Título	Microondas e inducción: calentar sin fuego
Concepto físico	Radiación electromagnética. Absorción dieléctrica. Inducción electromagnética. Corrientes de Foucault. Efecto Joule.
Enlaces	Link 1 (Inducción electromagnética) Link 2 (Microondas)

Explicación teórica

Durante siglos, cocinar implicó siempre lo mismo: quemar algo para obtener calor y transferirlo al alimento. Las cocinas de gas y las resistencias eléctricas siguen este paradigma: generan calor en un punto y lo transfieren al recipiente y al alimento por conducción y convección. Sin embargo, el microondas y la cocina de inducción representan una ruptura radical con esta idea: en ambos casos, la energía se deposita directamente donde se necesita, saltándose intermediarios. La física detrás de cada uno de estos mecanismos es completamente diferente, y entenderla explica de inmediato por qué el plato del microondas no se calienta, pero el alimento sí, o por qué una sartén de aluminio no funciona en inducción.

El microondas: calentar agitando moléculas de agua

Un horno microondas genera radiación electromagnética a una frecuencia de 2,45 GHz, en la banda de las microondas. Esta frecuencia no es especial por ninguna razón de resonancia molecular, como a veces se afirma erróneamente: fue elegida por razones históricas y de regulación del espectro radioeléctrico. Lo relevante es que a esta frecuencia la radiación penetra varios centímetros en los alimentos y es absorbida eficientemente por las moléculas de agua.

El mecanismo de absorción es dieléctrico: las moléculas de agua son dipolos eléctricos permanentes, con una carga parcial negativa en el oxígeno y positiva en los hidrógenos. El campo eléctrico oscilante de la radiación microondas fuerza a estas moléculas a girar continuamente intentando alinearse con el campo. Estas rotaciones moleculares generan rozamiento intermolecular, que se disipa como calor en el seno del alimento. Es decir, el calor se genera directamente dentro del alimento, no en su superficie, lo que explica el calentamiento desde el interior característico del microondas.

Esto tiene consecuencias importantes para el cocinado. Como el calor se genera donde hay agua, las zonas más húmedas del alimento se calientan más que las zonas secas o grasas. El hielo absorbe muy poco microondas (sus moléculas de agua están fijas en la red cristalina y no pueden girar libremente), lo que explica por qué descongelar en microondas es tan difícil: las primeras zonas que se funden absorben toda la energía mientras el resto sigue congelado. Por la misma razón, un plato de cerámica vacío no se calienta en el microondas (no contiene agua libre), pero sí lo hace si tiene restos de humedad.

La limitación fundamental del microondas es que la temperatura máxima que puede alcanzar el alimento es de aproximadamente 100 °C (el punto de ebullición del agua a presión atmosférica). Por encima de esa temperatura el agua se evapora y se escapa, por lo que el microondas es incapaz de producir las reacciones de dorado (Maillard) que requieren temperaturas superiores a 140 °C. Esta es la razón por la que el microondas recalienta perfectamente pero no puede asar, freír ni dorar.

La inducción: calentar la sartén con un campo magnético variable

La cocina de inducción funciona sobre un principio físico completamente distinto al microondas: la inducción electromagnética, descrita por la ley de Henry-Faraday-Lenz. Bajo la superficie vitrocerámica de la placa hay una bobina de hilo de cobre por la que circula una corriente alterna de alta frecuencia (entre 20 y 100 kHz). Esta corriente genera un campo magnético variable que atraviesa la vitrocerámica (transparente a los campos magnéticos) y penetra en el fondo del recipiente colocado encima.

Si el recipiente es de un material ferromagnético (hierro fundido, acero inoxidable magnético), el campo magnético variable induce en su interior corrientes eléctricas circulares denominadas corrientes de Foucault o corrientes parásitas. Estas corrientes circulan por el metal del recipiente y, por efecto Joule ($P = I^2R$), generan calor directamente en el fondo de la sartén. El calor se produce así en el propio recipiente, no en la placa: por eso la superficie de la cocina de inducción permanece relativamente fría (solo se calienta por conducción desde la sartén, y solo en la zona de contacto).

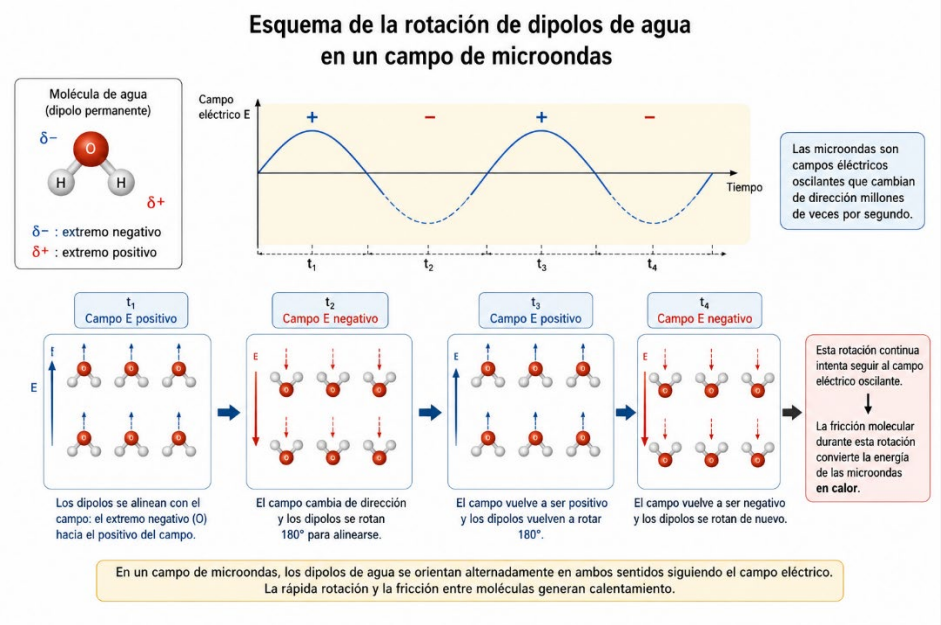
La eficiencia energética de la inducción (85–90 %) es muy superior a la del gas o la vitrocerámica convencional porque prácticamente toda la energía eléctrica se convierte en calor directamente en el recipiente, sin pérdidas intermedias. La regulación de potencia es además instantánea: al cambiar la corriente en la bobina se modifica de inmediato el campo magnético y por tanto el calor generado, sin inercia térmica. Esta respuesta inmediata es imposible en vitrocerámica o gas, donde el elemento calefactor tarda en enfriarse.

