

COMPARACIÓN DE ENERGÍAS Y GASES DE EFECTO INVERNADERO EN CALENTAMIENTO DE AGUA PARA COCCIÓN DE ALIMENTOS CON ELECTRICIDAD Y GAS NATURAL

Alejandro D. González

Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), CONICET y UNCOMA, Centro Regional Universitario Bariloche, 8400 Bariloche, Río Negro. E-mail: gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

RESUMEN: En este trabajo se estudia la energía usada y los gases de efecto invernadero emitidos en el calentamiento de agua destinado a la alimentación en los hogares. El objetivo es comparar los usos finales de electricidad y de gas natural. Se obtuvieron los rendimientos para calentamiento de agua en cocinas convencionales a gas natural, cocinas eléctricas de plato, y calentadores de agua eléctricos de inmersión. Los rendimientos de calentamiento de agua en el hogar fueron entre 29% y 62% para uso de gas natural, y entre 72% y 96% para el uso de electricidad. Para la electricidad se estudió el balance energético de la red troncal de Argentina que combina el uso de recursos fósiles, hidroeléctrico y nuclear. Cuando se consideran las eficiencias de la generación eléctrica, este recurso resulta menos conveniente que el gas para cocción en ollas, pero no así para el calentamiento de agua en tiempos cortos.

Palabras clave: Cocción de alimentos - Energía - Gases de efecto invernadero

INTRODUCCIÓN

En los inventarios de ciclo de vida (ICV) de los productos alimenticios deben considerarse los procesos productivos agropecuarios, el transporte, almacenamiento, refrigeración, empaque, comercialización, y para el consumo final la refrigeración en el hogar, cocción y disposición de residuos. Entonces, para el análisis del consumo de alimentos se necesita el conocimiento del uso de energía y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en las distintas etapas. Globalmente, el impacto del sector agropecuario a la contribución de GEI es cercana al 30% (EPA, 2006). En este sector tienen gran relevancia el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O); sin embargo, las emisiones de CO₂ constituyen alrededor del 57%, por lo cual son también las principales en el consumo de alimentos (EPA, 2006).

En trabajos recientes se estudiaron en detalle las etapas de producción y transporte de alimentos hasta un punto mayorista. Se encontró que la energía y GEI por kg de producto depende fuertemente del tipo de alimento (González et al., 2009; González, 2010). Dada las diferencias notables encontradas para los distintos grupos de alimentos, las etapas posteriores a la mayorista, y que conducen al consumo final en el hogar, tendrán diferentes impactos relativos. Así, por ejemplo, varios autores han investigado el impacto del transporte interoceánico, encontrando que en frutas y cereales este puede representar hasta el 40% del total de emisiones hasta el puerto mayorista, pero en cambio en carnes el transporte y refrigeración sólo agrega 5% a las emisiones totales (Milá y Canals et al., 2007; Cederberg et al., 2009). Para cocción de trigo, se mostró que la energía usada en cocción en el hogar puede ser hasta el doble que la necesaria en la producción. Se necesitan 2,4 MJ/kg de trigo cocido si la cocción se realiza en una porción de 120 g, pero sólo 0,9 MJ/kg si se cocina en 4 porciones a la vez (Carlsson-Kanyama y Carlsson-Boström, 2001).

En el presente trabajo se investiga la energía y emisiones en el calentamiento de agua destinado a alimentación en el hogar, utilizando la forma mayoritaria de cocción en Argentina, con gas en hornallas y horno, y una forma alternativa basada en el uso de electricidad. Esta última es común en Europa y EE.UU. y servirá para estudios comparativos futuros. Además, es relevante comparar las energías y emisiones entre el uso directo del gas y la electricidad teniendo en cuenta la matriz de generación eléctrica de cada país, las cuales pueden diferir en forma significativa de acuerdo a los recursos disponibles. Por otro lado, el uso de electricidad en el sector residencial se ha incrementado en las últimas décadas en Argentina (Rosenfeld et al., 2003). En particular, es notable en el comercio local la diversidad de ofertas de artefactos de cocción y calentamiento de agua eléctricos, algunos de los cuales son de potencias altas, cercanas a los 2 kW.

En trabajos anteriores, se estudió la energía para el calentamiento de agua destinada a cocción de alimentos con electricidad y gas licuado de petróleo (GLP), pero no se investigaron cocinas con gas natural (González, 2003). La generación eléctrica en Argentina se basa en cerca del 54% de gas natural (AIE, 2010), entonces el uso de este recurso para generación es competitivo con el uso directo de gas en los hogares. En la primera parte de este artículo se obtienen los consumos en función de la intensidad de llama para cada elemento de la cocina a gas usada, y se obtienen los rendimientos para calentar agua en distintos recipientes. Luego se obtienen datos de prestaciones equivalentes realizadas con dispositivos eléctricos. Finalmente, a través del análisis de energías y gases de efecto invernadero de la generación eléctrica, se comparan las opciones a gas y electricidad de uso habitual en los hogares.

