

CONTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE ALIMENTOS AL CAMBIO CLIMÁTICO: EFICIENCIA CALÓRICA Y PROTEICA DE DISTINTOS GRUPOS DE ALIMENTOS

Alejandro D. González

Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (INIBIOMA), CONICET y Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche, 8400 Bariloche, RN, Argentina.
E-mail: gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

Recibido: 20-04-10; Aceptado: 10-05-10.

RESUMEN.- En trabajos previos se estudió la energía usada y los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por kg de distintos alimentos. En este artículo el objetivo es correlacionar los resultados con variables nutricionales, en particular obtener la eficiencia calórica y proteica de los distintos alimentos una vez transportados a un puerto mayorista. Se considera el caso de alimentos producidos en distintas regiones y países, y transportados al puerto de Gotemburgo, en Suecia. Esta elección responde a la disponibilidad de datos, y es una muestra significativa del intercambio internacional actual. Se obtuvo que la energía usada y los GEI emitidos por unidad de proteína y de calorías son mucho menores en productos de origen vegetal que en aquellos de origen animal. Notablemente, para los productos de origen vegetal se obtuvo una relación potencial decreciente entre energía y contenido de proteína. Este resultado indica que los alimentos vegetales con mayor contenido de proteína presentan eficiencias mayores. Sin embargo, para los productos de origen animal esta relación es opuesta: cuanto mayor es el contenido de proteína mayor es la energía usada por unidad de proteína. La eficiencia de producción y transporte de calorías alimentarias también es mucho mayor en productos de origen vegetal. Los resultados refuerzan propuestas previas de que un cambio de dieta hacia mayor cantidad de alimentos de origen vegetal puede hacer disminuir la energía usada y los GEI emitidos.

Palabras claves: Producción alimentaria. Transporte. Uso de energía. Emisiones de GEI. Agricultura sostenible.

CONTRIBUTION OF THE FOOD PRODUCTION AND TRANSPORT IN THE CLIMATIC CHANGE. PROTEIC AND CALORIC EFFICIENCY OF THE DIFFERENT FOOD TYPES.

ABSTRACT.- In previous works, the energy used and greenhouse gas (GHG) emitted per kg of food was studied. In the present article the aim is to investigate the correlation between these physical magnitudes with the nutritional value of foods, and in particular with protein and calories produced and delivered to a wholesale port. For this purpose the energy and GHG associated with foods of different origins and regions delivered to the port of Gothenburg in Sweden are obtained. This choice responds to data availability, but also it represents a sample of international food trade. The values of energy used or GHG emitted per unit of protein or calories delivered are much smaller for plant-origin foods than to animal-origin ones. Remarkably, for plant-based foods the amount of energy use per unit of protein decreased as a potential function when the amount of protein in the food increased, while the energy of delivering a unit of animal-based protein increased as the protein content increased. The efficiency to produce and transport calories is also much larger for foods of plant origin. The results support several previous proposals that encourage a diet change to more plant-based food habits to lower energy and GHG emissions.

Keywords: Food production. Food transport. Energy use. GHG emissions. Sustainable agriculture

1. INTRODUCCION

La producción, transporte y consumo de alimentos es uno de los sectores más complejos en el análisis de impactos ambientales. Su peso es relevante porque se trata de un rubro imprescindible y de mayor presión en escenarios futuros de crecimiento poblacional y limitación de recursos.

En las últimas dos décadas se comenzó a entender la importancia de este sector en los aspectos energético y de gases de efecto invernadero (GEI), y su posible contribución al cambio climático (Carlsson-Kanyama, 1998; Duchin, 2005; Williams et al., 2006; McMichael et al., 2007; Carlsson-Kanyama y González, 2009).

Por otro lado, el sector alimentario involucra procesos biológicos, químicos y físicos que impactan en el medio

ambiente en otras diversas formas: uso y contaminación del agua, eutrofización, contaminación por Cobre, pesticidas y productos farmacéuticos, deforestación y desertificación, entre otros.

La producción de alimentos comienza en la agricultura. En la actualidad, esta utiliza energía derivada de combustibles fósiles para la labranza, la fabricación de fertilizantes, y el procesamiento primario. A este uso de energía en el campo se suma el transporte, refrigeración y procesamiento hasta el consumo final. En el año 2000, el conjunto de estas actividades implicaron emisiones de CO₂ estimadas en 18,4% del total global de emisiones (EPA, 2006). Por ejemplo, en la producción de cereales, la energía y emisiones asociadas con la fabricación de fertilizantes en general supera a la incidencia de la maquinaria agrícola y el procesamiento primario (González y Carlsson-Kanyama, 2007; González et al., 2009). En el caso del almacenamiento, por ejemplo de manzanas o peras, la refrigeración de varios meses puede ser responsable de más de la mitad de la energía primaria utilizada (Milà et al., 2007).

Por otro lado, las actividades agropecuarias producen naturalmente dos GEI adicionales y de alto potencial de calentamiento global (PCG): metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O) (González y Carlsson-Kanyama, 2007). El CH₄ tiene un PCG que a un tiempo 100 años es 25 veces el correspondiente a CO₂, y el N₂O un PCG de 300 veces en el mismo período. En el balance de emisiones también del año 2000, la contribución de la agricultura de estos dos gases diferentes de CO₂ ha sido de 13,5% del global de emisiones (EPA, 2006).

Estas comparaciones nos muestran dos aspectos importantes: 1) la gran importancia de las emisiones de CO₂ asociadas con la producción y consumo de alimentos, y 2) que a esto se suma, pero no es exclusiva, la emisión de gases distintos del CO₂ y de alto PCG. En el estudio de la contribución del sector agrícola ganadero a las emisiones globales, generalmente se ha puesto el foco de atención en el CH₄ y el N₂O. Este énfasis es entendible porque la mayor parte de las emisiones de estos gases corresponden a la agricultura (52% del CH₄ y 84% del N₂O). Sin embargo, la influencia de estos gases ha soslayado la contribución principal debida a CO₂. Como veremos en detalle más abajo, las emisiones de CO₂ son muy importantes en la explicación de las eficiencias muy bajas que se obtienen para los productos alimenticios de origen animal en comparación con los de origen vegetal. En trabajos previos, esto pudo ser observado al estudiar algunos alimentos listos para su consumo en el hogar (González y Carlsson-Kanyama, 2008).

