pulido   | 8,28                                       | 1,49  |

1) Se incluyó la energía de pulido, 0,1 MJ/kg, y la tasa de pérdida de 0,71 (Carlsson-Kanyama & Faist (2001), apéndice 6)

2) Se consideró el valor de 0,22 kg CO<sub>2</sub>/MJ eléctrico para la matriz generadora de EE.UU. (IEA, 2008)

Tabla 3: Resumen del inventario de ciclo de vida

En los valores de la Tabla 3 se asume que el molino se encuentra cerca del campo, y que el transporte está incluido en los 2000 km terrestres. Se supone también que el descarte de 29% para alimento animal tiene valor económico despreciable en comparación con el arroz pulido. Los valores finales en puerto de Gotemburgo muestran que la influencia del procesado y del transporte es muy significativa, por lo cual es importante comparar los resultados de los inventarios para productos en las mismas etapas del proceso y puestos en la misma región.

## ENERGÍA Y EMISIONES EN ALIMENTOS DE USO CORRIENTE EN SUECIA

En esta sección mostramos los resultados de la revisión bibliográfica, así como también de nuestras estimaciones, basadas en datos de entrada como se mostró en la sección anterior. En la Tabla 4 se listan algunos de los 92 alimentos de distintos orígenes y métodos de producción que fueron estudiados. Por ejemplo, en carne bovina se tienen 7 resultados para: Reino Unido, Suecia producción orgánica, Suecia producción convencional, Argentina mixto pastura y engorde, Uruguay sólo pastura, Brasil sólo pastura, e Irlanda. Las estimaciones propias realizadas en el presente trabajo se identifican con las siglas del proyecto Metabolismo del Hogar (MH), y las de otros autores por la referencia.

| Tipo de alimento                       | País, fuente   | Energía MJ/kg | GEI, (kg CO <sub>2</sub> e./kg) | Referencias   |
|--|--|---------------|---------------------------------|---|
| Carne bovina (kg de carcasa sin hueso) | Reino Unido, <sup>1)</sup>                                     | 40            | 23                              | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Suecia, <sup>4)</sup>  | 37            | 32                              | (Cederberg et al., 2003)                              |
|  | Suecia, <sup>1)5)</sup>  | 83            | 20                              | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Argentina, <sup>2)</sup>                                       | 52            | 22                              | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Uruguay, <sup>3)</sup>   | 38            | 29                              | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Brasil, <sup>3)</sup>  | 9,0           | 40                              | (Cederberg et al., 2009)                              |
|  | Irlanda,   |               | 29                              | (Casey y Holden, 2006)                                |
| Carne ovina (kg de carcasa sin hueso)  | Reino Unido, <sup>1)</sup>                                     | 33            | 24                              | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Suecia, <sup>1)</sup>  | 67            | 17                              | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Uruguay, <sup>3)</sup>   | 40            | 36                              | MH <sup>a)</sup>                                      |
| Carne porcina (kg carc. s/ hueso)      | Reino Unido, <sup>1)</sup>                                     | 25            | 9,2                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Suecia, <sup>1)</sup>  | 32            | 7,3                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
| Pollo (kg de carcasa sin hueso)        | Reino Unido,   | 18            | 6,6                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Suecia,  | 29            | 2,9                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Noruega,   | 33            |                                 | (Ellingsen et al., 2006)                              |
| Peces y mariscos (kg de carcasa)       | Salmón cultivado, Canadá,                                      | 48            | 3,7                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Salmón cultivado, Chile,                                       | 37            | 2,9                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Salmón cultivado, Noruega,                                     | 41            | 3                               | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Atún, pesca, España,   | 26            | 2,6                             | (Hospido et al., 2005)                                |
|  | Langosta, Suecia, pesca con jaula, <sup>6)</sup>               | 80            | 11                              | (Ziegler et al., 2008)                                |
|  | Langosta, Suecia, pesca de arrastre convencional <sup>6)</sup> | 325           | 32                              | (Ziegler et al., 2008)                                |
| Huevos (kg de huevo)                   | Reino Unido,   | 14            | 5,5                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Suecia, con alimento local, <sup>7)</sup>                      | 12            | 1,6                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Suecia, c/ alimento importado, <sup>8)</sup>                   | 16            | 1,9                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
| Lácteos (kg de producto)               | Leche, Reino Unido   | 2,5           | 1,1                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Leche, Suecia <sup>4)</sup>                                    | 2,8           | 1                               | (Cederberg et al., 2003)                              |
|  | Queso, Suecia,   | 38            | 8,8                             | (Berlin 2002)   |
| Aceites y grasas (kg de producto)      | Colza, Reino Unido, <sup>9)</sup>                              | 5,8           | 1,7                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Colza, Suecia, <sup>9)</sup>                                   | 6,0           | 0,75                            | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Aceite de Colza, Suecia,                                       | 17            | 2,1                             | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Aceite soja, Argentina,  | 13            | 1,8                             | (Dalgaard et al., 2008)                               |
|  | Aceite de oliva, Chipre,                                       | 25            | 4,0                             | (Aavramides Fatta, 2008)                              |
|  | Manteca, Alemania, <sup>10)</sup>                              | 100           | 26                              | Energía: (Büsser et al., 2009); GEI: MH <sup>a)</sup> |
|  | Manteca, Suecia,   | 46            | 15                              | MH <sup>a)</sup>                                      |
| Legumbres (kg legumbre seca)           | Soja, Brasil,  | 4,0           | 0,40                            | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Soja, Argent. o Brasil o EE.UU.                                | 3,4           | 1,7                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Porotos, Reino Unido   | 2,9           | 1,0                             | (Williams et al., 2006)                               |
|  | Porotos marrones, Suecia                                       | 7,0           | 0,66                            | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Arvejas, Suecia  | 1,8           | 0,13                            | MH <sup>a)</sup>                                      |
| Cereales (kg grano limpio)             | Trigo, Suecia  | 1,7           | 0,35                            | MH <sup>a)</sup>                                      |
|  | Trigo, Reino Unido   | 2,9           | 0,83                            | (Williams et al., 2006)                               |