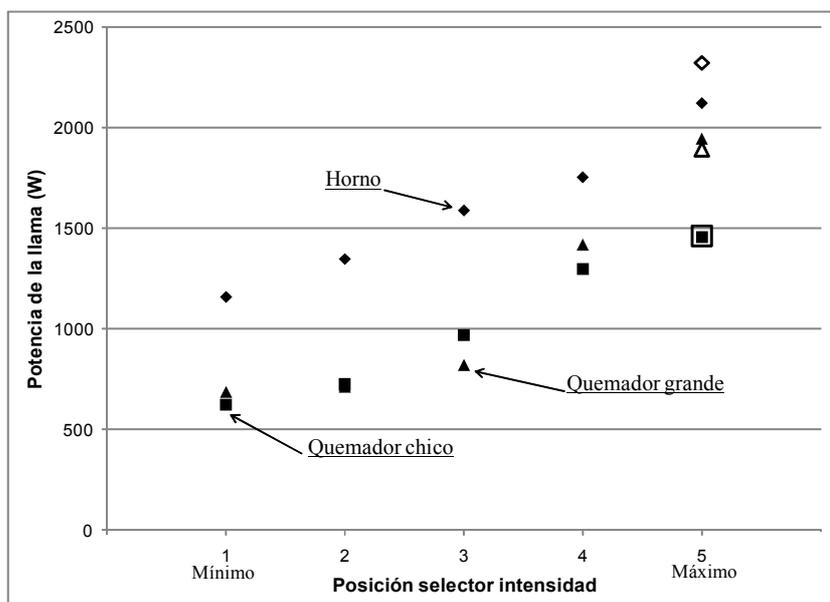
CARACTERIZACIÓN DE LAS HORNALLAS Y HORNO DE UNA COCINA A GAS NATURAL

Se utilizó una cocina a gas natural marca Bosch, modelo HSF12K30NF, de 4 hornallas y horno. Se caracterizó la cocina midiendo el flujo de gas en los quemadores para distintas intensidades de llama. El flujo de gas se midió con el medidor de

consumo de la vivienda, marca Elster-Amco, modelo MT3035A, con lectura de litros de gas consumido (mínima apreciación $\frac{1}{4}$ L). La cocina está equipada con 3 hornallas chicas (75mm de diámetro) y una grande (85 mm de diámetro). Las potencias máximas nominales declaradas por el fabricante son 1696 W para hornalla chica, 2195 W para hornalla grande, y 2694 W para el horno. La intensidad de llama se regula con las perillas estándar provistas en la cocina, las cuales permiten posiciones bien definidas de mínimo (por tope del dial), y de máximo (traba en el dial). Las posiciones intermedias fueron seleccionadas equidistantes y marcadas de la misma forma para las hornallas y el horno. De esta manera, las posiciones de máximo y mínimo pueden ser reproducidas con precisión, no así las intermedias.

Se midió el flujo de gas para 5 posiciones del dial correspondientes a las hornallas y al horno. Se realizaron 3 repeticiones en las posiciones de máximo y mínimo, las cuales dieron variaciones entre 2% y 5%. Las mediciones individuales de las 3 hornallas chicas dieron variaciones menores al 6%. Se realizaron también mediciones con las 3 hornallas chicas encendidas al mismo tiempo con el objetivo de aumentar el flujo, y se obtuvo una variación del 2% con respecto a las mediciones individuales. Estas comparaciones muestran que la medición con el medidor de gas domiciliario disponible son confiables en el rango de caudales medidos. La Figura 1 resume las mediciones que caracterizan los quemadores de la cocina a gas natural ensayada.

Figura 1: Potencia de llama en función de la posición de la perilla selector de intensidad: horno (rombos), hornalla chica (cuadrados) y grande (triángulo). Los símbolos sin relleno representan los valores máximos declarados por el fabricante.



Para calcular la potencia se multiplicó el flujo de gas por el poder calorífico inferior (PCI). Este se obtuvo como el promedio anual de las declaraciones de poder calorífico superior (PCS) que realiza la compañía Camuzzi Gas del Sur en la facturación. El valor promedio del PCS desde julio de 2009 hasta julio de 2010 fue de 9606 kcal/m³, para el cual corresponde un PCI de 8645 kcal/m³ (AIE, 2005). El valor promedio de PCS es algo mayor que el estándar de facturación de gas natural de 9300 kcal/m³, y se debe a la inyección de propano en el gasoducto troncal cordillerano que provee a la ciudad de Bariloche. En la Figura 1 se graficaron también las potencias máximas nominales declaradas por el fabricante. Estas coinciden con las presentes mediciones en el caso de las hornallas, y para el quemador del horno el valor obtenido experimentalmente es menor en un 9% al nominal.

La linealidad en el aumento de la potencia con la posición de la perilla se verifica aproximadamente para el quemador del horno pero no para las hornallas. Esto puede atribuirse a la calidad del regulador de flujo, que en el caso del horno debe cumplir con normas de seguridad adicionales a las requeridas para las hornallas. Las hornallas que denominamos chica y grande en el resto del trabajo no difieren significativamente en tamaño, lo que se ve reflejado en potencias similares en las 4 primeras posiciones. De todos modos, en la posición de máximo la diferencia es notable, alcanzando la hornalla grande una potencia cercana a la del quemador del horno. Estas son particularidades de funcionamiento, o bien definidas por el fabricante o bien el resultado de variaciones propias del proceso de producción y comercialización, pero que no afectan los ensayos que se verán más abajo.