Una diversidad de investigaciones han demostrado que, dentro del sector agricultura, la producción animal está asociada a uso de energía y emisiones mayores a las de la producción vegetal (cereales, legumbres, oleaginosas, hortalizas y frutas). En un trabajo reciente, Audsley et al. (2009) mostraron que hasta en un país muy industrializado como el Reino Unido, la alimentación puede ser responsable por 30% de las emisiones totales. Estos autores también muestran que la producción animal está asociada con 75% del cambio de uso de la tierra en el sector agrícola, considerando las fuentes locales y las importaciones. En un informe publicado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (OAA-ONU) de Steinfeld et al. (2006), se

demonstró que a nivel mundial la producción animal está asociada con 18% de las emisiones globales. Por estos motivos se han realizado diversas propuestas de cambios en los hábitos alimentarios como estrategia para disminuir el impacto del sector al cambio climático (Carlsson-Kanyama, 1998; Carlsson-Kanyama et al., 2003; Duchin, 2005; McMichael et al., 2007; Michaelowa and Dransfeld, 2008; Steffest et al., 2009; Garnett, 2009; Friel et al., 2009; Carlsson-Kanyama y González, 2009). En estas propuestas también se evalúa el impacto del cambio de hábitos alimentarios en la salud humana. Las investigaciones de la última década son concluyentes en la asociación de enfermedades crónicas graves con el consumo excesivo de alimentos de origen animal, así como también con el consumo muy escaso de alimentos vegetales, los cuales actuarían como protectores de la salud a través de diversas sustancias (WCRF, 2009; Harvard, 2010).

El objetivo del presente trabajo es obtener la energía usada y los GEI emitidos en la producción y transporte a un mismo puerto, de 1 kg de proteína y 1 MJ de calorías alimenticias. Estas cantidades representan eficiencias para obtener proteína y caloría en función de ambas, la energía y los GEI emitidos. Los resultados permitirán comparar algunos impactos ambientales de distintos grupos de alimentos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En trabajos previos (González y Carlsson-Kanyama, 2007 y 2008; González et al., 2009), se mostraron los fundamentos de cálculo de emisiones y energía utilizada en la producción agropecuaria. Usando datos de insumos en la producción primaria (Carlsson-Kanyama y Faist, 2001), junto con datos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006), de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2009), y estudios de varios autores, se obtuvieron las energías y emisiones para la producción y procesamiento primario de una diversidad de alimentos. Por ejemplo, Kramer et al. (1999) realizaron estudios detallados de la fabricación de fertilizantes, en los cuales se indican las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O en cada paso. Los datos agronómicos globales proveen la cantidad de fertilizante usada por ha y los rindes para cada cultivo. Sumado a los impactos en la fabricación también se consideran emisiones debidas al fertilizante en el ciclo del nitrógeno en los suelos (González y Carlsson-Kanyama, 2007). El procesamiento primario de los productos agrícolas conlleva cosecha, secado, almacenamiento, y faena y manejo de estiércol en el caso de algunos productos de origen animal. Para cada uno de estos pasos existen datos de energía y tipos de combustible que permiten encontrar las cantidades buscadas. Una vez que el alimento deja el campo (denominado en general etapa primaria) debe considerarse el transporte hasta un punto mayorista en donde se almacena, fracciona y distribuye en una nueva etapa mayorista. En estos pasos puede haber períodos de distinto tiempo en refrigeración, y también la refrigeración puede ocurrir en el transporte. Para evaluar los impactos totales del consumo en los hogares deben agregarse los pasos de comercialización, procesamiento minorista y en los mismos hogares, los cuales son característicos de cada alimento y en general involucran una dificultad mayor.

A los fines de comparar distintos grupos de alimentos para estudiar las eficiencias de producción y transporte, optamos aquí por considerar como punto final un puerto internacional de recepción en Suecia (Gotemburgo). Los datos de energía

y emisiones usados aquí fueron obtenidos de cálculos propios y de búsqueda bibliográfica detallados en un trabajo reciente (González et al., 2009). En esa publicación se resumen las energías y emisiones en producción y transporte para 40 alimentos diferentes, abarcando los principales grupos alimentarios: carnes, lácteos, cereales, legumbres, tubérculos, raíces y otros vegetales calóricos, hortalizas, frutas, y aceites. Para considerar las variaciones regionales y de modalidades de producción, en los rubros con mayores diferencias se obtuvieron datos de países y formas productivas diversas. Estos están detallados en González et al. (2009), y en estos casos consideramos aquí el promedio de distintos orígenes para cada alimento. Estos datos se listan en la Tabla 1, junto con los valores de dos propiedades nutricionales en que se focaliza el presente estudio: proteínas y calorías alimentarias.

Se eligen aquí las dos variables nutricionales macroscópicas más limitantes para una alimentación adecuada. Existen otras variables también importantes que pueden ser estudiadas con la misma metodología usada en el presente

trabajo. Los datos de proteína y calorías listados en la Tabla 1 se obtuvieron de una base de datos completa y de libre acceso (USDA, 2010). La unidad MJ/kg en la segunda columna se refiere a calorías alimentarias de acuerdo a los datos nutricionales. La cantidad de proteína se da en gramos/kilo de producto.

En todos los casos, la unidad funcional es 1 kg de producto alimenticio en la forma que se entrega en puerto. Las legumbres y cereales se consideraron secos, como se encuentran en el puerto mayorista. Para las carnes se consideraron cortes con 10% de contenido de grasa, esto afecta en mayor medida a las calorías. Las carnes se consideraron en trozos grandes sin hueso, como habitualmente se comercializa para exportación. El factor de merma considerado entre kg de carcasa caliente y de cantidad exportable sin hueso es de 0,7 (Cederberg et al., 2009).