|   |   |      |      |  |
|---|---|------|------|--|
|   | Trigo, Reino Unido  | 1,4  | 0,28 | (Brentrup et al., 2004)                            |
|   | Cebada, Reino Unido   | 2,8  | 0,75 | (Williams et al., 2006)                            |
|   | Cebada, Suecia  | 2,3  | 0,41 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Centeno, Suecia   | 1,8  | 0,34 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Avena, Suecia   | 2,6  | 0,45 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Maíz, EE.UU.  | 6,1  | 0,73 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Maíz, EE.UU.  | 2,5  | 0,86 | (Williams et al., 2006)                            |
|   | Arroz pulido, EE.UU. <sup>11)</sup>                               | 8,3  | 1,5  | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Arroz pulido, EE.UU. <sup>11) 12)</sup>                           | 12   | 1,6  | Energía: (Pimentel 2009);<br>GEI: MH <sup>a)</sup> |
| Raíces, tubérculos y<br>zapallo<br>(kg de producto)       | Arroz pulido, Japón <sup>11)</sup>                                | 8,4  | 1,5  | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Papa, Suecia  | 1,2  | 0,14 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Papa, Suiza   | 1,4  | 0,12 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Papa, Dinamarca   | 0,5  | 0,07 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Papa, Reino Unido   | 1,8  | 0,27 | (Williams et al., 2006)                            |
|   | Remolacha, Suecia   | 0,74 | 0,09 | MH <sup>a)</sup>                                   |
| Hortalizas en<br>invernadero asistido<br>(kg de producto) | Zapallo, Suecia   | 0,63 | 0,06 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Tomate, Suecia, invernadero asistido c/<br>electricidad y propano | 51   | 3,7  | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Tomate, Reino Unido, invernadero asistido                         | 130  | 9,4  | (Williams et al., 2006)                            |
|   | Pepino, Suecia, invernadero asistido con<br>electricidad          | 40   | 0,73 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Morrones, Suecia, invernadero asistido<br>con fuel oil            | 132  | 9,8  | MH <sup>a)</sup>                                   |
| Hortalizas en campo<br>(kg producto)                      | Tomate, España  | 3,0  | 0,47 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Tomate, EE.UU.  | 3,4  | 0,25 | Energía: (Pimentel 2009);<br>GEI: MH <sup>a)</sup> |
|   | Pepino, Suecia  | 0,52 | 0,05 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Repollo, Suecia   | 0,82 | 0,10 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Brócoli, Suecia   | 3,3  | 0,35 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Zanahoria, Suecia   | 0,64 | 0,06 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Lechuga, Suecia   | 1,1  | 0,10 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Lechuga, Holanda  | 0,5  | 0,10 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Cebolla, Suecia   | 0,73 | 0,07 | MH <sup>a)</sup>                                   |
| Frutas<br>(kg producto)                                   | Manzana, Suecia   | 0,31 | 0,03 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Manzana, Nueva Zelanda  | 5,1  | 0,40 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Manzana, Nueva Zelanda  | 5,3  | 0,43 | (Milà i Canals et al., 2007)                       |
|   | Manzana, Francia  | 2,0  | 0,15 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Manzana, Suiza  | 2,5  | 0,18 | (Mouyon et al., 2006)                              |
|   | Naranja, EE.UU.   | 3,3  | 0,30 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Cerezas, Suecia   | 2,7  | 0,23 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Cerezas, EE.UU.   | 4,8  | 0,44 | MH <sup>a)</sup>                                   |
|   | Frutillas, EE.UU.   | 5,2  | 0,55 | MH <sup>a)</sup>                                   |