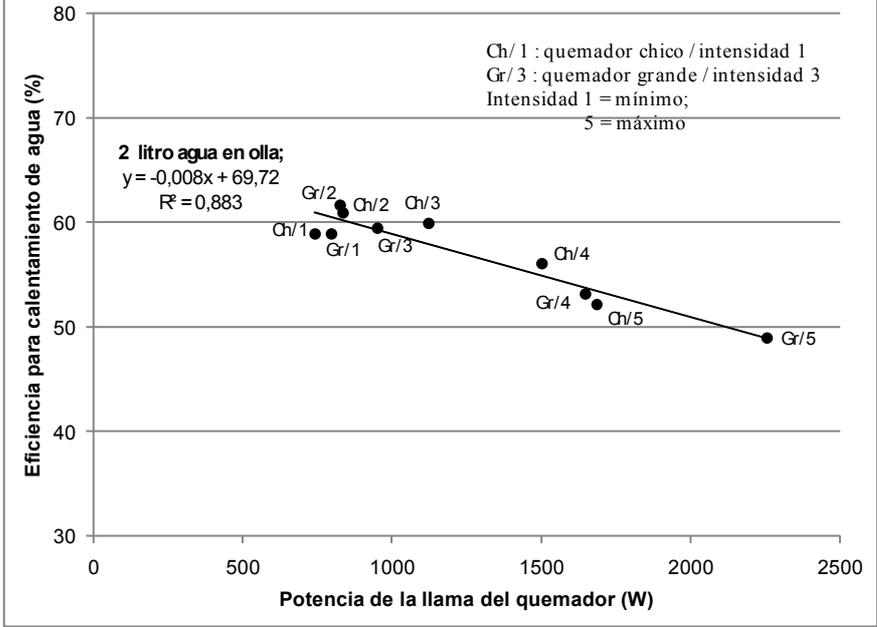
MEDICIÓN DE EFICIENCIA EN CALENTAMIENTO DE AGUA CON GAS

Para evaluar las mejores condiciones de uso del gas en cocción se midió la eficiencia para calentar agua en dos situaciones típicas del uso: en una olla de 4 L de capacidad y en una pava de 1,5 L. El procedimiento experimental y los detalles de cálculo fueron descriptos en un trabajo previo (González, 2003). En el presente trabajo fue utilizada la misma olla de 20 cm de diámetro, de acero inoxidable, con tapa perforada que permite instalar un termómetro digital cuya precisión es del orden de 0,1°C. En el caso de la pava el termómetro se colocó con la tapa parcialmente cerrada. Las Figuras 2a) y 2b) muestran la configuración experimental en cada caso.



Se midieron los intervalos de tiempo y el ascenso de temperatura del agua, y de la pendiente se extrajo el flujo de calor almacenado. La eficiencia para calentamiento de agua se define como el cociente entre este flujo de calor acumulado en el agua y el flujo de energía entregado por el gas. Se verificó que este procedimiento da el mismo resultado al obtenido al usar la diferencia de temperatura inicial y final (González, 2003). Sin embargo, la medición del flujo de calor es un método más confiable que incluye las variaciones estadísticas en el calentamiento. La Figura 3 muestra la eficiencia para el calentamiento de 2 L de agua en olla usando cinco intensidades en las hornallas chica y grande de la cocina a gas natural.

Figura 3: Eficiencia para calentamiento de agua en olla en función del tamaño de hornalla e intensidad de llama



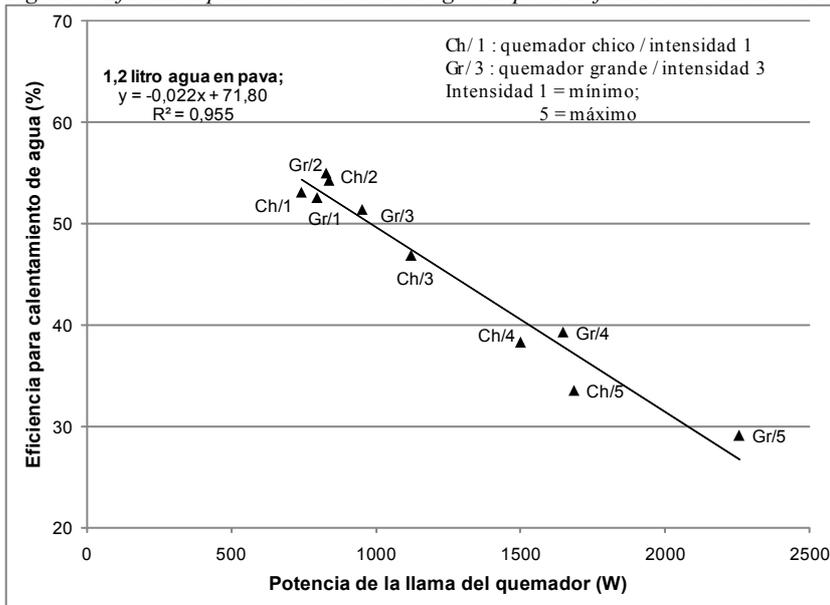
Se observa que la eficiencia decrece cuando la potencia de llama aumenta, aunque en el rango entre llama mínima y mediana se obtuvieron eficiencias similares. En un trabajo previo se infirió un comportamiento de este tipo en mediciones con una hornalla pequeña montada sobre una garrafa de 2 kg de gas licuado de petróleo (GLP). Los valores previos obtenidos con GLP fueron sólo dos, de 62% y 49% (base PCI) para potencias de llama de 1200 W y 1530 W, respectivamente (González, 2003). Estos concuerdan satisfactoriamente con los valores mostrados en la Figura 3.

La disminución de eficiencia con la intensidad se corresponde con la pérdida de calor por los costados del recipiente. No se observan diferencias apreciables entre los tamaños de hornalla que no sean los derivados de la capacidad de disponer de mayor potencia. Esto se debe a que la diferencia de tamaño no es significativa (75 mm vs. 85 mm), y a que el tamaño de la hornalla es pequeño comparado con la base de la olla (200mm).

En la Figura 4 se muestra la eficiencia para el calentamiento de 1,2 L de agua en una pava comercial representativa del uso habitual en los hogares (foto en la Figura 2b).

Nuevamente se observa disminución de eficiencia con el aumento de potencia, y un rango de intensidad de llama (mínimo/mediano) para el cual las eficiencias son similares. Sin embargo, se observan dos diferencias notorias con el calentamiento en olla. En primer lugar, las eficiencias para cada intensidad son menores, con una diferencia en un rango desde 10% para potencias bajas hasta 40% para las intensidades altas. Segundo, la disminución de la eficiencia con el aumento de intensidad es mucho más abrupta en el calentamiento en pava.

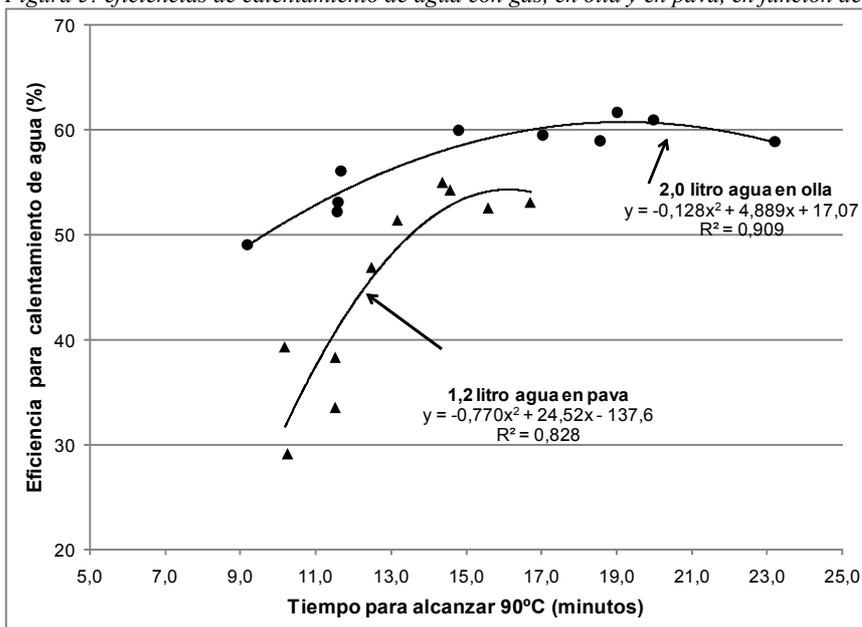
Figura 4: Eficiencia para calentamiento de agua en pava en función del tamaño de hornalla e intensidad de llama



Es muy probable que este comportamiento se deba a la superficie menor en contacto con la llama. El tamaño de la llama no influye significativamente en la eficiencia, o al menos en forma mucho menor a la intensidad de llama. En este caso el diámetro del fondo del recipiente, de 120 mm, es comparable al de la hornalla de 85 mm.

Estas mediciones refuerzan la sugerencia de varios programas de uso racional de energía que recomiendan regular la llama al tamaño del recipiente. Es interesante también mostrar las eficiencias en función del tiempo necesario para el calentamiento. Esta es una variable más cercana a las necesidades y a la percepción del usuario. En la Figura 5 se grafican las eficiencias en función del intervalo de tiempo que demora calentar el agua hasta los 90°C.

Figura 5: eficiencias de calentamiento de agua con gas, en olla y en pava, en función del tiempo de calentamiento.