Tabla 1: Calorías alimentarias, contenido de proteína, energía usada y GEI emitidos para la producción y transporte a puerto mayorista de Gotemburgo (Suecia), de distintos alimentos

	Calorías alimentarias ¹⁾ (MJ / kg)	Contenido de proteína ¹⁾ (g proteína /kg)	Energía usada ²⁾ (MJ /kg)	GEI emitidos ²⁾ (kg CO ₂ eq. /kg)	Número de datos usados en el promedio
Carne bovina	7,3	206	47	29	7
Carne ovina	8,5	193	46	26	3
Carne porcina	7,4	206	28	8,2	2
Carne pollo	8,6	188	27	4,7	3
Carne pescado	6,0	207	40	3,1	4
Huevo	6,0	126	14	3,0	3
Leche	2,5	32	3,0	1,0	2
Queso	15,0	249	38	8,8	1
Poroto	14,3	212	5,1	0,86	2
Arveja	14,2	245	3,5	0,49	1
Poroto de Soja	18,6	365	4,8	0,72	3
Poroto haba	14,2	261	4,6	0,94	1
Trigo	13,8	111	3,9	0,58	4
Maíz	15,3	94	4,8	0,67	3
Avena	16,3	169	3,0	0,47	1
Cebada	14,8	111	2,7	0,60	2
Centeno	14,1	103	2,1	0,36	1
Arroz	15,0	66	7,9	1,2	3
Papa	2,9	17	1,8	0,19	5
Remolacha	1,8	16	1,1	0,11	1
Zapallo	1,4	10	1,0	0,09	1
Zanahoria	1,7	9	1,4	0,12	2
Cebolla	1,7	11	1,0	0,10	1
Brócoli	1,4	28	3,6	0,37	1
Lechuga	0,71	12	2,2	0,20	3
Tomate	0,75	8,8	3,4	0,30	2
Manzana	2,2	2,6	3,6	0,28	7
Naranja	1,9	7,0	3,8	0,32	2
Cereza	2,6	11	4,0	0,38	2
Frutilla	1,3	6,7	4,1	0,38	2
Aceite de colza	37	0	17	2,1	1
Aceite de oliva	37	0	25	4,0	1
Aceite de soja	37	0	13	1,8	1

¹⁾Datos nutricionales de USDA (2010); ²⁾ de acuerdo a metodología y valores dados en González et al. (2009). En los casos en que para un alimento determinado existan resultados de más de un tipo de producción o país de origen se tomó el promedio.

En la Tabla 1 se resumen también los valores promedio de los datos disponibles para uso de energía y emisiones de GEI por kg de alimento. En la última columna se lista el número de datos que fueron promediados en cada alimento. Para todos los productos se asumieron condiciones de transporte por kg a granel, sin tener en cuenta el empaque.

Las distancias para el transporte fueron estimadas con el programa GoogleEarth (www.google.com). Las energías específicas para transporte y refrigeración se tomaron de Carlsson-Kanyama y Faist (2001), quienes resumen datos de varias publicaciones especializadas. Los valores específicos de energía y emisiones para el transporte se calculan por kg de producto. La refrigeración durante el transporte involucra una diferencia cercana al 20% entre alimentos enfriados y no enfriados.

Se observa que los productos de origen animal presentan los valores de energía y emisiones por kg mayores a los de origen vegetal. Como ya se mencionó, esto ya ha sido observado por diversos autores, y ha sido la base de varias propuestas de cambios en hábitos alimentarios como estrategia para disminuir impactos ambientales derivados del cambio climático. De todos modos, las magnitudes por kg no representan los aportes alimenticios de los productos. Incluir alguna variable nutricional es un primer paso para obtener comparaciones más realistas.

3. EFICIENCIA ENERGÉTICA

3.1 Energía para obtener proteína

Se define aquí la eficiencia energética para obtener proteína a la cantidad de energía usada en la producción y transporte a puerto mayorista de 1 kg de proteína. Es importante notar que no sólo se considera la etapa de producción, sino también una parte de la cadena de consumo. La intención es acumular datos y experiencia en evaluaciones que permitan en algún momento estudiar dietas completas de los alimentos consumidos en el hogar. La Figura 1 muestra los resultados de la eficiencia energética proteica para los productos de origen vegetal de la Tabla 1. No se incluyen las frutas porque dificultaría la escala en el gráfico, y de todos modos no son relevantes para el análisis de proteínas.

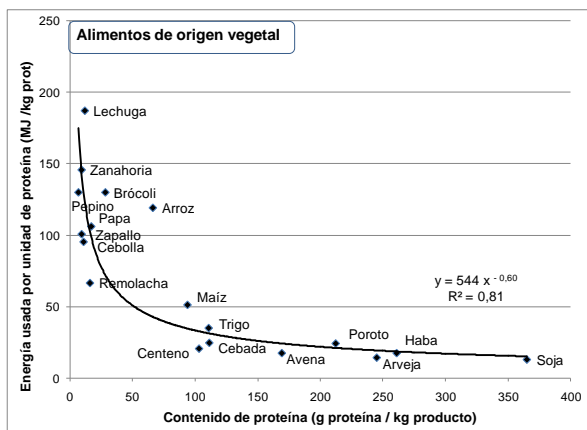


Fig. 1: Energía usada para obtener 1 kg de proteína de origen vegetal.

Se observa que el grupo de alimentos energéticamente más eficientes para obtener proteína son las legumbres, con valores entre 13 y 24 MJ por cada kg de proteína. Le siguen

los cereales regionales (avena, trigo, cebada y centeno), con valores entre 18 y 35 MJ/kg proteína. Los valores para maíz y arroz, 51 y 119 MJ/kg proteína respectivamente, corresponden a producciones primarias en Japón y EE.UU., y por lo tanto incluyen un mayor peso del transporte hasta el puerto mayorista. Las raíces, zapallo y tubérculos presentan valores entre 66 y 106 MJ/kg proteína, y las hortalizas entre 130 y 187 MJ/kg proteína. Los aceites no contienen proteína, y las frutas cantidades pequeñas, por lo cual su inclusión será relevante sólo en el análisis calórico.

Una interpolación de los datos de la Figura 1 muestra que las eficiencias están correlacionadas con el contenido de proteína ($R^2 = 0,81$) del producto, y que responde a una función potencial decreciente. Este es un resultado muy importante porque muestra que, para los productos vegetales, a medida que aumenta su contenido de proteína se necesita menos energía para la producción y el transporte de una unidad de proteína.

De los productos analizados, el menor valor energético se da para la soja. Este hecho concuerda con la tendencia actual a usar esta legumbre como alimento animal. Por naturaleza, la producción animal conlleva una ineficiencia en la conversión del alimento. Por ejemplo, en bovinos se necesitan entre 15 y 20 kg de alimento para producir 1 kg de carne, en cerdos entre 6 y 10 kg alimento/kg carne, y en aves entre 3 y 5 kg alimento/kg carne.

La Figura 1 explica en parte el uso extensivo de la soja como suplemento proteico en alimentación animal. Nótese que las dos legumbres muy cercanas en eficiencia a la soja son haba y arveja, las cuales son de producción local en Europa y alternativas a la soja de importación.

En la Figura 2 se muestra la misma eficiencia energética pero para los productos de origen animal listados en la Tabla 1. De estos los de mayor eficiencia son la leche y el huevo (94 y 114 MJ/kg proteína respectivamente). Las carnes presentan valores energéticos entre 136 y 239 MJ/kg proteína, y el queso de 154 MJ/kg proteína. Aparentemente, existe una correlación entre la eficiencia energética proteica y el contenido de proteína de los productos de origen animal ($R^2 = 0,48$). En este caso la cantidad de valores no es suficiente para una afirmación definitiva. De todos modos, la correlación obtenida en la Figura 2 es opuesta a la observada en los alimentos de origen vegetal.

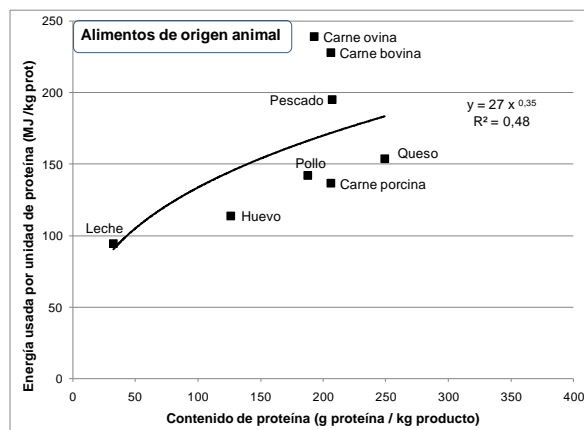


Fig. 2: Energía usada para obtener 1 kg de proteína de origen animal.

La relación para los alimentos de origen animal aparentemente es potencial creciente: a mayor contenido de proteína mayor la energía necesaria para obtenerla. Podemos relacionar este hecho con la producción de pescados cultivados. En el caso del salmón cultivado (el de mayor producción mundial), para bajar los costos y disminuir el impacto ambiental se han realizado desarrollos para cambiar su dieta original netamente animal (otros peces) (Pelletier et al., 2009). En la actualidad se usa entre 40% y 50% de alimentos de origen vegetal en la dieta del salmón (soja, gluten de trigo y maíz, y otras harinas). El resto del alimento lo constituyen proteínas y aceites de pescado.

La comparación de las Figuras 1 y 2 muestra que la producción de proteína de origen vegetal demanda valores de energía mucho menores a los de la producción animal. Puede observarse el caso de algunos vegetales, como las raíces, zapallo, y papa, que no contienen cantidades importantes de proteína pero que presentan eficiencias proteicas mayores a las carnes. Esto es debido a la energía muy baja para las producciones de esos productos vegetales.

El uso de la energía está directamente relacionado con el uso de combustibles fósiles y la emisión de CO₂. El análisis anterior muestra que en el consumo de alimentos de origen animal, además de los gases CH₄ y N₂O, las emisiones de CO₂ son también importantes. En parte esto explica el resultado de Steinfeld et al. (2006), que estimaron en 18% la incidencia de la producción animal a las emisiones globales

3.2 Energía usada para obtener calorías alimentarias

En esta sección se realiza un análisis de eficiencia energética similar al anterior pero considerando las calorías de cada alimento. Se define, entonces, la eficiencia para obtener calorías alimentarias en un puerto mayorista a la relación entre la energía en MJ usada en la producción y transporte de 1kg del producto y su contenido de calorías alimentarias en MJ también por kg de producto. Con esta definición, los valores son adimensionales y representan la cantidad de energía invertida por cada unidad de energía almacenada en el alimento. Un valor igual a 1 significa que se almacena la cantidad que se invirtió en producción y transporte. No se trata de una eficiencia biológica porque no incluye la energía solar absorbida por las plantas u otras contribuciones del medio ambiente ajenas a los insumos agrícolas.

En la Figura 3 se grafican los resultados de la eficiencia calórica para los alimentos y aceites listados en la Tabla 1. Se observa que aquellos alimentos de alta eficiencia energética para proveer proteína también lo son para proveer calorías. Las mayores eficiencias se obtienen para legumbres, cereales, raíces, zapallos y tubérculos calóricos, y aceites. Los cereales regionales presentan eficiencias en el rango 0,15- 0,28, mientras que los que requieren mayor transporte como el maíz y el arroz en 0,32 y 0,52 respectivamente. Las legumbres tienen eficiencias entre 0,25 y 0,36. Es decir, los resultados de eficiencia calórica para cereales y legumbres son muy similares. Las raíces, zapallo y papa se encuentran en el rango 0,59 – 0,79. Los aceites de soja, de colza y de oliva en 0,36; 0,47 y 0,68 respectivamente. Estos son los grupos de alimentos que están debajo del valor unitario, y entonces representan ganancias de energía almacenada.

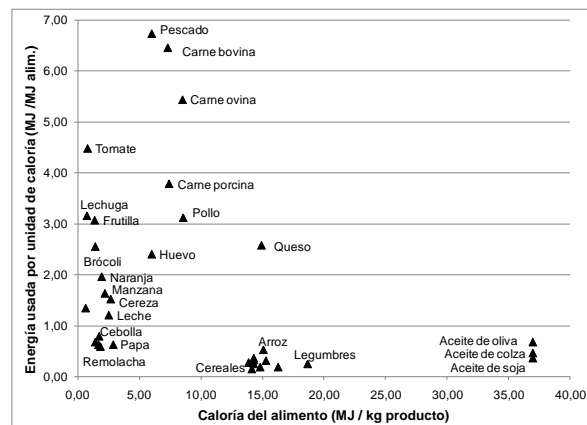


Fig. 3: Energía usada para producción y transporte de calorías alimentaria, en función del contenido calórico de distintos alimentos.

Por encima del valor unitario se tienen los vegetales de horticultura y las frutas, en el rango de 1 a 4,5. Entre los productos de origen animal la leche (1,20), el huevo (2,40), y el queso (2,60) son los más eficientes. Las carnes varían entre 3,10 para el pollo y 6,70 para el pescado. Aquí cabe recordar que los datos energéticos resumidos para cada alimento en la Tabla 1 son promedios de varios tipos de producción y origen. Por ejemplo, el valor de 6,70 para pescado en la Figura 3 involucra el promedio de producción de salmón en Canadá, Noruega y Chile, y de la pesca de atún en altamar (González et al., 2009). Las carnes presentan eficiencias energéticas consistentes con las tasas de conversión de alimento de cada animal.

4. EFICIENCIA EN EMISIONES DE GEI

4.1 Emisiones para obtener proteína

De una manera similar a la sección anterior, se define aquí la eficiencia en emisiones para producir y transportar proteína o calorías a las emisiones por kg de proteína o MJ de calorías alimentarias. La unidad de medida de emisiones es kg CO₂eq./ kg proteína, que incluye las emisiones de CH₄ y N₂O pesadas con los factores de PCG correspondientes.

En la Figura 4 se grafican las eficiencias en emisiones para proteína de los alimentos listados en la Tabla 1. Los alimentos de menor impacto pertenecen a los grupos de las legumbres, los cereales, y las verduras de raíz, zapallo y tubérculos. El rango de emisiones para legumbres es de 2 a 4 kg CO₂eq./ kg proteína. Para los cereales, los regionales y de secano (producidos sin anegamiento) están asociados con emisiones entre 3 y 5 kg CO₂eq./ kg proteína; mientras que el maíz y el arroz presentan valores de 7 y 18 kg CO₂eq./ kg proteína, respectivamente. El rango de emisiones para raíces, zapallo y tubérculos es 7-12 y de las hortalizas de 13-37 kg CO₂eq./ kg proteína, respectivamente.

El arroz da un valor de emisiones alto relativo a otros cereales porque los suelos barrosos del anegamiento producen CH₄. En un artículo previo se mostró el detalle para el cálculo de emisiones en arroz, para el cual el CH₄ contribuye con 56% de las emisiones por kg de producto (González et al., 2009).

En la Figura 4 se muestra la interpolación de los valores para los alimentos de origen vegetal. Al igual que en la

eficiencia energética para proteína (Figura 1), se observa que la eficiencia en emisiones para productos de origen vegetal está correlacionada con el contenido de proteína de los productos ($R^2=0,70$), y que la relación responde a una función potencial decreciente. A mayor contenido de proteína en el alimento se producen menores emisiones. Esta propiedad notable puede servir para una planificación que reduzca la contribución del sector al cambio climático.

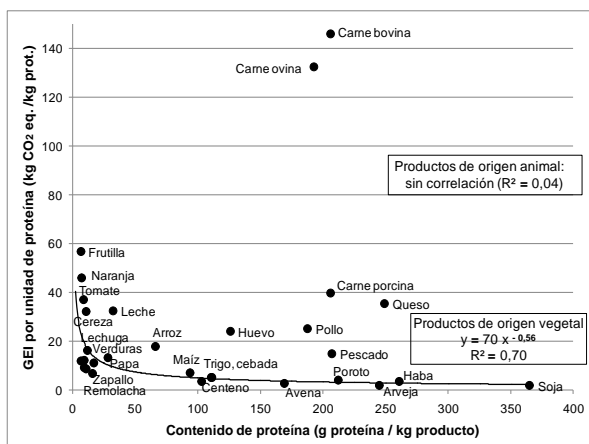


Fig. 4: GEI emitidos por kg de proteína para alimentos de distinto contenido de proteína.

Como puede observarse en la Figura 4, la proteína de los productos de origen animal está asociada con emisiones muy dispares dependiendo del alimento. En ese caso no se observa correlación entre emisiones y contenido proteico ($R^2=0,04$). La diferencia observada con la eficiencia energética proteica para estos productos (figura 2) se debe a que en emisiones contribuyen en gran medida los gases CH_4 y N_2O , y esta contribución tiene pesos muy diferentes dependiendo del alimento. Por ejemplo, el pescado presenta las emisiones relativamente más bajas de los productos animales (15 kg $CO_2eq./$ kg proteína), y le siguen el huevo y el pollo (24 y 25 kg $CO_2eq./$ kg proteína, respectivamente). En estos casos no hay emisiones significativas de CH_4 , mientras que las de N_2O son debidas principalmente al alimento que se da a los peces cultivados y aves, y aquellos pescados en el mar contribuyen principalmente CO_2 de combustibles fósiles.

En la Figura 4, la contribución de emisiones a la obtención de proteína es similar en leche y queso (32 y 35 kg $CO_2eq./$ kg proteína, respectivamente). En coincidencia con investigaciones previas, las carnes provenientes de rumiantes presentan las mayores emisiones (McAlpine et al., 2009; Stehfest et al., 2009; González y Carlsson-Kanyama, 2008; Steinfeld et al., 2006;). Los valores obtenidos aquí son de 142 y 132 kg $CO_2eq./$ kg proteína para carne bovina y ovina respectivamente. En estas las emisiones de CH_4 debidas a la fermentación entérica son muy importantes. Su influencia en el total depende del régimen alimenticio del animal y del tiempo que demanda el crecimiento a peso de faena. Las pasturas son de menor valor nutricional y digestibilidad que los concentrados de cereal, silaje y legumbres. Entonces, por ejemplo, en carne vacuna los porcentajes de influencia de las emisiones de CH_4 en el total se encuentran entre el 76% para pastura natural en Brasil (Cederberg et al., 2009), hasta un 54% para feedlot en Europa (González y Carlsson-Kanyama, 2008).

La carne de cerdo presenta relativamente un valor intermedio, con 40 kg $CO_2eq./$ kg proteína. En producción de cerdos, la tasa de conversión de alimentos es intermedia entre bovinos y aviar o peces, y las emisiones de CH_4 entérico son pequeñas (no rumiante). Sin embargo, las emisiones de CH_4 debidas al estiércol en lagunas pueden alcanzar 40% del total.

4.2 Emisiones para obtener calorías alimentarias

En la Figura 5 se grafican las eficiencias en emisiones para las calorías alimentarias. El resultado muestra nuevamente la alta eficiencia relativa de los productos de origen vegetal. En la base del gráfico, las legumbres, todos los cereales, las raíces, zapallo y tubérculos, y los aceites vegetales, presentan los menores valores de emisiones por MJ de caloría alimentaria. Los cereales de secano están en un rango 0,03-0,04 kg $CO_2eq./$ MJ de caloría alimentaria; las legumbres entre 0,03 y 0,07, y las raíces y tubérculos entre 0,06 y 0,07 kg $CO_2eq./$ MJ. El valor de emisiones por caloría para el arroz también es bajo, 0,08 kg $CO_2eq./$ MJ, a pesar de las emisiones de CH_4 en el anegamiento. La diferencia con el impacto relativo mayor que presenta el arroz en la Figura 4 se debe a que en ésta se evaluaron las proteínas. Como el contenido calórico del arroz es alto, entonces, aunque la eficiencia en emisiones resulte menor a la de otros cereales, se encuentra en valores similares al de las legumbres.

Los valores de eficiencia calórica en emisiones para leche, pescado, pollo y queso son similares, alrededor de 0,50 kg $CO_2eq./$ MJ de caloría alimentaria. Las carnes vacuna y ovina presentan los valores de emisiones más altos, debido a las emisiones de CH_4 entérico y a las tasas de conversión del alimento en la producción animal.

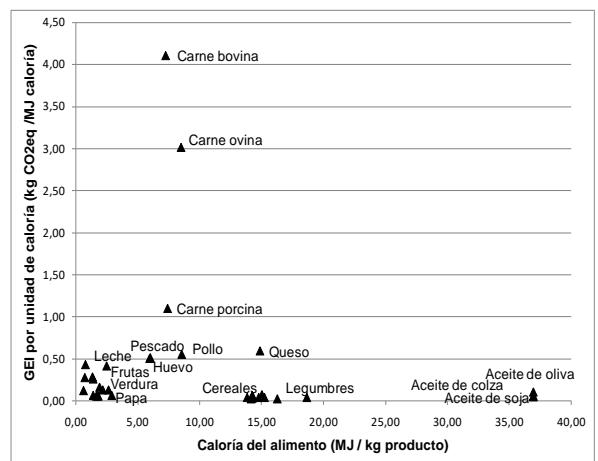


Fig. 5: Emisiones de GEI por unidad de caloría alimentaria, en función del contenido calórico del alimento.

Al igual que en el caso de las proteínas, se observa que la alta eficiencia calórica de los cereales y las legumbres permite su uso extensivo en la alimentación de animales de baja tasa de conversión del alimento.

5. DISCUSIÓN

Como se observa en los resultados de las secciones anteriores, tanto para las proteínas como para las calorías obtenidas en un punto mayorista, las emisiones de GEI y la

energía usada para productos de origen vegetal son mucho menores que para alimentos de origen animal. En general, para una unidad de proteína y caloría alimentaria, una combinación de cereales, legumbres y hortalizas presenta emisiones de GEI entre 5 y 50 veces menor a una combinación de productos animales. Las diferencias mayores corresponden a la elección de carnes provenientes de rumiantes.

Existen excepciones a los impactos relativos que detallamos en el presente trabajo: por ejemplo, los vegetales producidos en invernaderos calefaccionados y los transportados por avión. En un trabajo previo, se encontró que las hortalizas producidas en invernaderos calefaccionados requieren 45 veces más uso de energía y 28 veces más emisiones de GEI por cada kg de producto (de Tabla 4 en González et al., 2009). En otro trabajo reciente (Carlsson-Kanyama y González, 2009), se mostró que 1 kg de frutas de Suramérica transportadas por avión a Europa conllevan emisiones mayores a las que presenta 1 kg de queso o de carne de cerdo. Estos casos son indicativos de que las formas de producción y comercialización pueden tener tanta influencia como las diferencias que se originan en la naturaleza y las técnicas habituales de los procesos agropecuarios. De todos modos, estas excepciones son de poco peso en la comercialización alimentaria mundial.

En el caso de las proteínas es importante notar que la proteína de origen animal es completa en los aminoácidos esenciales. Está fuera del alcance de este trabajo considerar los detalles nutricionales, que deberían en todo caso ser realizados por especialistas. De todos modos, tanto la Organización Mundial de la Salud y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (OMS-FAO, 2003), así como también otras organizaciones de salud pública (WCRF, 2009), han determinado que una alimentación diversa basada en productos de origen vegetal es adecuada para mantener el estado de salud. En cuanto a las proteínas, una combinación de cereales y legumbres provee el espectro de aminoácidos esenciales de la misma manera que la proteína animal (OMS-FAO, 2007). Por otro lado, se ha encontrado que un exceso en el consumo de productos de origen animal está asociado con enfermedades crónicas graves, como las cardiovasculares, cáncer y diabetes (Harvard, 2010; Friel et al., 2009; WCRF, 2009). Desde esta perspectiva, una reducción, pero no eliminación, por reemplazo de proteína animal por proteína vegetal puede reducir a la vez el impacto ambiental y la incidencia de enfermedades crónicas graves.

El caso de las calorías alimentarias es más directo porque las calorías provenientes de cereales y otros productos de origen vegetal son consideradas de alta calidad y constituyen la base de la alimentación humana adecuada para mantener el estado de salud (Harvard, 2010). Como los productos de origen animal contienen una cantidad limitada o nula de hidratos de carbono, las calorías en estos son provistas por las grasas y las proteínas. La prescripción nutricional habitual es cubrir no más del 40% con grasas y proteínas, y 10% con azúcares (OMS, 2004; Harvard, 2010). Por lo tanto al menos el 60% de las calorías debería ser aportado por alimentos ricos en hidratos de carbono, los cuales son naturalmente de origen vegetal. Para las calorías, entonces, los resultados encontrados en las secciones anteriores muestran que, para disminuir sustancialmente el impacto ambiental es necesaria una planificación alimentaria que promueva la mayor cantidad de calorías de origen vegetal.

Esto también, a su vez, proveería la cobertura de la demanda calórica en las mejores condiciones nutricionales. En países con alta incidencia de obesidad, otros autores han estudiado el impacto ambiental de políticas que ayudan a mitigarla (Michaelowa y Dransfeld, 2008).

Para mejorar al mismo tiempo la situación ambiental y la salud pública, es interesante entonces proponer algunos cambios de hábitos en la alimentación. De acuerdo a estudios previos, no es necesario suprimir el consumo de carnes, sino disminuirlo hasta un nivel que resulte a la vez sostenible y benéfico para la salud pública (McMichael et al., 2007; Smil, 2002). Desde el punto de vista ambiental, el pastoreo sin sobrecarga de animales por unidad de superficie puede resultar en beneficios para el suelo y en menores emisiones de N₂O. Por ejemplo, para ganado vacuno, los valores para que esto ocurra se estiman entre 3 y 8 ha por animal, lo cual implica una carga de pastoreo mucho menor a la que se practica en la ganadería comercial (Andrioli et al., 2010). Esta consideración es interesante para la promoción de manejos mixtos de pequeños productores o de la agricultura familiar. Un manejo mixto con animales y cultivos puede favorecer tanto al medio ambiente como a la salud de las poblaciones locales. El consumo moderado de carnes en sectores sociales con deficiencias nutricionales puede resolver problemas crónicos de salud (McMichael et al., 2007).