<sup>a)</sup> MH (Metabolismo del Hogar) indica que los valores fueron calculados en el presente trabajo

<sup>1)</sup> Producido en corral de engorde; <sup>2)</sup> Producido en 80% pasturas y 20% corral de engorde; <sup>3)</sup> Producido 100% en pasturas; <sup>4)</sup> producción orgánica; <sup>5)</sup> producción convencional; <sup>6)</sup> Carcasa significa langosta en puerto, de lo cual 1 kg rinde 0,30 kg de parte comestible; <sup>7)</sup> alimento producido en Suecia; <sup>8)</sup> alimento importado transoceánico; <sup>9)</sup> semillas oleaginosas, no incluye aceite; <sup>10)</sup> incluye ciclo de vida hasta consumo final en el hogar; <sup>11)</sup> se considera 30% merma en el pulido del grano; <sup>12)</sup> incluye estimación de energía de la tarea manual;

Tabla 4: Energía acumulada y GEI emitidos en la producción de alimentos, para producción local en Suecia, y en otros países transportados hasta puerto de entrada en Gotemburgo. No incluye logística en transporte ni en puerto.

En la Tabla 4 se agruparon los alimentos de acuerdo al uso y modo de producción. En los casos de repeticiones del alimento pero proveniente de distintos países, se resumen los valores para los principales proveedores en el mercado de Suecia. En todos los casos, se incluyó el transporte hasta puerto de entrada en Suecia, estimando las distancias con el programa Google Earth (de acceso libre en [www.google.com](http://www.google.com)). El transporte tiene influencia significativa sólo para aquellos alimentos que presentan bajas energías y emisiones en sus etapas de producción. Por ejemplo, compárense las energías y emisiones para transporte de largas distancias de la Tabla 2 con aquellas de la Tabla 4. Las mayores energías y emisiones se encuentran para productos de origen animal y para hortalizas provenientes de invernaderos calefaccionados. La unidad funcional es 1 kg de alimento en la entrada a mayorista. Para las carnes, esto se denomina carcasa sin hueso, y son piezas grandes que luego requieren del trabajo de trozado para empaque y venta. Para legumbres y cereales la unidad es 1 kg limpio a granel, y para hortalizas y frutas la unidad no incluye el empaque mayorista.

En la Figura 1 se graficó la energía usada para cada uno de los alimentos estudiados, agrupados según su función nutricional más destacada. Se definen a las carnes, huevos y lácteos como fuentes de proteína animal; y a las legumbres como fuente de proteína vegetal. Los cereales son predominantes en cantidades consumidas y se complementan con las legumbres para formar proteínas vegetales completas (OMS, 2003); los tubérculos, raíces y zapallos son fuentes de carbohidratos complejos similares a los cereales; se distinguen las grasas vegetales de las animales y las hortalizas producidas en invernaderos asistidos y a campo. El eje horizontal sin rótulo (eje z) representa un número de orden arbitrario que ayuda a la visualización de todos los casos.

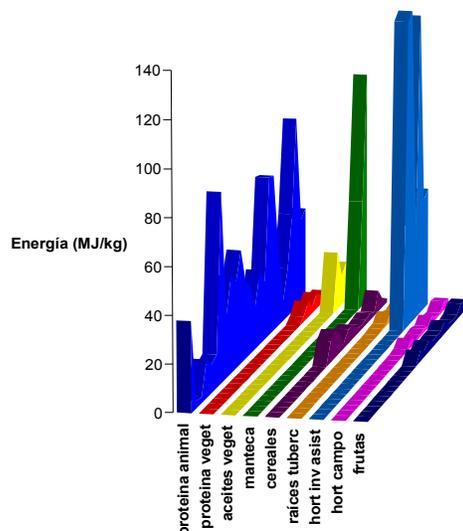


Figura 1: Energía acumulada en la producción y transporte de 1 kg de alimento. Las abreviaturas “hort inv asist” significan horticuultura en invernaderos asistidos con calefacción.

En la Figura 2 se graficaron las emisiones de GEI para los alimentos estudiados (en parte citados en la Tabla 4). El valor más alto para pesca de langosta con arrastre de fondo marino no se incluyó en las figuras 1 y 2 por una elección de escala. Ese tipo de producción constituye el 70% de los casos, pero no es un alimento masivo. En la Tabla 4 se lista su valor sólo a los efectos de comparar métodos de producción, y además como indicador de actividades, en línea con los invernaderos calefaccionados, que presentan altos potenciales de mitigación.

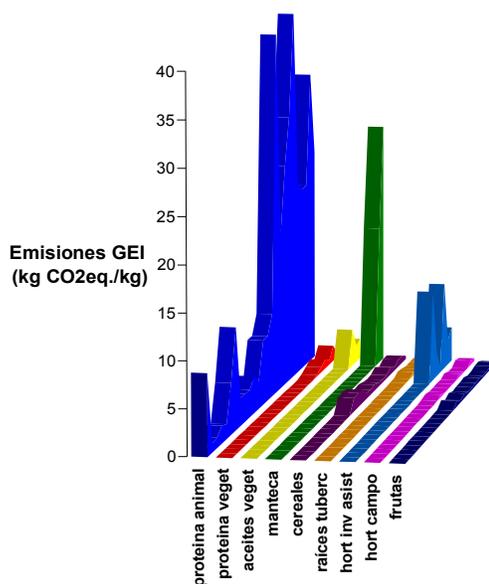


Figura 2: Gases de efecto invernadero emitidos en la producción y transporte de 1 kg de alimento. Las abreviaturas “hort inv asist” significan horticuultura en invernaderos asistidos con calefacción.

En las figuras 1 y 2 puede observarse que las tendencias de intensidades relativas entre grupos de alimentos son distintas para energía y emisiones. En el caso de emisiones de GEI la producción animal presenta valores mucho más altos, incluso que en los invernaderos calefaccionados. Esto se debe a las emisiones de gases N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, predominantes en alimentación animal, manejo de estiércol y fermentación digestiva (González y Carlsson-Kanyama, 2007 y 2008).

Sería deseable realizar estas comparaciones con un número aun mayor de datos; sin embargo el número actual permite visualizar la tendencia de impactos relativos entre grupos de productos y métodos de producción. Los impactos relativos mostrados en las Figuras 1 y 2 están de acuerdo con análisis publicados por otros autores (Steinfeld et al, 2006; Williamson et al., 2006; Garnett, 2009).

El análisis presentado hasta aquí tiene la limitación de que estudia el impacto por kg de alimento sin considerar las propiedades nutricionales. En la sección siguiente se analizan algunos datos nutricionales de los ítems presentados aquí.

### PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA POR UNIDAD DE ENERGÍA USADA Y GEI EMITIDOS

Por razones de espacio, no es posible aquí abundar en detalles para cada alimento. De todos modos, existen características similares en los grupos de alimentos que permiten observar la tendencia a través de promedios. Por ejemplo, en cuanto a proteínas, las carnes y pescados tienen entre 190 y 230 gramos por kg de producto en el punto de entrega considerado aquí; las legumbres presentan valores similares, salvo la de soja que tiene alrededor de 360 g / kg de porotos; y los cereales de secano tienen entre 100 y 120 g de proteínas por kg mientras que el arroz 70 g /kg (USDA, 2009). Tomando promedios de energía y emisiones de GEI para carnes, huevo, queso, legumbres, cereales, y tubérculos y raíces, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 5.