La razón por la que una sartén de aluminio o de cobre no funciona en inducción no es la ausencia de corrientes de Foucault: al ser excelentes conductores, el campo variable induce en ellos corrientes muy intensas, pero que disipan muy poco calor ($P = I^2R$) porque su resistencia efectiva es demasiado baja. En un material ferromagnético, la alta permeabilidad magnética confina las corrientes en una capa superficial muy delgada, lo que aumenta la resistencia efectiva y hace muy eficiente la disipación por efecto Joule; en el aluminio o el cobre, la corriente se reparte por una sección mucho mayor y la base apenas se calienta. Por eso, para que un recipiente funcione en inducción, su material debe tener una permeabilidad magnética suficientemente alta, lo que en la práctica significa que debe ser atraído por un imán.

Comparativa de tecnologías de cocción

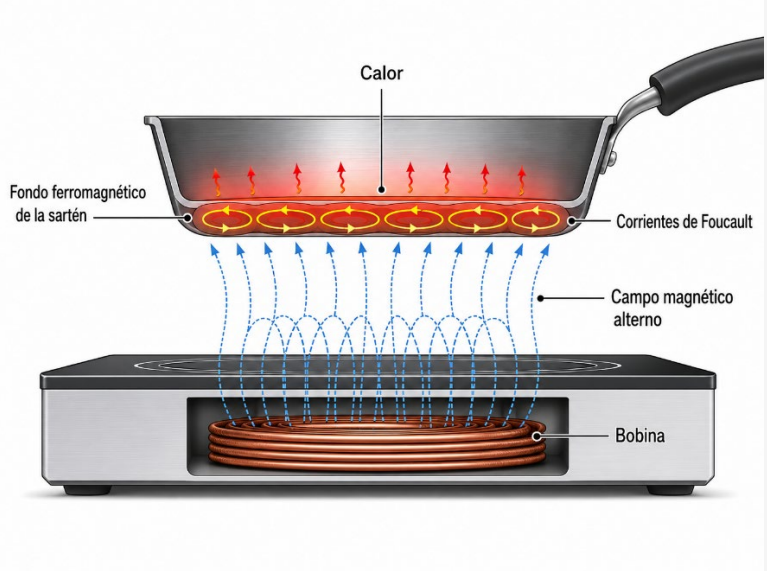
Parámetro	Gas / resistencia eléctrica	Vitrocerámica radiante	Inducción	Microondas
Principio físico	Combustión / efecto Joule	Radiación infrarroja	Inducción electromagnética (corrientes de Foucault)	Absorción dieléctrica de radiación de 2,45 GHz
¿Qué se calienta?	La llama / resistencia, luego el recipiente, luego el alimento	La placa, luego el recipiente, luego el alimento	Directamente el recipiente (debe ser ferromagnético)	Directamente el alimento (las moléculas de agua)

Superficie de cocción al tacto	Muy caliente	Muy caliente	Templada (solo calienta el recipiente)	Fría (el plato no absorbe microondas)
Eficiencia energética aproximada	40–55 %	55–65 %	85–90 %	65–75 %
¿Puede dorar o crear corteza?	Sí	Sí	Sí (igual que gas/vitro)	No (no supera los 100 °C en el alimento)
Recipientes válidos	Cualquiera resistente al calor	Cualquiera resistente al calor	Solo ferromagnéticos (hierro, acero inoxidable magnético)	Vidrio, cerámica, plástico apto. NO metal



Esquema de la rotación de dipolos de agua en un campo de microondas

Fuente: Elaboración propia



Esquema de corrientes de Foucault en el fondo de una sartén sobre placa de inducción

Fuente: Elaboración propia

Preguntas de reflexión

1. Un vaso de agua y un vaso de aceite se calientan en el microondas durante el mismo tiempo. ¿Cuál alcanzará mayor temperatura y por qué? ¿Qué propiedad molecular explica la diferencia?
2. ¿Por qué no se deben introducir objetos metálicos en el microondas? Relaciona tu respuesta con la interacción entre las microondas y los conductores eléctricos.
3. Una sartén de acero inoxidable con fondo de aluminio intercalado (muy común en el mercado) funciona en inducción. ¿Qué capa es la responsable del calentamiento y por qué? ¿Qué ocurriría si el fondo fuera solo de aluminio?
4. La cocina de inducción tiene una eficiencia energética del 85–90 %, mientras que el gas ronda el 40–55 %. Sin embargo, en muchos hogares el coste de cocinar con gas sigue siendo menor que con inducción. ¿Qué factor económico explica esta aparente contradicción?

Autores: Pascual Sevillano, Francisco José Torcal y Fernando Blesa. Dpto. de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza.