



Apoyo a la docencia: Estima la velocidad de la luz (cocinando quesadillas)

Astron Martínez

Asociación civil DiVU: Diversidad, cultura, género, alimentación y ciencia www.divu.mx
astronr@hotmail.com

Admito haber metido soldaditos de plástico, crayolas, superficies metalizadas, hormigas y toda clase de objetos al microondas de mi casa durante la infancia. No fui el único. La mayoría de personas científicas que conozco también fueron *niños destroyers* o curiosos experimentadores natos. Aclaro que nunca (casi nunca) fueron sujetos experimentales las tortuguitas japonesas, hámsteres, pequeños animales de compañía o la infortunada fauna nativa que es tan abundante en nuestra América Latina, en mi pueblo natal o en las grandes ciudades. Y es que, en esta región del mundo, el ingenio y la creatividad palían la falta de infraestructura, instrumentos científicos de precisión o costosos reactivos. En esta práctica de ciencia casera pretendo mostrar que puede ser posible (divertido y muy delicioso) hablar de electromagnetismo, física experimental y estimar el valor de “c” con quesadillas hechas en un horno de microondas. Esto sin poner en riesgo la vida útil del electrodoméstico ni de aquellas osadas personas que gusten replicarlo desde la comodidad de



sus casas. La velocidad de la luz (representada con la letra *c* en minúscula) es una de esas constantes físicas que se utilizan para todo. De ahí derivamos patrones primarios de medición, otras constantes, respondemos trivias científicas de juegos de mesa o hacemos graciosos memes viales que aluden a la “Velocidad máxima permitida”. Estimar el valor de “c” nunca fue sencillo. De hecho, fue un problema que atormentó a los experimentadores más minuciosos por varios siglos. La naturaleza misma de la luz fue puesta en duda muchas veces,

hasta que llegó Maxwell y sus ecuaciones en el siglo XIX, y la mecánica cuántica, en el XX. ¿Quién diría que la respuesta puede hallarla en su cocina, con una regla y algo de paciencia? Preparar quesadillas de microondas puede acercarnos a desentrañar algunos secretos de las ondas transversales de radiación electromagnética (como la luz visible o las microondas) y de la física moderna. Hay más hogares mexicanos con un horno de microondas que hogares con videojuegos, servicio de películas, música o videos de paga por internet juntos. Hay más hogares con microondas que hogares con línea telefónica fija y más de la mitad de personas que tienen celular tienen microondas. Con todo y su prevalencia, en un estudio que publiqué el año pasado pude inferir que al menos 7 de cada 10 personas creen que *usar este electrodoméstico es dañino si lo comparamos con otros métodos de calentamiento como la estufa*. Cabe resaltar que, en prácticamente medio siglo de la llegada de microondas a nuestro país, no se han demostrado sus efectos nocivos al ambiente, los alimentos o la salud humana. En los laboratorios de ciencia experimental de nuestro instituto (y bastantes otros alrededor del mundo) se utilizan microondas para realizar pruebas en distintos materiales, síntesis de otros tantos y procesos unitarios básicos de rutina. Este experimento en particular explota el hecho de que los hornos de microondas comerciales utilizan ondas estacionarias (es decir, que no se propagan en el tiempo) y también el hecho de que el diseño de la mayoría de los modelos consta de una bandeja giratoria cargada de alimentos (la comida es lo que se mueve y no el magnetrón que genera las ondas ni la antena que las distribuye). Si tu microondas es del que “da vueltas” para calentar la comida podemos continuar.

¿Qué necesitas?

- Una regla escolar (que pueda medir milímetros y centímetros).
- Un microondas comercial (y permiso de sus dueños para utilizarlo).
- Toma de corriente (de nada va a servirnos el microondas apagado).
- Tortillas (frescas de maíz, de trigo o en bolsa, según la disponibilidad, según tu gusto. Nuestro público sonorenses seguro preferirá las sobaqueras de harina, en Oaxaca pueden usar una tlayuda o un *guetabiguii* zapoteco y en la CDMX se pueden usar tantas minitortillas de tacos al pastor como sean necesarias para cubrir una buena parte del plato extendido que utilices para esta práctica. Cualquier variante sirve, en tanto pueda calentarse en microondas y cubra mucho del suelo o plato de tu equipo electrónico).
- Queso manchego en rebanadas delgadas (o el queso, que funda, de tu elección. Lo importante es que sea un queso sólido de geometría regular y capaz de derretirse o dorarse en el microondas, así que quedan descartados los requesones, queso de hebra, queso panela, queso crema, quesos frescos en general y quesos en polvo; pero se pueden utilizar aquellos quesos que vienen en barras “fileteables” como el queso Chihuahua, queso Gouda, queso Edam, queso menonita tipo Chester o el queso americano amarillo).
- Plato, bandeja o trozo de cartón (para separar el piso del microondas de la quesadilla. Debe ser apto para microondas).
- Una calculadora (repasar cómo hacer multiplicaciones y divisiones largas de forma manual no vendría nada mal).
- Bitácora (quieres llevar un buen registro, ya sea físico o digital, de tus obser-

vaciones, además de un lugar en donde puedas hacer los cálculos).