Se observa que cuando se exigen los tiempos más cortos de calentamiento las eficiencias son las menores. En el caso del uso de la pava la variación con el tiempo requerido para alcanzar 90°C es muy abrupta, con aumentos de alrededor de 50% en la eficiencia debido a diferencia de tiempos de 4 minutos. En el caso de la olla las variaciones existen pero son de menor importancia relativa. Nótese que en este gráfico se aprecia con claridad un rango para el cual los valores de eficiencia son similares, y puede inferirse un máximo de eficiencia para una intensidad de llama algo superior a la mínima. La posibilidad de este máximo es un resultado preliminar y debería ser confirmado por un mayor número de mediciones. De todos modos, del análisis comparativo de los gráficos de las figuras 3, 4 y 5, se puede concluir que para los dos tamaños de hornallas, y para cualquier intensidad por debajo de la posición 3 (mediana, cercana a 1000W), las eficiencias son similares y sus valores los más altos. Entonces, para una elección óptima de eficiencia y tiempo de calentamiento las intensidades correspondientes a las posiciones 2 y 3 resultan las más adecuadas.

En vista de estos resultados que relacionan la eficiencia con variables cercanas a la percepción del usuario, sería relevante incluir en las recomendaciones de uso racional de la energía alguna mención a que los tiempos de calentamiento cortos (“apuros”) y muy cortos (“grandes apuros”) están asociados a mayores pérdidas de energía en el uso del gas.

MEDICIÓN DE EFICIENCIA EN CALENTAMIENTO DE AGUA CON ELECTRICIDAD

En un trabajo previo se midió la eficiencia para calentar 3 L de agua con el uso de electricidad, y con la misma olla utilizada en la sección anterior. Se obtuvieron eficiencias de calentamiento de 75% a 77% cuando se utilizó una cocina de plato, y entre 85% y 96% cuando se utilizaron diferentes dispositivos calentadores por inmersión (González, 2003). En el presente trabajo se repitieron las mediciones para calentamiento en olla con electricidad para 2 L de agua, en las mismas condiciones que para el caso de gas natural. Además, se ensayaron dos pavas eléctricas, las cuales en la actualidad son de provisión comercial habitual. Las Figuras 6a) y 6b) muestran los dispositivos utilizados.



Figura 6a): cocina eléctrica, y calentador de inmersión



Figura 6b): las dos pavas eléctricas ensayadas

En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para calentamiento de 2 L de agua en olla, y de 1,2 L de agua en pavas eléctricas. En el uso habitual, estos últimos se corresponden con los ensayos en pava con gas de la sección anterior.

Tabla 1: Tiempos de calentamiento y eficiencias con electricidad en el hogar

	Cantidad de agua (L)	Potencia de la fuente de calor (W)	Tiempo en alcanzar los 90°C (min)	Eficiencia en el uso final en el hogar (%)
Olla 200 mm/ cocina plato 185 mm	2	1130	15	72
Olla 145 mm / cocina plato 150 mm	2	910	16	76
Olla / calentador inmersión	2	820	13	92
Pava eléctrica acero inoxidable	1,2	1540	4,6	95
Pava eléctrica de plástico	1,2	1600	4	96

Las dos primeras opciones citadas en la Tabla 1, con olla y cocina eléctrica, son las únicas aptas para cocción, y pueden compararse con las opciones de gas natural de la sección anterior. Las eficiencias son muy similares a las encontradas en un trabajo previo (González, 2003). Las dos opciones de pava eléctrica dan resultados similares, igualando además la eficiencia del 96% encontrada previamente para el uso de un calentador de inmersión dentro de un termo, y confirmando el resultado de otros autores (Carlsson-Kanyama y Carlsson-Boström, 2001). La diferencia notoria entre los dispositivos de inmersión y los calentadores por plato se debe a dos contribuciones relevantes a la disipación de calor: uno, el contacto entre la olla y el plato no es perfecto, y varía con las condiciones de la olla; dos, el plato transmite calor a la estructura de la cocina eléctrica, la cual aumenta su temperatura. En el caso eléctrico, entonces, la calidad de las cocinas y recipientes es una variable importante en la definición de las eficiencias energéticas.

Nótese los tiempos muy cortos obtenidos en el calentamiento en pava eléctrica. Este puede ser el motivo principal por el cual este dispositivo está adquiriendo mayor uso en los hogares de Argentina, aun en aquellos con provisión de gas natural.

Las eficiencias encontradas en la Tabla 1 se refieren al uso final en el hogar, y no tienen en cuenta los recursos usados en la generación eléctrica. Para compararlas con las obtenidas para gas natural es necesario hacer un análisis de la matriz de generación. Este análisis y las comparaciones se realizan en las secciones siguientes.

EMISIONES EN GAS Y ELECTRICIDAD

Emisiones directas en la combustión de gas en el hogar

El consumo de gas natural o GLP en el hogar implica el uso directo del recurso. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (PICC, 2006) recomienda considerar un valor de emisiones de 56 kg CO₂ por cada GJ de energía proveniente del gas natural, y de 63 kg CO₂/GJ si se trata de GLP. Estos valores corresponden a la energía calculada con el poder calorífico

neto del gas, que en el caso de gas natural en Argentina es de alrededor de 36 MJ/m³ (8400kcal/m³) y para el GLP de 44,3 MJ/kg (10600 kcal/kg) de gas envasado. Por lo tanto, con estos datos, las emisiones de CO₂ en la combustión de gas en el hogar se calculan en base a la energía utilizada, y esta se obtiene directamente del consumo.