|                               | Proteínas por cada kg de alimento en puerta mayorista<br>(g proteína / kg) <sup>1)</sup> | Energía acumulada promedio del grupo <sup>2)</sup><br>(MJ/kg) | GEI emitidos promedio del grupo <sup>2)</sup><br>(kg CO <sub>2</sub> eq./kg) | Cantidad de proteína obtenida por unidad de energía<br>(g proteína/ MJ) | Cantidad de proteína obtenida por unidad de GEI<br>(g proteína / kg CO <sub>2</sub> equiv.) |
|-------------------------------|--|---|--|---|---|
| Carnes                        | 210  | 40  | 18   | 5,2   | 12  |
| Huevo                         | 126  | 14  | 3  | 9   | 42  |
| Queso                         | 250  | 38  | 8,8  | 6,6   | 28  |
| Legumbres <sup>3)</sup>       | 210  | 3,9   | 0,6  | 53  | 350   |
| Soja                          | 360  | 4,8   | 0,9  | 75  | 415   |
| Cereales secano <sup>4)</sup> | 110  | 3,6   | 0,6  | 31  | 191   |
| Arroz                         | 70   | 9,8   | 1,5  | 7,2   | 46  |
| Tubérculos y raíces           | 16   | 1,5   | 0,2  | 11  | 95  |

<sup>1)</sup> Datos de USDA, 2009; <sup>2)</sup> promedio de los valores de la Tabla 4; <sup>3)</sup> incluye porotos marrones, blancos y arvejas; <sup>4)</sup> sin anegamiento en los campos

Tabla 5: Cantidad de proteína obtenida por cada unidad de energía y de GEI acumulados en la producción y transporte de distintos grupos de alimentos.

Para carnes se promediaron los valores de carnes bovina, ovina, porcina, pollo y pescado listados en la Tabla 4, y se considera la cantidad de proteínas del producto crudo, como se entrega en puerto de entrada a la cadena mayorista. El promedio para huevos es el de los 3 valores citados en la Tabla 4. Se distingue a los cereales de secano del arroz, y a la legumbre de soja de las demás legumbres, por presentar características proteicas muy distintas.

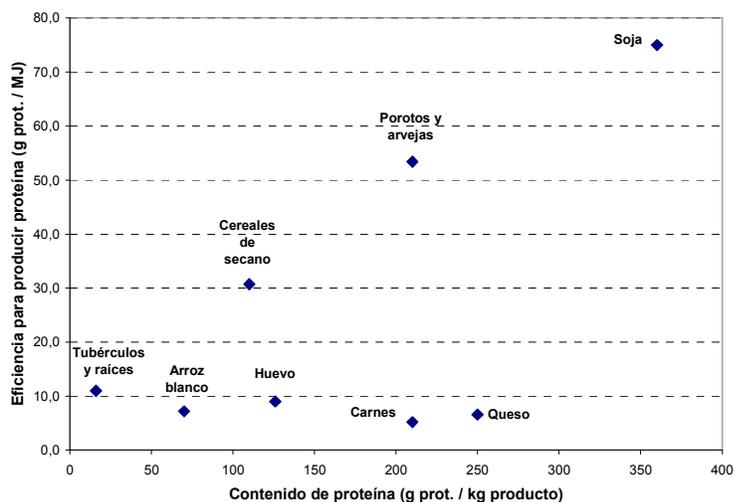


Figura 3: Eficiencia energética para producir proteína, en función del contenido proteico del producto alimenticio

En la Figura 3 se observa una tendencia similar a la informada previamente por otros autores para ciertos productos. Los productos de origen vegetal presentan eficiencia para obtención de proteínas mucho mayor a las alcanzadas por los alimentos de origen animal. Nótese que hasta un alimento poco proteico como la papa provee mayores cantidades de proteína por unidad de MJ usado. La baja eficiencia en los productos animales se debe a las cantidades de energía mayores que requieren, y refleja la baja eficiencia en la conversión de alimentos en carnes, lácteos y huevos. En la Figura 4 se muestra la eficiencia para obtener proteína pero en este caso en función de las emisiones de GEI asociadas a la producción y transporte de los alimentos.

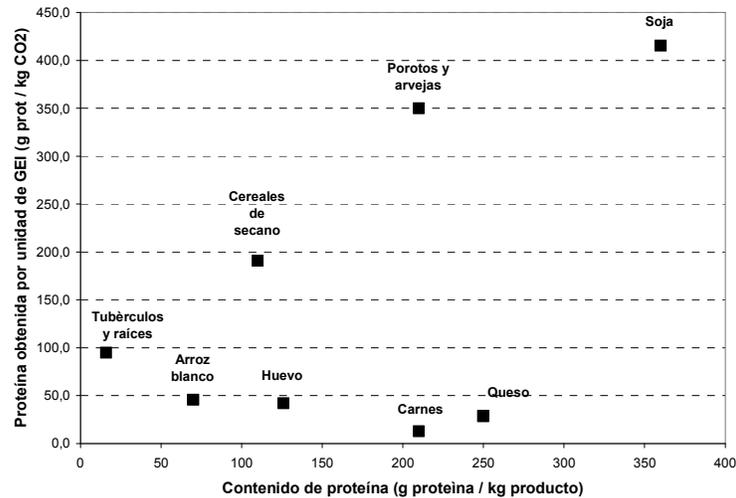


Figura 4: Proteína obtenida por cada unidad de gases de efecto invernadero emitida, en función del contenido proteico del producto alimenticio.

En la Figura 4 se observa la misma tendencia que para la energía, salvo el caso de las carnes, el cual presenta un valor relativo más bajo. Esto se debe a las emisiones más relevantes de  $N_2O$  y  $CH_4$  de la producción animal.

Es importante destacar que el presente estudio sólo considera la energía utilizada y los gases de efecto invernadero derivados de la producción y transporte, y no otros aspectos ambientales relevantes. La producción de alimentos puede estar asociada con deforestación, impactos en el uso de la tierra y del agua, contaminación por residuos, y cambios sociales con impacto ambiental, entre otros. Los casos de la producción de soja y de carnes en áreas deforestadas de Argentina y Brasil son ejemplos de estas situaciones. En el presente trabajo la proteína de soja resulta la más eficiente en energía y emisiones directas, pero hay variables indirectas que podrían influir al ser consideradas. De todos modos, el mismo criterio se usó para todos los productos que se comparan aquí (tampoco se incluyó cambio en el uso de la tierra para otras legumbres, cereales o carnes). El trabajo de Steinfeld et al (2006) analiza un mayor número de variables en un número menor de productos.

Las Figuras 3 y 4 sugieren que, en el caso de la proteína de origen vegetal un aumento en el contenido proteico está asociado a una mayor eficiencia. En trabajos anteriores se estudiaron algunas dietas, y se mostró que las combinaciones de legumbres con cereales proveen la mayor cantidad de proteínas y de calorías por unidad de GEI emitidos (Carlsson-Kanyama, 1998; González y Carlsson-Kanyama, 2008). Por el contrario, en los productos alimenticios de origen animal, parecería que la tendencia es, o bien de una eficiencia constante o bien que disminuye levemente con el aumento del contenido proteico del producto. Esta inferencia es preliminar y debe ser confirmada por la inclusión de todos los datos nutricionales para cada ítem, lo cual se presentará, junto con el análisis calórico, en trabajos futuros. De confirmarse estas reglas generales, serían útiles para sugerir mitigaciones a través de producciones alimenticias más eficientes.

## CONCLUSIONES

Dentro de un proyecto de análisis del consumo de los hogares en Suecia (Metabolismo del Hogar), se investigaron las energías y emisiones de gases con potencial de efecto invernadero (GEI) asociados a la producción y consumo de alimentos de uso corriente. Se analizaron 40 tipos de alimentos, que involucran 92 formas de producción y procedencia. En parte, el estudio se basó en inventarios de ciclo de vida propios, basados en datos de producción y transporte, y en parte en revisión de la literatura previa. La comparación de impactos ambientales en energía utilizada y GEI muestran valores mucho más elevados en productos de origen animal y en hortalizas provenientes de invernaderos calefaccionados. El transporte tiene impacto significativo sólo en aquellos productos con valores muy bajos de energías y GEI en las etapas de producción. Al investigar la eficiencia en la producción de proteína para ambos, energía y emisiones de GEI, se encontró que los productos de origen vegetal son mucho más eficientes que los de origen animal. Todos los productos de origen vegetal estudiados pueden constituir una dieta completa para la alimentación humana. Entonces, los valores más elevados de eficiencia se aprovecharían si esos productos proteicos de origen vegetal son consumidos directamente en la alimentación humana, sin pasar por la etapa de baja eficiencia de conversión en la alimentación animal. En las producciones animales también se aportan cantidades substanciales de gases metano y óxido nitroso, los cuales contribuyen a eficiencias aun más bajas por unidad de emisiones.