Como se mencionó en la Introducción, varios autores han propuesto el cambio de hábito alimentario como una de las mejores estrategias para reducir las contribuciones de la alimentación al cambio climático (McAlpine et al., 2009; Garnett, 2009; Freil et al., 2009; Carlsson-Kanyama y González, 2009; Stehfest et al., 2009; McMichael et al., 2007; Duchin, 2005; Carlsson-Kanyama et al., 2003; Carlsson-Kanyama, 1998). Desde la problemática energética, ya en la década del '70 se conocían investigaciones que mostraban la baja eficiencia y el alto uso de combustibles fósiles en el esquema de producción agropecuaria actual (Pimentel y Pimentel, 1979).

Hasta el presente, la cantidad significativa de investigaciones que confirman los altos impactos ambientales y en la salud pública de una alimentación basada en productos de origen animal, no han sido considerados en las políticas agroalimentarias. En principio, una estrategia general que promueva cambiar el foco de atención de los productos animales hacia los de origen vegetal parecería factible. En la práctica, la educación ambiental y la nutricional pueden ser factores claves para lograrlo. Para la educación, debería consensuarse la información que ya se tiene con respecto a la contribución de la alimentación al cambio climático, y a otros fenómenos como el uso del agua y las contaminaciones por nitrógeno, fósforo, cobre, productos farmacéuticos, y otros liberados al ambiente en cantidades excesivas. En el aspecto nutricional, es notable que exista una visión tan estrecha sobre cuál es una alimentación adecuada y satisfactoria para el ser humano. Esta visión está por lo general basada en el consumo *ad libitum* de productos de origen animal y los elaborados en base a estos. Esta particularidad es exclusiva de los últimos 50 años, coincidentemente con la mayor disponibilidad y el uso extensivo de combustibles fósiles en la agricultura y en la cadena de procesamiento y consumo. En el mismo período de tiempo se ha experimentado también un crecimiento de más del 70% de emisiones de gases de efecto invernadero, y en consecuencia el mayor

crecimiento en los parámetros que miden el efecto en el cambio climático (PICC, 2007).

En los países con economías emergentes se ha observado que los sectores que adquieren mayor capacidad económica tienden a reducir el consumo de cereales, legumbres y hortalizas, y a aumentar el consumo de azúcares, productos refinados, y productos de origen animal. Al mismo tiempo, en esos países creció la tasa de enfermedades crónicas graves. Este fenómeno de la salud pública, denominado Transición Nutricional, ha sido extensamente estudiado en la última década (Popkin, 2002). La transición nutricional y la transición económica de los países emergentes están muy relacionadas. Estas afectan a sectores con problemas de desnutrición que al acrecentar sus ingresos optan por una alimentación que los conduce directamente a la obesidad, sin haber pasado por un período de nutrición adecuada. Se han estudiado en detalle los casos de China, India, Brasil, México y Chile. Se demostró que la falta de educación alimentaria es un factor determinante en el pasaje directo de la desnutrición a la obesidad, y se han encontrado gran número de hogares en donde conviven los casos de desnutrición y los de obesidad. En una investigación en China, sobre 5700 personas de niveles socioeconómicos diversos, Du et al. (2004) encontraron cambios preocupantes en indicadores nutricionales. Por ejemplo, desde 1989 a 1997 el porcentaje que consumió más de un 30% de grasa en la alimentación pasó de 13% a 37%; el consumo de arroz y derivados disminuyó un 10% en el mismo período, al igual que el consumo de harina; mientras que el consumo de carnes aumentó un 37% y el de aceites 100%. Du et al. (2004) concluyen que, extrapolando sus datos, el aumento del poder adquisitivo conducirá a que se pierdan las mejoras de salud pública de China de las décadas del '80 y '90. A nivel global también se predice un aumento del consumo de carnes (McAlpine et al., 2009). Desde el punto de vista desarrollado en el presente trabajo, la Transición Nutricional implica un cambio hacia productos y métodos de comercialización que conllevan mayor demanda de energía y emisiones de GEI. Que esta transición esté ocurriendo en países con las dimensiones poblacionales de India y China lleva a inferir que las contribuciones al cambio climático del sector agropecuario aumentarán.

6. CONCLUSIONES

Se recopilaron datos previos de uso de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por kg de producto alimenticio. Se consideraron las etapas de producción y de transporte hasta el puerto mayorista de Gotemburgo, en Suecia. Los alimentos corresponden a diferentes técnicas de producción y países. La muestra estudiada puede considerarse significativa del intercambio alimentario internacional.

En el presente trabajo se usaron datos nutricionales obtenidos de bases de datos de libre acceso para estudiar el uso de la energía y los GEI en relación con las proteínas y calorías de los alimentos. Los resultados muestran que la energía necesaria para obtener una unidad de proteína es mayor en los productos de origen animal que en aquellos de origen vegetal. Las legumbres y los cereales presentan las eficiencias energéticas más altas para obtener proteína y calorías alimentarias.

El resultado es similar cuando se considera los GEI: las emisiones asociadas con la obtención de 1 kg de proteína o

de 1 MJ de calorías alimentarias son mayores para los productos de origen animal. Las mayores emisiones se tienen para carnes de rumiantes. Se encuentra que las diferencias relativas entre los alimentos de origen vegetal y animal es mayor para las emisiones de GEI que para la energía. Esto se debe a la influencia de los gases CH₄ y N₂O, los cuales presentan mayores emisiones para los productos de origen animal.

Los productos de origen vegetal presentan una correlación notable entre el contenido de proteína del alimento y la energía (o emisiones de GEI) por kg de proteína. La energía (o emisiones) por kg de proteína responde a una función potencial decreciente en función del contenido de proteína. Esta propiedad es novedosa y explica en parte por qué pueden sostenerse producciones animales de muy baja tasa de conversión del alimento. Una de las respuestas es que estas producciones usan cereales y legumbres de muy alta eficiencia.

