

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA COCCIÓN. *¿Cuáles son los artefactos de cocción más eficientes en Argentina?*

P. Sensini¹, J. Fiora², L. Iannelli³ y S. Gil¹

1. Escuela de Ciencia y Tecnología – Universidad Nacional de San Martín - UNSAM, Campus Miguelete, 25 de Mayo y Francia, (1650) Buenos Aires, Argentina.
2. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI-Energía) - Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 41, San Martín, Buenos Aires (1650) Argentina.
3. Gerencia de Distribución del Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS), Suipacha 636- (1008) CABA- Argentina. sgil@unsam.edu.ar

Recibido: 02-02-18; Aceptado: 29-06-18.

RESUMEN.- En este trabajo se comparan las eficiencias energéticas de los artefactos de cocción más usados en Argentina. En el sector residencial de usuarios de gas natural (GN), el consumo en cocción constituye alrededor del 10% de su consumo total. Pero en los hogares que tienen todos sus servicios eléctricos, la cocción constituye en promedio cerca el 14% del total. De todos, modos, la cocción es el más básico e indispensable de todos los servicios energéticos en la sociedad. Para las familias de bajos ingresos, que usan gas envasado o leña, este consumo tiene un alto impacto en sus presupuestos y en su calidad de vida. En este trabajo se comparan las eficiencias energéticas y sus respectivas emisiones de CO₂ de varias tecnologías usuales de cocción, gas, electricidad, inducción, microondas, etc. Las eficiencias se comparan usando una metodología similar y homologable entre sí. Además de analizar la eficiencia de los distintos artefactos de cocción, se discuten los principales factores que afectan el consumo cocción incluyendo: a) la producción y el transporte de los insumos energéticos (electricidad, GN, leña, etc.); b) el artefacto de cocción (cocina, microondas, etc.) y c) los procedimientos realizados por el consumidor durante la cocción (uso de tapa, cantidad de agua usada, etc.). Respecto a la eficiencia del dispositivo de cocción, algunas mejoras son posibles y las políticas públicas deberían promoverlas en nuevos productos. Sin embargo, los modos y hábitos de cocción son muy significativos y en general fáciles de implementar. Estas modificaciones del comportamiento del consumidor pueden reducir los gastos en energía entre el 30% y el 85%. Por ejemplo, el uso de la tapa en la cocción mejora la eficiencia de cocción en aproximadamente 30%. También se analiza el impacto en los consumos eléctricos cuando el hogar depende solo de la electricidad tanto para cocinar como calentar agua sanitaria.

Palabras claves: Consumo, energía, cocción, ahorro, eficiencia energética, sector residencial.

ENERGY EFFICIENCY IN COOKING *What are the most efficient cooking devices in Argentina?*

ABSTRACT.- In this work, the energy efficiencies of the most commonly used cooking devices in Argentina are compared. In the residential sector of natural gas (GN) users, cooking consumption constitutes around 10% of total consumption. But in households that cover all its services only with electricity, cooking constitutes on average about 14% of the total. In any case, cooking is the most basic and indispensable of all energy services in society. For low-income families, who use bottled gas (GLP) or firewood, this consumption has a high impact on their budgets and their quality of life. In this paper we compare the energy efficiencies and CO₂ emissions of several common technologies for cooking, gas, electricity, induction, microwaves, etc. The efficiencies are compared using a similar and comparable methodology. In addition to analyzing the efficiency of the different cooking appliances, the main factors that affect cooking consumption are also discussed, including: a) the production and transportation of fuel or electricity (GN, firewood, electricity, etc.); b) the cooking appliance (kitchen, microwave, etc.) and c) the procedures employed during cooking (use of lid, amount of water used, etc.). Regarding the efficiency of the cooking device, some improvements are possible and public policies should promote them in new products. However, cooking modes and habits have a significant impact on the use of energy and are generally easy to implement. These changes in consumer behavior can reduce energy expenses by 30% to 85%. For example, the use of the lid in cooking improves the cooking efficiency by approximately 30%. The impact on electricity consumption is also analyzed when the household depends only on electricity for both cooking and heating sanitary water.

Keywords: Energy consumption in cooking, energy savings, energy efficiency in cooking. Residential sector.

1. INTRODUCCIÓN

El 98% de los hogares argentinos dispone de acceso a los servicios eléctricos y cerca del 60% de los hogares están conectados a las redes de GN (GN) y aproximadamente 37% consumen gas embazado o gas licuado de petróleo (GLP). Como muestra la figura 1, cerca de un millón de personas en el país, todavía dependen de la leña para cocinar (INDEC 2010).

En el año 2016, el sector residencial fue responsable del 27% de la energía consumida en el país. La figura 2 muestra el gas distribuido por red aporta 64,6% de la energía consumida en los hogares, la electricidad 25,2% y el GLP 8,9 (Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina, 2018). Claramente no hay una proporcionalidad entre los números de usuarios, como se aprecia en la figura 1, y el consumo de energía, como lo muestra la figura 2. Esto se debe a que los usuarios de GLP y sobre todo de leña provienen de un sector socioeconómico más bajos recursos que los usuarios de GN y electricidad.

Las Provincias del Noreste (NEA) y Noroeste (NOA) presentan los menores indicadores de acceso a servicios energéticos (Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina, 2018). Aproximadamente 500.000 personas carecen aún de electricidad, principalmente localizadas en áreas rurales aisladas de difícil acceso y costoso tendido de redes. (Rabinovich, 2013), (IEA (2006). En la figura 3 puede verse la distribución de combustible para cocción en las diferentes provincias de Argentina.

La población que tiene acceso al servicio de GN (INDEC, 2010) lo utiliza, entre otras cosas, como principal combustible para la cocción. Estas familias, con acceso a GN, por lo general lo aprovechan también para el calentamiento de agua sanitaria (ACS) y calefacción. Su uso es mayoritario en las provincias del Norte, Centro y Patagonia. La región central del país, con los mayores conglomerados urbanos y mayor densidad de población; concentran los mayores consumos de energía. En la Provincia de Buenos Aires (incluyendo el Gran Buenos Aires) la cobertura de la red de gas alcanza el 60%.

Combustible para cocinar - Hogares

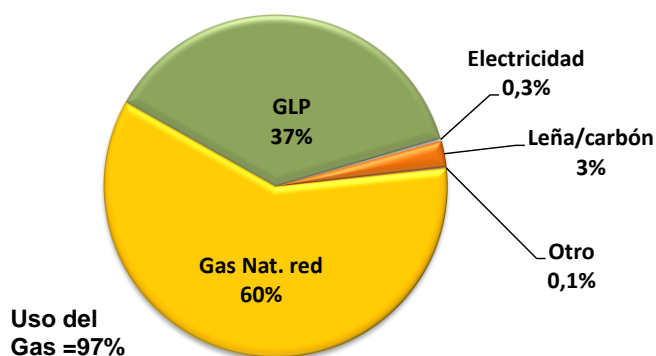


Fig. 1: Combustible utilizado para cocinar en Argentina. Los números de la tabla están en millones de habitantes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INDEC 2018 y ENARGAS 2018.