## REFERENCIAS

- Avraamides M., Fatta D. (2008). Resource consumption and emissions from olive oil production: a life cycle inventory case study in Cyprus. *Jou. Cleaner Prod.* 16, 809-821
- Berlin J. (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *Int. Dairy J.* 12, 939-953
- Brentrup F. et al. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology. *Eur. J. Agr.* 20, 265-279

- Büsser S., Jungbluth N. (2009). The role of flexible packaging in the life cycle of coffee and butter. *Int. J. Life Cycle Ass.* 14 (suppl 1) S80-S91
- Carlsson-Kanyama A. (1998). Climate change and dietary choices how can —how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23, 277-293
- 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., 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>
- Casey J.W., Holden N.M. (2006). Greenhouse gas emissions from conventional, agri-environmental scheme, and organic Irish suckler-beef units. *J. Env. Quality* 35, 231-239
- Cederberg C., Stadig M. (2003). System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *Int. J. Lif. Cyc. Ass.* 8 (6) 350-356
- Cederberg C., Meyer D., Flysjö A. (2009). Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and the use of land and energy in Brazilian beef production. The Swedish Institute for Food and Biotechnology, SIK report 792.
- Cohen, C. Lenzen M., Schaeffer R. (2005). Energy requirements of households in Brazil. *Energy Policy* 33, 555-562
- Dalgaard R., et al. (2008). LCA of soybean meal. *Int. J. Life Cycle Ass.* 13 (3) 240-254
- Ellingsen H., Aanonsen S.A. (2006). Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon—a comparison with chicken. *Int. Jou. Life Cycle Assesment* 1, 60-65
- EPA (2006). U.S. Environmental Protection Agency. Report: Global anthropogenic non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions 1990-2020. Libre acceso en <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>
- Garnett T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Env. Sci. Pol.* 12, 491-503
- 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, 01.07-01.14
- González A.D., Carlsson-Kanyama A. (2008). Gases de efecto invernadero en la producción y consumo de alimentos de uso corriente. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12, 01.07-01.14
- Hospido A., Tyedmers P. (2005). Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. *Fish. Res.* 76, 174-186
- IEA, (2008). Energy balances: electricity. International 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
- Milà i Canals L. et al. (2007). Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy. *Env. Sci. Poll. Res.* 14 (5), 338-344
- Mouron P. Et al. (2006). Management influence on environmental impacts in an apple production system on Swiss fruit farms: combining life cycle assessment with statistical risk assessment. *Agr. Ecos. Env.* 114, 311-322
- 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
- Pachauri S. (2004) An analysis of cross-sectional variations in total household energy requirements in India using micro survey data. *Energy Policy* 32, 1723-1735
- 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>
- Pimentel D. (2009). Energy inputs in crop production. *Energies* 2, 1-24
- Steinfeld H, et al (2006). Livestock's long shadow, environmental issues and options. FAO report, Rome 2006
- Thomassen M.A. et al. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems* 96, 95-107
- Williams A.G., Audsley E., Sandars D.L. (2006). Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. [www.silsoe.cranfield.ac.uk](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk), and [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk), accessed 15 June 2009
- USDA (2009). National Nutrient Database for Standard Reference. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>
- Ziegler F., Valentinsson D. (2008). Environmental life cycle assessment of Norway lobster caught along the Swedish west coast by creels and conventional trawls. *Int. J. Life Cycle Ass.* 13, 487-497

**ABSTRACT:** The aim of this work is to study the energy used and the greenhouse gas emissions associated with the production and transport of common food items. We have performed life cycle inventories for meats, eggs and dairy, legumes, cereals, fruits, vegetables, tubers and roots, and oily seeds. Along with previous published data, we have analysed 40 foods. When country of origin and means of production are sorted, we have studied a total of 92 food items. The functional unit was 1 kg of food at the input of the wholesale chain in Sweden. We have found that foods derived from animal production are associated with larger energy use and emissions than plant-origin foods, with the exception of vegetables produced in heated greenhouses. It was also found that the efficiency to produce protein is much higher for plant foods than for the animal origin ones.

**Keywords:** Production energy – Greenhouse gases – Agriculture and livestock production