Emisiones en la generación eléctrica

La generación eléctrica se realiza con una diversidad de recursos, los cuales presentan diferentes eficiencias de conversión energética y distintas emisiones características de cada proceso. Entonces, para comparar el uso térmico de gas y electricidad en el hogar, es necesario evaluar la energía eléctrica de acuerdo a la matriz de generación de cada región o país. El PICC recomienda los siguientes valores de emisiones para generación eléctrica: 95 kg CO₂/GJ de carbón consumido; 75 kg CO₂/GJ de petróleo consumido (promedio de crudo y fuel oil); 56 kg CO₂/GJ de gas natural consumido; 106 kg CO₂/GJ para biomasa sólida (promedio de residuos forestales y otras biomásas sólidas); y 100 kg CO₂/GJ en el caso de residuos domiciliarios urbanos. Estos valores corresponden a las emisiones operativas, dadas por las emisiones producidas cuando se transforman los combustibles en electricidad. En las emisiones totales, además de las operativas, se tienen las intrínsecas, dadas por la construcción y mantenimiento de las centrales y equipos. Las generaciones eólica, solar, hidroeléctrica, y nuclear se consideran sin emisiones operativas. Para este estudio comparativo no se consideran las emisiones intrínsecas para ninguno de los recursos, por lo tanto las emisiones de estos últimos recursos resultan nulas.

La Tabla 2 muestra los porcentajes de cada recurso en la generación eléctrica en Argentina. Los datos fueron tomados de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2010), que resume los valores informados por las autoridades de cada país.

Se observa que la generación predominante es con gas natural (54,2%), y en segundo lugar hidroeléctrica (26,6%). Debido a fluctuaciones en el caudal de los ríos y a la acumulación de agua en represas, los porcentajes de esta generación varían de un año a otro. En 2005, por ejemplo, se tuvieron porcentajes similares para carbón, biomasa, eólica y nuclear, mientras que el gas aportó 52% y la hidroeléctrica 32%, siendo la mayor diferencia absorbida por menor incidencia del uso de petróleo, del 5,4% en 2005. Como se verá, estas variaciones estacionales influyen en alguna medida en las emisiones globales de la generación. Para los fines prácticos de este trabajo se considerará el año 2007, que es el último informado (AIE, 2010).

Tabla 2: Emisiones de la generación eléctrica en Argentina en 2007, discriminadas por recurso

	Generación (TJ) ^{a)}	Porcentaje del total (%)	Factor de conversión de combustibles fósiles ^{b)}	Emisiones de CO ₂ en generación eléctrica (kg CO ₂ / GJ electric.)
Gas natural	225101	54,2	2,5	141 ^{c)}
Petróleo	38844	9,36	2,5	192 ^{c) d)}
Carbón	8978	2,16	3,1	294 ^{c)}
Biomasa	5317	1,28	3,1	0 ^{e)}
Hidroeléctrica	110624	26,6	1	0 ^{e)}
Eólica	220	0,05	1	0 ^{e)}
Nuclear	25981	6,26	1	0 ^{e)}
Total generación 2007	415066	100,0	2,02 (global)	100 (global) ^{d)}

a) Datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2010)

b) Promedio de centrales convencionales, tomado de Fushimi et al. (2008) y de PICC (2006). Se asume un factor de conversión operativa igual a 1 en las generaciones hidroeléctrica, nuclear, y eólica.

c) Se deriva de la multiplicación de las emisiones específicas publicadas por el PICC (2006) para combustión estacionaria en generación, y el factor de conversión correspondiente

d) Se considera los valores promedio para gasoil y fueloil

e) Se asume sin emisiones netas operativas

f) La suma de las emisiones ponderadas por los porcentajes de cada recurso

La generación producida por combustión presenta un factor de conversión energética, el cual depende de la combustión, y además de la cogeneración y aprovechamiento del calor asociado. En Argentina, la mayoría de las centrales térmicas opera sin aprovechamiento del calor, por lo cual se asumen aquí factores de conversión para centrales convencionales, de 2,5 para gas y de 3,1 para carbón (Fushimi et al., 2008). Estos factores de conversión representan eficiencias de generación eléctrica del 40% para gas, y del 32% para carbón (Sosa y Fushimi, 2004; PICC, 2006). El valor considerado para gas está también de acuerdo con las estimaciones del 39% basadas en los consumos de gas y la correspondiente generación eléctrica publicadas en las planillas de balance energético (AIE, 2010). Para las generaciones hidroeléctrica, eólica y nuclear se asume aquí un factor de conversión igual a 1. Entonces, considerando la provisión eléctrica con los porcentajes de cada recurso, resulta un factor de conversión global de 2,02 (GJ de combustible fósil/ GJ eléctrico generado por todos los recursos).

Las emisiones por unidad de energía se obtienen multiplicando las emisiones específicas dadas en PICC (2006) por el factor de conversión, con lo cual se obtienen los valores de la quinta columna de la Tabla 2. En este trabajo asumimos que el uso eléctrico en los hogares se efectúa en instalaciones conectadas a la red troncal nacional, y entonces las emisiones deben tener en cuenta la mezcla de recursos ponderada con el porcentaje de incidencia de cada uno. De esta manera resulta un factor de emisión global de 100 kgCO₂/GJ eléctrico. En el caso de usar los datos de 2005 (mayor proporción hidroeléctrica), este factor de emisión por GJ eléctrico resultó de 89 kg de CO₂. A modo de comparación, es interesante ver que, por ejemplo, EE.UU. presenta un factor de emisión cercano a 170 kg CO₂/GJ, derivado del uso mayoritario de carbón y gas en la

generación. Por el contrario, países con alto porcentaje de recursos no emisores como Suecia, Suiza y Brasil presentan emisiones de generación eléctrica cercana a 20 kg CO₂/GJ. El análisis con emisiones particulares de cada país es relevante para disminuir el error en los inventarios de ciclo de vida de productos y servicios locales.

EFICIENCIAS Y EMISIONES COMPARADAS PARA USO DE GAS Y ELECTRICIDAD EN EL HOGAR

Con los datos anteriores son comparadas aquí las eficiencias y las emisiones de GEI del uso de gas y de electricidad como recursos térmicos en los hogares. La transmisión eléctrica implica una pérdida de aproximadamente 10% (PICC, 2006). Al presente no contamos con las pérdidas en líneas de gas natural, por lo cual no se considerarán aquí las pérdidas por transmisión para ninguno de los dos recursos. En la Tabla 3 se resumen los resultados de prestaciones térmicas desarrollados en las secciones anteriores, y se agregan las emisiones de gases de efecto invernadero para un uso típico de calentar agua a 90°C.

Tabla 3: Comparación de las prestaciones y las emisiones en calentamiento de agua con gas natural y electricidad

		2 L agua en olla intensidad mín / med	2 L agua en olla intensidad med / máx	1,2 L agua en pava Intensidad mín / med	1,2 L agua en pava Intensidad med /máx
Gas natural	Eficiencia neta (%)	60	50—55	45—55	30—45
	Tiempo calentamiento hasta 90°C (min)	14—23	9—14	13—17	10—13
	Emisiones calentamiento hasta 90°C (g CO ₂)	55	55—70	40—50	50—80
Electricidad	Eficiencia neta (%)	46 ¹⁾	35—38 ²⁾	48 ³⁾	45—47
	Tiempo calentamiento hasta 90°C (min)	13 ¹⁾	15—16 ²⁾	9 ³⁾	4—5
	Emisiones calentamiento hasta 90°C (g CO ₂)	64	79—94	44	40—42
Conveniencia de usar		GAS	GAS	GAS—ELECT	ELECT

1) calentador de inmersión en olla; 2) Cocina de plato; 3) calentador de inmersión dentro de un termo (González, 2003)

Se ha elegido el valor de 90°C porque es más preciso para definir que el punto de ebullición, el cual también varía con la altitud. Aunque el uso más habitual en cocción sea alcanzar el punto de ebullición, no hay pérdida de generalidad en las conclusiones debido a la elección de 90°C.

En la Tabla 3 se resumen los rangos de valores para intensidades de calentamiento mínimo/mediano y mediano/máximo, los cuales pueden ser observados en la Figura 5. Las emisiones para gas se calcularon teniendo en cuenta el consumo de gas para cada caso, y multiplicando por el factor de emisión de 56 gCO₂/MJ (PICC, 2006). Para electricidad se tuvo en cuenta la generación primaria en las eficiencias y en las emisiones. Las eficiencias eléctricas se afectaron por el factor de conversión de 2,02 obtenido más arriba, y para las emisiones se usó la emisión neta de la matriz de generación de 100 gCO₂/MJ eléctrico.

En la última fila de la Tabla 3 se agregó el resultado de un criterio de conveniencia basado en los parámetros analizados. En los casos de calentamiento en olla, las eficiencias, tiempos de calentamiento y emisiones muestran la conveniencia del uso directo de gas en el hogar. Esta conclusión puede extrapolarse a la cocción de alimentos en ollas. Podría existir alguna opción eléctrica más eficiente con ollas térmicas específicas (por ejemplo especializadas para cocción de arroz), pero no son de uso habitual en Argentina. En el caso de calentamiento de agua en pava, habitualmente destinado a infusiones, la comparación indica que para potencias máximas (y tiempos cortos de calentamiento) es conveniente el uso eléctrico. En este uso, para el rango de intensidades moderadas tanto el uso de gas como de electricidad presentan prestaciones similares. Este resultado, en algún sentido, avala la elección de dispositivos eléctricos de calentamiento de agua que están siendo cada vez más utilizados por el consumidor local. Sin embargo, en la situación crítica de la provisión eléctrica en Argentina, esta opción puede conducir a problemas de abastecimiento eléctrico o insatisfacción de la demanda en picos de consumo, los cuales no se han incluido en el estudio del presente trabajo.

CONCLUSIONES

Se estudió el uso del gas natural y la electricidad en el calentamiento de agua destinado a alimentación en los hogares. Se caracterizó el consumo de los quemadores de dos tamaños de hornalla y del horno de una cocina convencional en cinco posiciones de intensidad de llama. Para distintos recipientes se midieron las eficiencias de calentamiento de agua: en ollas representativas de la cocción de alimentos, y en pava representativa del calentamiento para infusiones. Se compararon las eficiencias energéticas y las emisiones de gases de efecto invernadero para el uso de gas natural y de electricidad. Con gas natural, en hornallas, la eficiencia de calentamiento en olla se encuentra entre 50% para intensidad de llama máxima y el 62% para intensidad cercana a la mínima. En el calentamiento de 1,2 L en pava se obtuvieron eficiencias menores, entre 29% para la máxima intensidad y 55% para intensidades cercanas a la mínima.

Los ensayos en olla con electricidad se realizaron en una cocina de plato sólido y con un calentador de inmersión; y como equivalente al gas en el caso de agua para infusiones se ensayaron dos pavas eléctricas en las cuales el calentador constituye

la base hermética, y un termo con un calentador eléctrico de inmersión. Las eficiencias del uso eléctrico en el hogar resultaron entre 72% y 76% en olla en plato sólido, 92% en olla con calentador de inmersión, y cercanas a 95% en las alternativas de pavas eléctricas y termo. Para la comparación con el gas, a estos valores deben agregarse las eficiencias térmicas en la generación eléctrica. Para esto se calculó la influencia de los distintos recursos fósiles, hidroeléctrica, eólica y nuclear en los factores de conversión y las emisiones en la generación de Argentina. Se obtuvo el valor de promedio de 100 kg CO₂ / GJ eléctrico en emisiones en la red troncal, y de 2,02 para el promedio de conversión de energía. Con este último, las eficiencias eléctricas encontradas en el uso en el hogar son reducidas a la mitad cuando se considera también la etapa de generación.

Para la comparación del uso específico se consideró una terna de valores característicos: la eficiencia energética, el tiempo de calentamiento de una masa de agua hasta 90°C, y las emisiones producidas en este. Se encontró que para calentamiento en olla (y cocción) el uso directo del gas en el hogar es más conveniente. Cuando el propósito es calentar agua para infusiones, si se hace con intensidades mínimas y medianas la conveniencia es indistinta, aunque para calentamiento rápido con alta intensidad el recurso eléctrico presenta mejores valores. Estas conclusiones cambiarían si se considera la matriz de generación eléctrica de otro país.

REFERENCIAS

- AIE (2005). Manual de estadísticas energéticas. Agencia Internacional de la Energía. Acceso libre el 13/8/2010 en http://iea.org/stats/docs/NRJ_spanish_web.pdf
- AIE, (2010). Energy balances. Electricity/heat in Argentina in 2007. Internacional Energy Agency. www.iea.org
- Carlsson-Kanyama A., Carlsson-Boström K. (2001). Energy use for cooking and other stages in the life cycle of food. Environmental Strategies Research Group and Swedish Consumer Agency, report fms-160, disponible en <http://www.infra.kth.se/fms/pdf/Report160.pdf>, libre acceso 13/8/2010
- 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.
- EPA (2006). U.S. Environmental Protection Agency. Report: Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions 1990-2020. Libre acceso, 13/8/2010, en http://www.epa.gov/climatechange/economics/downloads/GM_SectionI_TechnicalSummary.pdf
- Fushimi A., Zárate L., Moreda M., Hall M., Gómez M. (2008). Análisis de sistemas de cogeneración con turbogrupos de gas y calderas de recuperación de una presión. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 12, 07.41-07.48
- González A.D., (2003). Comparación de artefactos domésticos, formas de energía y costo relativo para el calentamiento de agua destinado a cocción de alimentos. Energías Renovables y Medio Ambiente 13, 27-36
- González A.D., Frostell B., Assefa G., Kutter R., Strogon L. (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
- González A.D. (2010). Contribución de la producción y transporte de alimentos al cambio climático: eficiencia calórica y proteica de distintos grupos de alimentos. Energías Renovables y Medio Ambiente, en prensa
- Milà i Canals L. et al. (2007). Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy. Environ. Science Pollution Res. 14 (5), 338-344
- IPCC, (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>
- Rosenfeld E., Díscoli C., Barbero R. (2003). El consumo de energía en el área metropolitana de Buenos Aires en la década del '90: una trayectoria de desarrollo insustentable. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 7, 07.01-07.05
- Sosa M.I., Fushimi A. (2004). Principios termodinámicos del URE en sistemas térmicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 8, 7.25-7.30

ABSTRACT: The aim of this work is to study the energy used and the greenhouse gas emissions associated with water heating in households. The objective is to compare end-use efficiencies for gas and electricity used in cooking. Experiments to obtain water heating efficiencies by using a custom natural gas appliance, a hot plate electrical device, and other electrical heaters have been performed. End-use efficiencies for water heating with gas were in the range of 29% to 62%, while for electricity were 72% to 96%. To assess the actual impact of electricity the generation stage in Argentina was studied, which combines fossil, as well as hydro and nuclear resources. When the efficiencies for generating electricity were considered, the use of natural gas turn to be more convenient than electricity for cooking, but the opposite was found when quick water heating in kettles is required.

Keywords: Cooking – Energy – Greenhouse gases