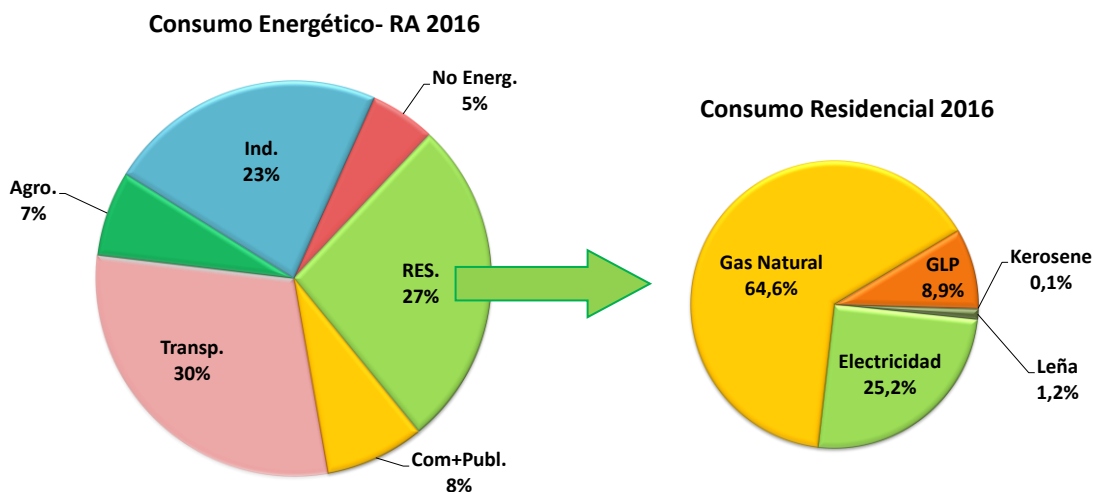


Fig. 2: A la izquierda, distribución del consumo energético final en Argentina. A la derecha, composición del consumo energético residencial en 2016, en Argentina. Fuente: Elaboración a partir de datos del BEN 2016, Ministerio de Energía y Minería de la Nación.

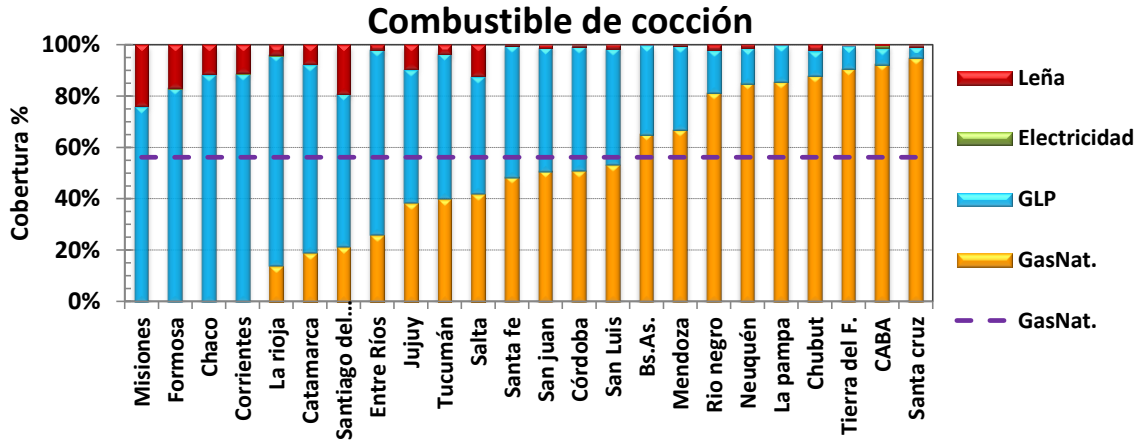


Fig. 3: Combustible utilizado para cocinar en las distintas provincias de Argentina. La cobertura de GN por redes es del 51% mientras que la de GLP es del 45%. Así podemos decir que casi el 96% de la población en Argentina usa gas para la cocción. Solo las provincias del NEA no tienen acceso al GN. Fuente: Elaboración propia a partir de INDEC 2010. (INDEC, 2010)

El GN constituye el principal componente de la matriz energética nacional, aportando más del 50% de la energía primaria del país (Ministerio de Energía y Minería). Alrededor del 27% del gas se distribuye a través de redes a los usuarios residenciales. La figura 4 muestra la variación del consumo específico residencial medio de Argentina a lo largo de un año. Los datos mostrados en esta figura son el promedio de los consumos residenciales específicos de los años 2010 al 2017. Los consumos de los meses de verano (enero y diciembre) coinciden con el consumo base, es decir el consumo de gas usado en cocción y calentamiento de

agua, área verde en la figura 4. Como se observa en esta figura, esta separación puede realizarse de manera simple, ya la variación de consumo base es relativamente suave con la temperatura y como veremos puede determinarse bastante bien a partir de los datos de consumo. La abultada joroba amarilla de los meses de invierno, corresponde al consumo de calefacción y en promedio es del orden del 55% ($\pm 4\%$) del consumo residencial de gas. Claramente esta proporción puede cambiar según la rigurosidad de los inviernos.

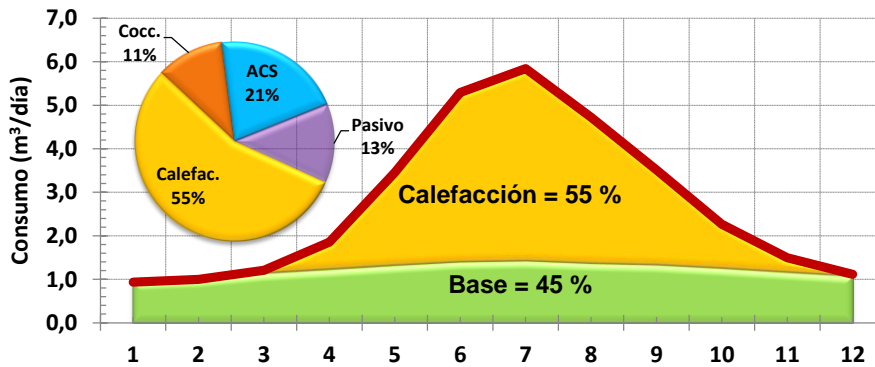


Fig. 4. Variación de los consumos específicos residenciales de gas como función de los meses del año. Los datos ilustrados aquí son el promedio de los años 2010 al 2017 para la región centro-norte de Argentina. El diagrama de torta inserto en la parte superior izquierda, muestra cómo se distribuye el consumo de gas residencial entre sus distintos usos. Los consumos pasivos, se refieren a los consumos de mantenimiento de termotanque y pilotos de calefones asociado a los sistemas de calentamiento de agua. El consumo de gas usado en calentar agua sanitaria (ACS) es la suma de calentamiento de agua propiamente y los consumos pasivos, es decir es del 34%.

Por su parte, el consumo de cocción puede obtenerse del análisis de los datos de consumo de edificios que tienen servicios de calefacción y calentamiento de agua centrales. En este caso, el consumo de las unidades o departamentos individuales, está asociado al consumo de cocción principalmente. Dado que, en el país, hay muchos edificios, cada uno de ellos con decenas de unidades individuales, con estas características, este estudio puede realizarse muy bien, ya que las distribuidoras disponen por lo general el registro de estos consumos por más de una década. En la figura 5 se muestran los consumos en función de la temperatura. Como

puede observarse, el consumo para la cocción es también dependiente de la temperatura, aumentado en los días fríos. Este comportamiento refleja la característica de que las personas tendemos a comer comidas más livianas y frías en los días calurosos que en los días fríos. Los consumos asociados a la cocción, son aproximadamente similares para todos los sectores sociales. El consumo de $0,30 \pm 0,12 \text{ m}^3/\text{día}$, equivalente a unos $3,2 \text{ kWh}/\text{día}$, para la cocción, puede considerarse representativo de toda la región centro norte, con una variación con la temperatura, como se muestra en la figura 5.

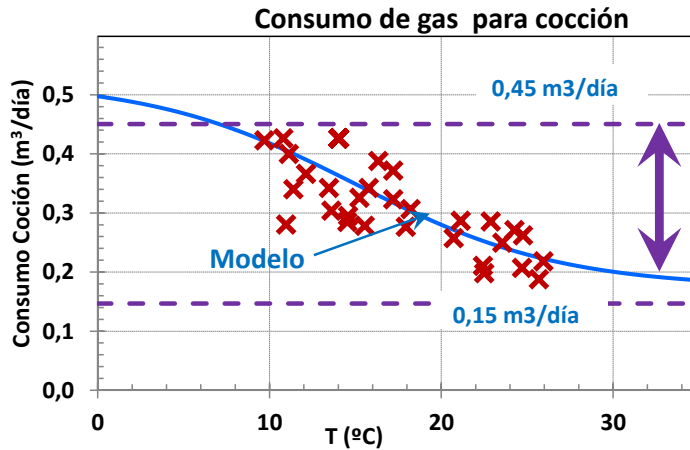


Fig. 5: Consumo de gas para cocción. Datos obtenidos de edificios de CABA con servicios centrales. El consumo promedio de gas para cocción es de $0,3 \pm 0,15 \text{ m}^3/\text{día}$. Este consumo es consistente con un uso diario de hornallas medianas de 80 min y de 15 min de horno. Fuente: elaboración propia en base a datos suministrados por Metrogas.

Casi todos los equipos de calentamiento de agua que se usan en Argentina tienen importantes consumos pasivos, esto es la llama piloto en los calefones o en el caso de los equipos de acumulación de agua caliente o termotanques que tienen un consumo de gas que es superior al consumo de los pilotos para mantener el agua caliente acumulada, esto se debe a que aun sin consumo de agua, su quemador se enciende periódicamente para mantener el agua caliente. Estos consumos pasivos ocurren las 24 horas del día ya sea que se consuma o no agua caliente. Los consumos pasivos de los pilotos de calefones son del orden del $0,5 \text{ m}^3/\text{día}$ y el de los termotanques varía entre $0,5$ a $0,75 \text{ m}^3/\text{día}$ (Iannelli y otros, 2016). Obsérvese que estos consumos pasivos son en general mayores que la energía que se precisaría para calentar todo el volumen de agua sanitaria que una familia típica usa en Argentina, unos 185 litros por día, equivalente a 56 litros/día/persona, desde la temperatura ambiente

media ($17 \text{ }^\circ\text{C}$) a la temperatura de confort de unos $42 \text{ }^\circ\text{C}$. El consumo de gas equivalente para hacer este calentamiento sería de $0,5 \text{ m}^3/\text{día}$, equivalente a $5,7 \text{ kWh}/\text{día}$. Asimismo, estos consumos pasivos son en general mayores a todo el consumo de gas que una familia tipo usa para cocinar en Argentina. Estos valores se muestran en la figura 6.

El calentamiento de agua sanitaria es el segundo consumo en importancia en el sector residencial, y muy posiblemente en el comercial también. En el sector residencial, representa aproximadamente el 34% del total. Es decir, para el calentamiento de agua sanitaria se emplea casi el 9,2% ($\approx 0,34 \times 0,27$) de la energía consumida en Argentina

Zona GBA		m ³ /día	m ³ /año	kWh/año
Base	Cocc.	0,30	110	1.184
	Cal. agua	0,50	183	1.974
	Pasivo	0,55	201	2.171
Calefacción		1,70	621	6.710
Total		3,05	1.113	12.038

Consumo residencial de gas

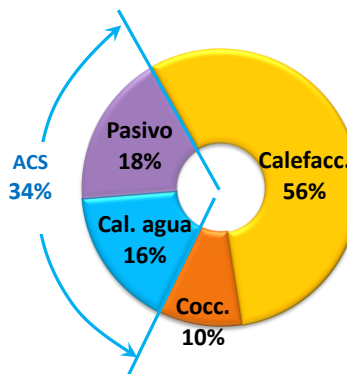


Fig. 6: Izquierda, distribución de los consumos específicos residenciales de gas para usuarios del Gran Buenos Aires (GBA). Derecha, distribución del consumo de gas en el sector residencial en el GBA. El consumo medio para calentar 185 litros de agua, equivalente a 56 litros/día/persona, de la temperatura media anual ($17 \text{ }^\circ\text{C}$) a la temperatura de confort, $T_c=42 \text{ }^\circ\text{C}$, es de unos $0,5 \text{ m}^3/\text{día}$. Si a este consumo agregamos los consumos pasivos, resulta que en el calentamiento de agua se emplean unos $1,15 \text{ m}^3/\text{día}$, equivalentes a $12,4 \text{ kWh}$. El consumo medio de gas total en esta región (base más calefacción) es de $1154 \text{ m}^3/\text{año}$ y equivale a $12.479 \text{ kWh}/\text{año}$.

Un hecho importante de señalar, es que actualmente existen en el mercado local calefones clase A, que tienen encendido electrónico y por lo tanto eliminan el consumo pasivo de los pilotos. También existen calderas y sistemas de calentamiento de agua de alta eficiencia con condensación de vapores, cuyas eficiencias superan el 90%. Desde luego, los sistemas solares híbridos con apoyo de calefones modulantes, clase A en eficiencia, pueden reducir los consumos en ACS en factores de 8 o 9 respecto de los equipos convencionales actuales (Iannelli y otros, 2016). Los calefones clase A actuales podrían generar ahorros cercanos al 50% en el calentamiento de agua, o sea de un 15% al 18% en el consumo residencial de gas (Gil, 2014).

2. METODOLOGÍAS DE ENSAYOS DE EFICIENCIA DE ANAFES DE COCCIÓN

Los procedimientos de cocción utilizados por las personas varían en forma notable de una a otra así también como los elementos usados en este proceso. Por ejemplo, en las formas, tipo y tamaño de ollas y hornallas, modos de cocción, etc. Todos estos factores afectan significativamente el aprovechamiento de la energía en la cocción (DOE, 2016), (Australian Government, 2018). Para disponer de modos de medición en forma reproducible de la eficiencia, es preciso definir protocolos bien establecidos y consensuados, que retengan la esencia de los procedimientos usados por los usuarios, pero que puedan ser protocolizados en procedimientos claros y reproducibles (IEA, 2006).

Hay varios procedimientos empleados internacionalmente para el cálculo del rendimiento de anafes (Food Service Technology Center, 2008), (CLASP). Sin embargo, la mayoría de ellos consisten en la medición simultánea del calentamiento de una determinada masa de agua entre dos temperaturas, y simultáneamente la medición de la energía utilizada en las hornallas o quemadores para generar dicho calentamiento (González, 2010). De hecho este tipo de metodología es la utilizada en las Normas Argentinas de Gas (NAG 312), (ENARGAS, 2018). El rendimiento, $R = \eta_E$, de los quemadores de plancha o anafes, puede expresarse como el cociente entre el calor entregado al sistema de interés o energía útil, $E_{\text{útil}}$ (recipiente + contenido) y el máximo calor que puede generar el gas o la electricidad, E_{Energ} esto es:

$$R = \eta_E = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{Energ}}} \quad (1)$$

En el caso del gas, si el volumen de gas medido para generar este calentamiento se designa con V_{gas} en condiciones Estándares de Presión y Temperatura ($T=15^\circ\text{C}$ y $P=1 \text{ Atm}$), (ENARGAS, 2016). Si H_s representa el poder calorífico superior del gas:

$$E_{\text{Energ}} = V_{\text{gas}} \cdot H_s \quad (2)$$

Para el caso de la electricidad

$$E_{\text{Energ}} = \int_{t_i}^{t_f} I(t) \cdot V(t) \cdot dt. \quad (3)$$

Es decir, E_{Energ} es la integral de la potencia eléctrica instantánea $P(t)=I(t) \cdot V(t)$, entre el inicio del calentamiento t_i y el final de proceso t_f . Los equipos modernos de medición,

bridan este valor integrado y corregido por factor de potencia. En el caso de anafes a GN o GLP, la energía consumida puede ser calculada mediante el producto del poder calorífico superior, H_s , del gas utilizado en el ensayo y el volumen de gas medido por el caudalímetro, V_{gas} .

La eficiencia energética, η_E , de las distintas tecnologías de cocción puede expresarse como la razón entre la energía entregada al calentamiento del contenido de la olla y lo que se quiera calentar dentro de la misma, agua en este caso. Esto es lo que denominamos energía útil, dividida por la energía consumida por el dispositivo de calentamiento. La energía entregada a la olla propiamente se considera energía útil. En la norma NAG 312, para anafes a gas, la masa y volumen de las ollas está establecido en la misma.



Fig. 7: Energía útil y consumida por la olla.

Para los ensayos realizados, la energía útil es igual a la suma de la energía necesaria para calentar una determinada cantidad de agua hasta los 95°C (se toma como temperatura final, un valor cercano pero inferior a la temperatura de ebullición del agua. $T_{\text{fin}}=95^\circ\text{C}$), más la energía necesaria para calentar el recipiente hasta los 95°C . Todas las mediciones se realizaron manteniendo este protocolo, para contabilizar de manera similar la energía asociada a la evaporación (no ebullición). En nuestro estudio, cuyo propósito es generalizar el espíritu de la norma NAG 312 a cocinas eléctricas, inducción, etc. No podemos usar recipientes de aluminio como establece la norma NAG 312, ya que estas no son apropiadas para las cocinas a inducción u hornos de microondas. Así tenemos:

$$E_{\text{útil}} = E_{\text{olla}} + E_{\text{agua}} \quad (4)$$

$$E_{\text{útil}} = m_{\text{olla}} \cdot c_{\text{olla}} \cdot \Delta T + m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T \quad (5)$$

Dónde: m_{olla} es la masa de la olla, c_{olla} es el calor específico del material de la olla. (acero, aluminio, etc.). m_{agua} es la masa del agua en la olla, c_{agua} el calor específico del agua, y $\Delta T=(T_{\text{fin}} -T_{\text{ini}})$ la variación de temperatura (usualmente $T_{\text{ini}} \approx$ temperatura ambiente (como la temperatura inicial del agua y de la olla se toma una temperatura dentro del intervalo de 15°C y 25°C) y $T_{\text{fin}} \approx 95^\circ\text{C}$).

De este modo, la *eficiencia de uso final* de cada tecnología se expresa como:

$$\eta_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{olla}} \cdot c_{\text{olla}} \cdot \Delta T + m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T}{V \cdot H_s} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{Energ}}} \quad (6)$$

Para los equipos a gas y la correspondiente para los equipos eléctricos como:

$$\eta_{elec} = \frac{m_{olla} \cdot c_{olla} \cdot \Delta T + m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{Energía\ Eléctrica\ Consumida} = \frac{E_{útil}}{E_{Energ}} \quad (7)$$

A veces resulta útil definir la masa equivalente en agua de la olla como: $m_{eq} = m_{olla} \cdot c_{olla} / c_{agua}$. Con esta definición,

$$E_{útil} = c_{agua} \cdot [m_{eq} + m_{agua}] \cdot \Delta T \quad (8)$$

Alternativamente, si se mide la masa del gas seco consumido en kg (M_{gas}), el calor asociado a esta masa de gas será: $H_s^{(masa)} \cdot M_{gas}$, donde $H_s^{(masa)}$ el poder calorífico superior en kcal/kg.

$$E_{Energ} = H_s \cdot V_{gas} = H_s^{(masa)} \cdot M_{gas}, \quad (9)$$

Por su parte, el sistema formado por el recipiente de aluminio u otro material (*olla*) y el agua, para elevar su temperatura en ΔT , requiere de una cantidad de calor $E_{útil}$:

$$Q_{útil} = (c_{agua} \cdot m_{agua} + c_{olla} \cdot m_{olla}) \cdot \Delta T = Q_{útil} = c_{agua} \cdot m_e \cdot \Delta T \quad (10)$$

donde, $m_e = m_{eq} + m_{agua}$, es la masa equivalente en agua del sistema en consideración, consistente en la masa del agua, m_{agua} , y la masa equivalente en agua de la olla, m_{eq} .

Para ensayos realizados con ollas de aluminio, el cociente entre los calores específicos del aluminio y el agua es bien conocido: $c_{Al}/c_{agua}=0,217$, para el acero inoxidable: $c_{Inox}/c_{agua}=0,1218$. Si el recipiente fuese de otro material, este cociente será lógicamente diferente. Para la olla utilizada en nuestro caso, $m_{eq}= 0,165$ kg.

3. MÉTODO EXPERIMENTAL

Para poder utilizar una cocina de inducción se requiere de una olla especial con base ferromagnética. Esto se debe a que la cocina a inducción funciona gracias a un campo electromagnético de la alta frecuencia (entre 20 y 40 kHz) que por efecto de Foucault (Wikipedia, 2018), calienta la base de la olla y esta a su vez calienta el contenido de la misma.

Para lograr que las condiciones de ensayo, con todas las diferentes cocinas o anafes, (a GN, a GLP, eléctrica a resistencia o eléctrica a inducción), se usó la misma olla en todas las mediciones (Olla de Acero inoxidable de 4 litros, marca Tramontina, de diámetro inferior de 21cm, diámetro superior 24 cm, altura de 10 cm y masa con tapa de 1,36 kg. El volumen interno es algo mayor a 4 litros). Esta elección del recipiente, hace que *nuestros resultados no sean exactamente homologables con los resultados de las eficiencias medidas con la NAG 312*, que usa recipientes de aluminio. Sin embargo, nuestra elección nos permite hacer mediciones comparativas confiables entre las distintas tecnologías de anafes, que las ollas de aluminio de la NAG

312 no permiten. Comparado con los resultados de la NAG 312, nuestros resultados no difieren en más del 5% con ellos, en los casos que es posible comparar los resultados, anafes a gas. En el caso del horno de microondas, que sólo puede usar recipientes no conductores, se usó un recipiente de plástico pero con una m_{eq} similar al de olla de acero inoxidable. Con la pava eléctrica, solo se calentó agua. En todos casos que fue posible, se midió el calentamiento con y sin tapa.