Está claro que los mismo productos vegetales eficientes pueden usarse directamente en la alimentación humana. Entonces, los resultados refuerzan la validez de diversas propuestas de trabajos previos tendientes a cambios de hábitos alimentarios que pongan el foco de atención en los productos de origen vegetal. Esta modalidad alimenticia, que sin duda ya existe a nivel de pequeños grupos o de ciertas regiones, implementada a gran escala podría tener efectos sustanciales en la mitigación de impactos ambientales. En una revisión bibliográfica, se ha encontrado también que la misma estrategia alimentaria simultáneamente mejoraría la salud pública.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado en parte por el proyecto PIP 114 200801 00107 del CONICET, y por una colaboración con Division of Industrial Ecology, Royal Institute of Technology, Suecia, que financió los pasajes para visitas anuales desde 2005. Se agradece el apoyo permanente de Dr. B. Frostell y Dra A. Carlsson-Kanyama a este proyecto.

REFERENCIAS

- Andrioli, R.J., Distel, R.A., Didoné, N.G., 2010. Influence of cattle grazing on nitrogen cycling in soils beneath *Stipa tenuis*, native to Central Argentina. *Journal of Arid Environments* 74 (3), 419-422.
- Audsley E., Brander M., Chatterton J., Murphy-Bokern D., Webster C., and Williams A., (2009). *How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050*. WWF-UK and FCN report, libre acceso 21/4/2010 en http://www.fcni.org.uk/fcniPublications/publications/PDFs/howlow/WWF_How_Low_Report.pdf;
- Carlsson-Kanyama A. (1998). Climate change and dietary choices —how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23, 3-4, 277-293.
- Carlsson-Kanyama A., Faist M. (2001). *Energy use in the food sector: a data survey*. FMS report, libre acceso 21/4/2010 en <http://www.infra.kth.se/fms/pdf/energyuse.pdf>
- Carlsson-Kanyama A., Ekström M.P., Shanahan H. (2003). Food and life cycle energy inputs: consequences of

- diets and ways to increase efficiency. *Ecological Economy* **44**, 2-3, 293-307.
- Carlsson-Kanyama A., González A.D. (2007). *Non-CO2 greenhouse gas emissions associated with food. Production: : methane (CH4) and nitrous oxide (N2O)*. KTH report ISSN 1402-7615, libre acceso 21/4/2010 en http://www.ima.kth.se/eng/respublic/emissions_report_17_set_ACK.pdf
- Carlsson-Kanyama A., González A.D. (2009). Potential contributions of food consumption patterns to climate change. *American Journal of Clinical Nutrition* **89**, 5, 1704S-1709S.
- 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*, report SIK792. 21/4/2010, <http://www.sik.se/archive/pdf-filer-katalog/SR792.pdf>
- Du S., Mroz T.A., Zhai F., Popkin B.M. (2004). Rapidly income growth inversely affects diet quality in China – particularly for the poor. *Social Science and Medicine* **59**, 1505-1515.
- Duchin F. (2005). Sustainable consumption of food: a framework for analyzing scenarios about changes in diets. *Journal of Industrial Ecology* **9**, 1-2, 99-114.
- EPA, 2006. U.S. Environmental Protection Agency. *Report: Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions 1990-2020*, en libre acceso 21/4/2010 <http://www.epa.gov/climatechange/economics/download/s/GlobalAnthroEmissionsReport.pdf>
- Friel S., Dangour A.D., Garnett T., Lock K., Chalabi Z., Roberts I., Butler A., Butler C.D., Waage J., McMichael A.J., Haines A. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *The Lancet* **374**, 9706, 2016-2025.
- Garnett T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environmental Science Policy* **12**, 4, 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.
- González A.D., Frostell B., Assefa G., Kutter R., Strong B. (2009). Energía y gases de efecto invernadero en la producción de distintos grupos de alimentos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **13**, 01.63-01.70
- Harvard, 2010. Harvard School of Public Health. *The Nutrition Source*. Libre acceso 21/4/2010. <http://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/> ;
- IEA, 2009. *Energy balances: electricity*. Internacional Energy Agency. 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**, 1, 9-16.
- McAlpine C.A., Etter A., Fernside P.M., Seabrook L., Laurance W.F. (2009). Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change. *Global Environmental Change* **19**, 1, 21-33.
- McMichael A., Powles J.W., Butler C.D., Uauy R. 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *The Lancet* **370**, 9594, 1253-1263.
- Michaelowa A., Dransfeld B. (2008). Greenhouse gas benefits of fighting obesity. *Ecological Economics* **66**, 2-3, 298-308.
- Milà i Canals L., Cowell S.J., Sim S., Basson L. (2007). Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy. *Environmental Science Pollution Research* **14**, 5, 338-344.
- OMS-FAO, 2003. *Diet, nutrition and the prevention of chronic disease*. Joint Report World Health Organization and Food and Agriculture Organization. Technical report series 911, libre acceso 21/4/2010, http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_916.pdf
- OMS-FAO (2007). *Protein and amino acid requirement in human nutrition*. Joint Report World Health Organization and Food and Agriculture Organization. Technical report series 935; libre acceso 21/4/2010, http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_935_eng.pdf
- OMS (2004). *Global strategy on diet, physical activity and health*. World Health Organization, Strategy document WHA 57.17; libre acceso 21/4/2010, http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241592222_eng.pdf
- Pelletier N., Tyedmers P., Sonesson U., Scholz A., Ziegler F., Flysjö A., Kruse S., Cancino B., Silverman H. (2009). Not all salmon are created equal: life cycle assessment of global salmon farming systems. *Environmental Science & Technology* **43**, 23, 8730-8736
- PICC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Panel Intergubernamental de Climate Change. libre acceso 21/4/2010 <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>;
- PICC, 2007. *Cambio climático. Informe de Síntesis*. Panel Intergubernamental de Climate Change. libre acceso 21/4/2010, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Pimentel D., Pimentel M. (1979). *Food, energy and society*. Wiley, NY.
- Popkin B. (2002). The shift in stages of the nutrition transition in the developing world differs from past experiences. *Public Health Nutrition* **5**, 1A, 205-214.
- Smil V. (2002). Worldwide transformation of diets, burden of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology* **30**, 3, 305-311.
- Stehfest E., Bouwman L., van Vuuren D.P., den Elzen M.G.J., Eickhout B., Kabat P. (2009). Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*. Institute of Physics online journal.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C. (2006). *Livestock's long shadow, environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of UN report, Rome. <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>; libre acceso 21/4/2010.
- USDA (2010). *National Nutrient Database for Standard Reference*. United States Department of Agriculture, de libre acceso 21/4/2010, en <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>
- WCRF (2009). *Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer*. World Cancer Research Fund. <http://www.dietandcancerreport.org/>; acceso 21/4/2010
- 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, 21/4/10, en <http://randd.defra.gov.uk/>