Previo a cada ensayo se lavó cuidadosamente la olla y se la pesó tanto sin agua y como con la masa de agua a medir. Esta masa de agua era en general entre 1,5 kg y 3kg, que en cada caso se registraba su valor. Se introducía una termocupla por el orificio de la tapa constatando que la unión de la misma estuviese inmersa en agua un par de cm dentro del agua y a unos 4 cm encima del fondo. En el caso de ensayos sin tapa, se colocaba la termocupla de manera tal que estuviese centrada en el recipiente y a 4cm del fondo. Una segunda termocupla registraba la temperatura ambiente, a un metro de la olla y lejos de interferencias del anafe. Las termocuplas se conectaban a un datalogger, que registraba las temperaturas a intervalos de tiempo regulares a lo largo de todo el ensayo, típicamente cada 30 segundos. El datalogger, registraba asimismo el consumo de gas o la energía eléctrica consumida durante la medición. Cuando la temperatura del agua superaba los 95°C, se concluía el ensayo. Como se indicó más arriba, estas mediciones se realizaban en cada caso con y sin tapa. La figura 8 ilustra algunos resultados del calentamiento de agua con y sin tapa, para dos cocinas diferentes: a inducción y a gas natural.

4. RESULTADOS

En todos los casos la *eficiencia final* de los artefactos se determina usando la Ec.(1) o Ecs.(3) y (4). Esto es así, porque el valor de E_{Energ} que se usa en el denominador, es el resultado de la medición de la energía final, cualquiera sea ella, GN, GLP o electricidad. Se lo denomina de energía final, pues en este caso E_{Energ} mide la energía que calienta, y no se tiene en cuenta los procesos necesarios para generarla, que como veremos, en algunos casos, como la electricidad, esta es muy distinta a la energía primaria que se utiliza en generala. En la figura 9, se muestran los resultados de los ensayos de eficiencia realizados en diferentes artefactos de cocción, comúnmente en los hogares de Argentina. Cada uno de ellos realizado con y sin tapa, para masas de agua de 1,5 kg y 3kg.

El anafe a inducción es el equipo de cocción con mayores rendimientos para el calentamiento de distintos volúmenes de agua, tanto con la olla con y sin tapa, superando a cualquier otro (exceptuando a la pava eléctrica que no es de uso gastronómico). Este alcanza una eficiencia promedio (con/sin tapa) de 80%. Seguido a este equipo están los anafes resistivos (Convencional /Vitrocerámico), con rendimientos promedio por encima del 70%.

El horno microondas es el equipo eléctrico de menor eficiencia, siendo ésta del orden del 20% muy inferior a la de los demás artefactos. Los anafes a GN y GLP son las tecnologías con rendimientos del orden del 50 %, es decir en estos equipos casi el 50% de la energía se pierde al ambiente, gran parte de ellos como gases calientes resultados de la combustión y perdidas en las ollas, por radiación, conducción, convección con el aire y evaporación de agua.

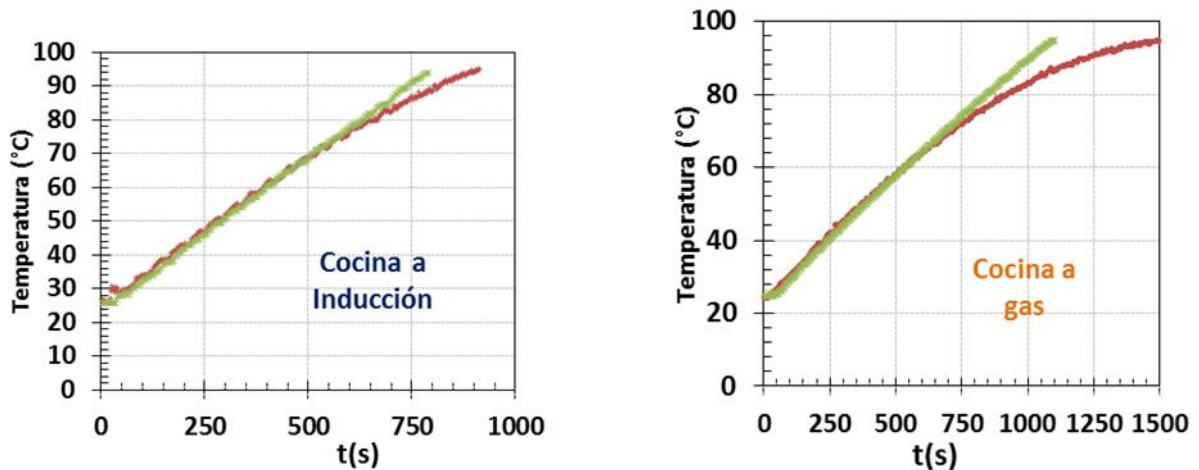


Fig. 8: Evolución de temperatura para mismo ensayo con y sin tapa de un anafe a inducción (izquierda) y otro a GN (derecha). Las curvas en verde representan la evolución de los ensayos con tapa, y las rojas sin la tapa. El hecho que para la misma potencia de calentamiento, la olla con tapa (curva roja) alcanza para una dado tiempo mayor temperatura que una olla destapada (curva verde), evidenciado una mayor pérdida de energía por evaporación.

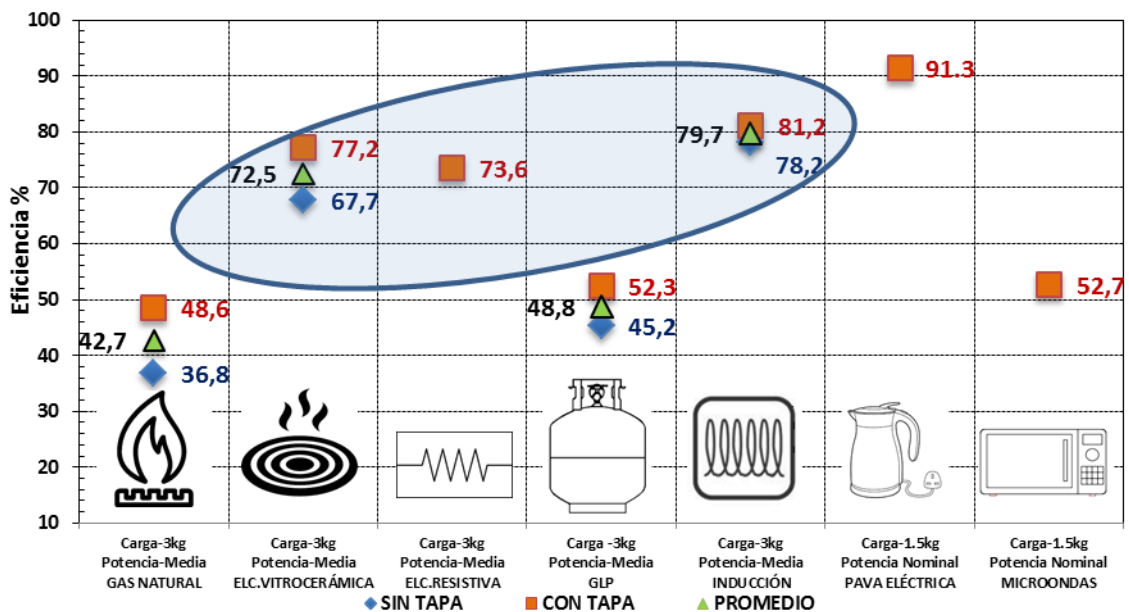


Fig. 9: Resultados de ensayos de eficiencia, para los diferentes dispositivos de cocción. Los cuadrados naranjas exponen los resultados para ensayos con tapa, y los rombos azules los azules. Los triángulos indican el promedio entre los ensayos con y sin tapa. Dentro de la elipse azul se encuentran los anafes eléctricos. Los errores en estos datos son del orden del 5%.

4.1. Efecto de la tapa.

Un resultado notable de estos ensayos, es que en todas las tecnologías, el uso de la tapa en las ollas es muy importante. En efecto, el efecto de la tapa es significativo en todos los casos, si bien es mayor en los equipos a gas que en lo de inducción, la eficiencia de cocción disminuye en el orden del 30% cuando no se usa la tapa. Es decir, su efecto a veces en mayor que la diferencia de eficiencia por variación de tecnología.

De hecho, si se observa la figura 8, se puede visualizar el efecto de la tapa. Esta figura muestra las curvas de calentamiento para dos ensayos similares, con y sin tapa, en un anafe a inducción y otro a GN. La grafica permite comprender la razón de la diferencia del uso de la tapa en las cocinas de inducción frente a las de GN. A temperaturas

mayores a 70°C, la evaporación comienza a aumentar en forma muy rápida. Por lo tanto, si en el proceso de calentamiento, el recipiente permanece a mucho tiempo entre las temperaturas de 70°C y 100°C, como ocurre en la cocción a gas, con la olla destapada de la figura 8, la evaporación será más larga y removerá mayor cantidad de energía del líquido, haciendo que su tasa de calentamiento disminuya. Como en este caso se pierde más energía por evaporación, la eficiencia de cocción, será menor. Con la cocción a inducción, la tasa de calentamiento es más rápida, y por lo tanto la pérdida de energía por evaporación es menor. En la figura 9, se muestran una síntesis de los resultados de nuestras mediciones de eficiencia de energía final para las distintas tecnologías analizadas.

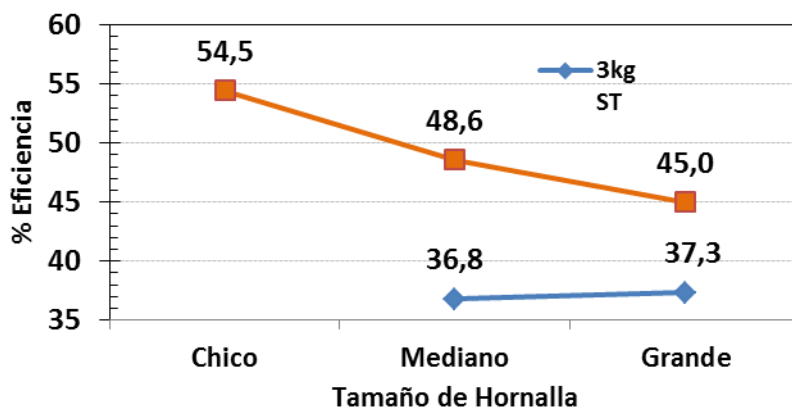


Fig. 10: Evolución de rendimientos para el calentamiento 3.0kg de agua para diferentes hornallas, en un anafe de GN. Las curvas en naranja exponen los ensayos con tapa (CT) y los azules sin la misma (ST).

Tabla 1: Emisiones de CO₂ de los distintos insumos energéticos en Argentina.

Emisiones de GEI por unidad de energía (kWh)			
g(CO ₂ /kWh)		Factor de Emisión	Nota
Gas Natural (GN)	179	1	Combustión
GLP	217	1,21	Combustión
Electr. (GN+CC)	320	1,79	Electricidad
Electr. (RA-Total)	343	1,92	Electricidad
Electr. (RA-Térm.)	530	2,96	Electricidad
Electr. (Carb.)	1000	5,59	Electricidad

Algo similar ocurre con el horno de microondas, su eficiencia efectiva es relativamente baja, sin embargo, si se desea calentar un plato o una pequeña porción de comida, es posible que resulte más eficiente usar el microondas que calentar un horno o encender una hornalla con una olla para hacer lo mismo. En el microondas, es muy posible que en tiempo de uso sea menor y más efectivo el calentamiento, ya que el calor sólo va a la porción de alimento; que encender un horno que calienta un gran volumen de aire y la carcasa metálica que lo rodea, con tiempos de uso mayores.

El aumento o disminución de la potencia en los diferentes artefactos de cocción, también hace variar el rendimiento energético de los equipos. La potencia tiene diferentes efectos dependiendo de la presencia o no de tapa en los recipientes. En el caso de los ensayos tapados, los resultados manifiestan la misma tendencia en todas las tecnologías: a medida que aumenta la potencia, disminuye el rendimiento. Como contraparte para los ensayos sin tapa, ésta condición se revierte y la eficiencia aumenta a medida de que incrementa la potencia. La figura 10 muestra el efecto que tiene el aumento de la potencia en un anafe de GN. Este efecto también se observa en otros estudios similares (González, 2010). Reduciendo la potencia (de la mayor a la menor) en el anafe de GN, se logra aumentar la eficiencia del equipo en casi un 20% (con recipiente tapado).

Los valores de eficiencia de los distintos anafes y dispositivos e cocción, medidos en este trabajo, son consistentes con los valores observados para estas tecnologías en otros ensayos (González, 2010), (Hager & Morawicki, 2013).

5. DISCUSIÓN

Nuestros resultados indican que el anafe de inducción es el equipo de mayor eficiencia de cocción, si solo se tiene en cuenta la energía final usada. Sin embargo, este es un resultado parcial que debe ser evaluado en un contexto más general. A la hora de comparar eficiencias de equipos que prestan el mismo servicio, usando distintos tipos de energía final o vectores energéticos, es preciso tener en cuenta los distintos procesos de transformación que tienen lugar hasta obtener el vector energético que alimenta cada equipo de cocción: GN, GPL, electricidad, etc. Además, como todos estos procesos, tienen eficiencias que son inferiores al 100%. Toda esta cadena de transformaciones genera pérdidas y emisiones de gases de efecto de invernadero que es necesario contabilizar. Asimismo, es importante tener en cuenta que el costo de una unidad de energía, tiene valores muy diferentes según qué vector se use. Así, la misma unidad de energía en Argentina puede costar entre dos a tres veces más según se trate de electricidad o GN respectivamente.

Dado que, en Argentina, cerca del 55% de la electricidad se genera usando gas natural, cuya eficiencia de transformación, en el mejor de los casos, no supera el 56%, es natural generar algún coeficiente de corrección o Factores de Comparación de Insumos Energéticos (FCIE) para así poder comparar la eficiencia de los equipos que brindan una misma prestación. Este importante tópico, se discute para el caso de Argentina en otro trabajo (Sensini & Otros, 2018). Una aproximación útil y efectiva consiste en definir los valores de los FCIE a partir de las emisiones de CO₂, de los respectivos insumos utilizados, teniendo en cuenta todas las transformaciones ocurridas hasta lograr el insumo energético final. El resultado de este procedimiento se muestra en la Tabla 1 (Sensini & Otros, 2018). Los valores de emisión de los primeros dos vectores energéticos, se refieren a sus emisiones por cada kWh de energía producida en su combustión. Los cuatro últimos en cambio, se refieren a las emisiones por kWh de energía eléctrica producida usando distintas tecnologías. Electr. (GN+CC) se refiere a la electricidad generada por centrales de ciclo combinado a gas natural. Electr. (RA-Total) es el valor medio de emisiones de la electricidad con la matriz de generación de Argentina en el año 2016. Electr. (RA-Térm.) se refiere a las emisiones con el parque térmico existen en Argentina. Electr. (Carb) se refiere a las emisiones con una central eléctrica de carbón. La tercera columna son los FCIE propuestos.

La razón de realizar estas correcciones es fácil de comprender. En Argentina casi el 60% de la energía eléctrica se produce usando GN. Las mejores centrales eléctricas para realizar esta transformación son las de Ciclo combinados, con eficiencias del orden del 56%, además en la transmisión y distribución de esta electricidad hay pérdidas que son del orden del 12%. Con los que la eficiencia de transformación de GN a electricidad es del orden del 50%. Por lo tanto, es justo y razonable afectar a la eficiencia de los equipos eléctricos por este coeficiente cuando se lo compara con un equipo de cocción a gas.

Usando los coeficientes de conversión energética (FCIE), tercera columna, de la Tabla 1. Podemos realizar una comparación más adecuada de las distintas eficiencias

finales medidas para los distintos equipos de cocción. Para ello es útil definir la *eficiencia efectiva* (η_{ef}) como:

$$\eta_{ef} = \frac{R}{FCIE} = \frac{\eta_E}{FCIE} = \frac{E_{\text{útil}}}{FCIE \times E_{\text{energ}}}. \quad (11)$$

Con esta eficiencia efectiva, o eficiencia del “pozo a la olla” los resultados obtenidos en este trabajo se muestran en la figura 11. De este modo, vemos que al tener en cuenta toda la cadena de transformación, un equipo de inducción, tiene una eficiencia efectiva que en muy similar a la de una cocina a GN. Asimismo, una pava eléctrica, resulta un artefacto muy efectivo y conveniente, con una eficiencia efectiva similar a una cocina a gas. Sin embargo, si lo que se busca es solo calentar agua, es posible que una pava eléctrica presente una ventaja adicional, en el sentido que permita regular más fácilmente los volúmenes de agua a calentar y tiene la ventaja que en general se apaga automáticamente cuando el agua llega al hervor. Por lo tanto, se reduce la posibilidad de calentar una pava más allá de lo necesario.

Algo similar ocurre con el horno de microondas, su eficiencia efectiva es relativamente baja, sin embargo, si se desea calentar un plato o una pequeña porción de comida, es posible que resulte más eficiente usar el microondas que calentar un horno o encender una hornalla con una olla para hacer lo mismo. En el microondas, es muy posible que en tiempo de uso sea menor y más efectivo el calentamiento, ya que el calor sólo va a la porción de alimento; que encender un horno que calienta un gran volumen de aire y la carcasa metálica que lo rodea, con tiempos de uso mayores.

En este trabajo, hemos analizado solo un aspecto asociado a la energía usada en la cocción, que lo podríamos denominar el “*hardware*” de la cocción, o sea el asociado con el equipo de calentamiento o anafe. Sin embargo, la eficiencia de cocción depende en forma crítica de otros factores, que podríamos denominar el “*firmware*” y “*software*” de la cocción.

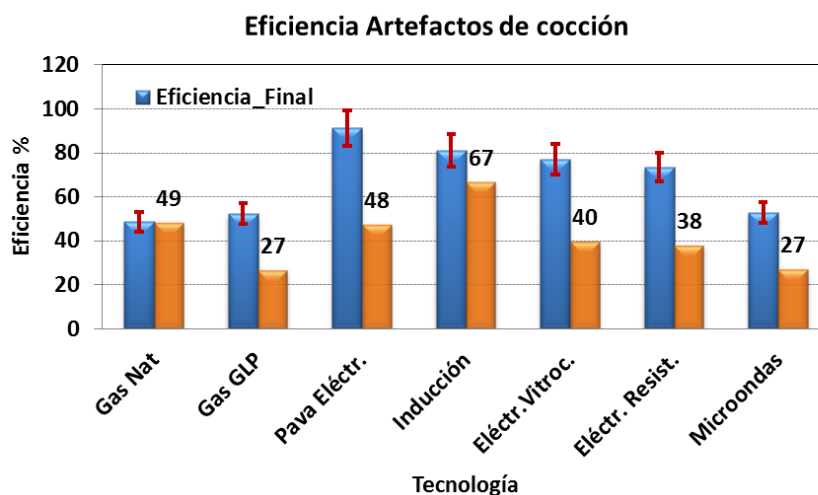


Fig. 11: Eficiencia final (barras bordó) y eficiencia efectiva (barras verdes) de los artefactos de cocción con tapa de los distintos dispositivos estudiados en este trabajo. Estos valores son representativos de los equipos de marcas recocidas en el mercado local en el año 2016-2017. Es claro, que dentro de cada clase de equipos puede haber un rango de eficiencia, que definen su eficiencia final, lo que este grafico indica es una comparación entre equipos promedios dentro de cada tecnología.

El *firmware* se refiere a los equipos que usamos para cocinar, por ejemplo el tipo de ollas, su tapa, etc. En particular vimos que en el proceso de cocción tapar la olla resultó tener un impacto muy significativo en la eficiencia de calentamiento para todas las tecnologías o *hardwares* evaluados. Para los anafes de mayor uso en el país, o sea los que usan: GN, GLP y resistencias eléctricas, el uso de la tapa puede aportar un ahorro del orden del 30%. Siendo este valor menor en el caso de las cocinas a inducción.

Asimismo, el uso de *estrías* o *aletas* en la base de las ollas, puede mejorar notablemente la transmisión de calor de la llama a la olla. Valores de mejoras en la transmisión tan grandes como del 50% fueron reportados en algunos estudios (Food Service Technology Center (USA), 2008). Las mejoras en transmisión de calor pueden ser del orden del 50%. (Sorensen and D. Zabrowsky, 2008). Estos productos ya se comercializan en muchos negocios de *retail* internacionales (Amazon, 2018), algunos ejemplos se muestran en la figura 12.



Fig. 12: Dos modelos comerciales de ollas con aletas o estrías. Estas estrías hacen más eficientes la transmisión del calor de la llama a la olla. Especialmente adecuadas para cocinas a gas.

Así vemos que estos dos simples aspectos (tapa y estrías), pueden mejorar, si se usan en forma combinada, mejoras en la eficiencia del orden 70% a 80% en la eficiencia del proceso de cocción con gas. Con lo que la eficiencia reportada, figura 10, para las cocinas a gas, podrían alcanzar hasta el 70%.

En cuanto al *software* de la cocción, podemos mencionar el uso de ollas térmicas u ollas brujas, que son termos o recipientes térmicos en los que se coloca la olla una vez que llega a la ebullición y mantiene la temperatura de cocción por más de 5 o 6 horas, con lo que la cocción puede realizarse usando sólo el aporte inicial para llegar a la ebullición. Estos sistemas pueden generar ahorros tan grandes como del 60% al 70% de la energía en cocción (Thermal cooking, 2018), (DeamPot, 2018).

6. CONCLUSIONES

Nuestro estudio indica que en la actualidad, los equipos de cocción a inducción y los de GN tienen eficiencias *energéticas efectivas* que son muy similares y superiores a las cocinas eléctricas con resistencia eléctrica. Las pavas eléctricas modernas, con carcasa de plástico y sistema de encendido y apagado automático, son asimismo una muy buena opción para calentar agua. Si se considera solo la eficiencia de uso de energía final, es decir aquella que no tiene en cuenta las transformaciones para obtener dicho vector energético, la cocina a inducción y la pava eléctrica son los más eficientes. Así, los artefactos de inducción son una buena opción, sobre todo si la generación eléctrica no depende significativamente del uso de combustibles fósiles, como podría ser el caso de un país como Paraguay o Uruguay, cuyas matrices energéticas tienen una componente muy importante de generación hidroeléctrica y otras renovables. En el caso de Argentina, donde más del 60% de la electricidad se genera con combustibles fósiles, la opción más adecuada y eficiente resultan ser los anafes a GN. En el mediano plazo, con la incorporación de las energías

renovables a la matriz energética, es previsible que estas conclusiones actuales varíen, haciendo que los equipos de inducción comiencen a hacer valer más efectivamente su mayor rendimiento. Además, junto a la previsible disminución de los costos del anafe de inducción, sería de esperar que estos equipos comiencen a ser una alternativa interesante a las tradicionales de GN.

En Argentina el 60% de los hogares usa gas natural para satisfacer sus necesidades de cocción, si incluimos los usuarios de GLP, (37%) el número de familias que usan gas es del 97%, si a estos agregamos el 2% que usa leña, tenemos que un 99% de la población usa algún tipo de llama para cocinar. Como vimos, mejorando el *firmware* de la cocción, es decir tapas y ollas con estrías, toda la población podría mejorar su eficiencia de cocción significativamente. Si a esto agregamos, mejoras en el *software* de cocción, como el empleo de ollas térmicas u ollas brujas, el ahorro que podría lograrse en cocción, podría fácilmente superar el 50%. Dado el bajo costo de estas tecnologías, creemos que promover su uso, además de reducir las facturas de los usuarios, contribuiría a disminuir sus consumos de gas haciendo menos necesaria la necesidad de ampliar la infraestructura de transmisión y distribución y mitigando las necesidades de importar gas y las emisiones de gases de efecto de invernadero. Al mismo tiempo se podría promover una actividad industrial local, que genere desarrollo y empleo.

En Argentina, hay aproximadamente un 30% de la población en condiciones de pobreza, la mayoría de ella emplea GLP y leña para la cocción, que son combustibles muy costosos. Muchas personas en este segmento socioeconómico carecen de servicios de agua caliente sanitaria o su provisión es costosa e insatisfactoria, algo similar ocurre con la calefacción, luz y otros servicios energéticos. Además, el impacto relativo de los gastos en energía de estas familias es una fracción mucho más elevada que para el resto de la sociedad. Por lo tanto, las medidas de

eficiencia para este sector social, son mucho más relevantes que para el resto de la sociedad, y es en este sector social donde las políticas de mejoras en la eficiencia de cocción podrían tener un impacto más importante. De hecho, varias de estas políticas de eficiencia ya se implantan en Chile, Uruguay y varios países de Latinoamérica y del mundo.

En ese sentido, el uso racional y eficiente de la energía, combinado con el empleo de la energía solar, tanto para el calentamiento de agua sanitaria, como cocción, abren interesantes posibilidades de mejora de la calidad de vida de muchas personas que actualmente tiene servicios energéticos deficientes.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a varios colegas de ENARGAS por el apoyo brindado para la realización de este trabajo. Asimismo agradecemos a las firma Longvie S:A. y Macroser por facilitarnos algunos de los equipos que utilizamos para estos ensayos. En particular agradecemos a: J. Cáceres Pacheco, E. Bezzo y M. Maubro. También agradecemos a Marcelo Lezama de Metrogas por su asistencia y colaboración en diversas partes de este proyecto. Asimismo agradecemos a Mayra Ramirez, Carlos Tanides y Damián Strier.

REFERENCIAS

- A. D. González. (2010). Comparación de energías y gases de efecto invernadero en calentamiento. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **14**(7), 25-32.
- Amazon. (2018). Recuperado de https://www.amazon.com/Turbo-Pot-FreshAir-Stainless-Steel/dp/B01GKGBFJM/ref=sr_1_5?s=home-garden&ie=UTF8&qid=1529249831&sr=1-5&keywords=pot+with+fins
- Australian Government. (2018). Cook efficiently. Recuperado de <http://yourenergysavings.gov.au/energy/appliances-equipment/energy-efficient-appliances/cook-efficiently>
- CLASP. (n.d.). Collaborative Labelling and Appliance Standards Programm. Recuperado de <http://www.clasponline.org>
- DreamPot. (2018). DreamPot . Recuperado de <http://www.dreampot.com.au/thermal-cooking/energy-efficiency/>
- ENARGAS, Ente nacional regulador del gas (2006). Norma NAG 312 Artefactos domésticos de cocción que utilizan combustibles gaseosos.
- ENARGAS. (2018). Ente Nacional Regulador del Gas. Recuperado de <http://www.enargas.gov.ar>
- Food Service Technology Center (2008) G. Sorensen and D. Zabrowsky- Fisher-Nickel Inc. Eneron, Inc. Prototype Commercial Stock Pot Testing FSTC Report 5011.08.12. SanRamon, CA: Fisher-Nickel Inc.
- Food Service Technology Center, USA (2008). Appliance Test Summary Report. California.
- Hager, T. J., & Morawicki, R. (2013). Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations. *A Review. Food Policy*, **40**, 54-63.
- Iannelli, L., & otros. (2016). Eficiencia en el calentamiento de agua. Consumos pasivos en sistemas convencionales y solares híbridos. *Petrotecnia*, LV, N03, P.586-95., LV(3), 586-595.
- Iannelli, L., & otros. (2016). Eficiencia en el calentamiento de agua. Consumos pasivos en sistemas convencionales y solares híbridos. *Petrotecnia*, LV(3), 586-595.
- IEA (2006), "Energy for Cooking in Developing Countries", in World Energy Outlook, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/weo-2006-16-en>. (n.d.). IEA (2006), "Energy for Cooking in Developing Countries", in World Energy Outlook 2006, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/weo-2006-16-en>.
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, Argentina. Recuperado de http://www.indec.gov.ar/censos_total_pais.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135&t=0&s=0&c=2010.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INDEC. (2010). Recuperado de <http://www.indec.gov.ar>.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina. (2018). Balance Energético Nacional. Recuperado de http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idp_agina=3366
- Ministerio de Energía y Minería. (n.d.) (2016). Recuperado de <https://www.minem.gob.ar/>
- Rabinovich, G. (2013). Rápida evaluación y análisis de los objetivos del Proyecto Energía Sustentable para Todos en el sector energético de la República Argentina. Buenos Aires: PNUD BID.
- S.Gil. (2014). ¿Es posible disminuir nuestras importaciones de gas? *Petrotecnia*, LV, 82-91.
- Sensini, P., & otros. (2018). ¿Qué significa la eficiencia de los artefactos domésticos? *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Enviado a evaluación.
- Thermal cooking . (2018). Wikipedia. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_cooking
- US Department of Energy (DOE). (2016). DOE cooking up energy savings for ranges and ovens. Recuperado de <https://appliance-standards.org/blog/doe-cooking-energy-savings-ranges-and-ovens>
- Wikipedia. (2018). Induction heating. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_heating