- Gusto por las quesadillas y por el queso (si las quesadillas llevan queso o no llevan queso es un debate que sobrepasa nuestra capacidad teórica).

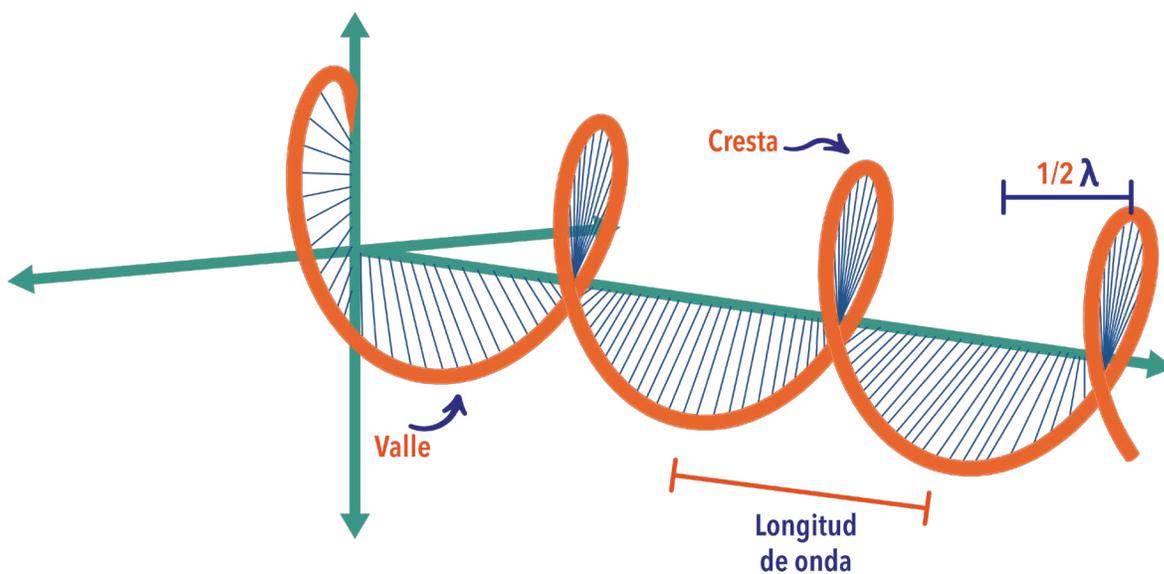
Tolerancia a la frustración y paciencia (los experimentos científicos rara vez salen a la primera. Es probable que necesites repetirlos variando las condiciones, utilizando diferentes equipos o diferentes materiales, antes de que te salga).

Antes de empezar

Asegúrate de buscar la frecuencia del microondas que vas a usar. Aparece en las especificaciones técnicas, ya sea buscando en internet, impreso en el reverso del electrodoméstico o en el instructivo. La “frecuencia” nos permite conocer qué tanto ocurre un fenómeno (recurrente en el tiempo) y sus unidades son los Hertz (Hz),

que equivalen al inverso de un segundo (s^{-1}). En electromagnetismo, la frecuencia es el inverso matemático del tiempo que transcurre entre dos crestas o dos valles de una onda. No la confundas con la frecuencia de entrada de la toma de corriente, que suele ser de apenas 60 Hz; el valor que buscas está en el orden de miles de millones de Hertz (GHz o MHz).

Tal como lo mencioné al principio de este artículo, el horno de microondas debe ser “del tipo que gira los alimentos en una charola”. Esta charola, generalmente fabricada de vidrio refractario, debe poder retirarse del riel y del motor inferior que la hace girar. Es necesario retirarla antes de empezar el experimento (se puede volver a poner, calma, pues prácticamente todos los modelos están diseñados para permitir quitar la charola y lavarla cuando se ensucie. Y cuida de no romperla, los repuestos son difíciles de conseguir).



Procedimiento experimental

1. Retira o inactiva la bandeja giratoria de tu microondas.
2. Cubre tanto del piso de tu electrodoméstico como sea posible haciendo uso de un trozo de cartón grueso, una bandeja apta para el mismo o un plato grande extendido.
3. Coloca tantas tortillas como sea necesario para cubrir una muy buena parte central del cartón, bandeja o plato que hayas colocado. No dejes espacios vacíos entre las tortillas.



4. Arriba de las tortillas coloca las láminas delgadas de queso y, nuevamente, evita dejar espacios vacíos. Se obtienen mejores resultados si el queso está muy frío (recién salido del refrigerador).

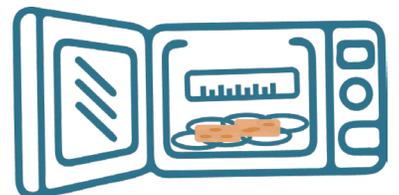
5. Enciende tu microondas a máxima potencia durante uno o dos minutos. Recuerda, sin girar la comida.



6. Observa cómo el queso comienza a reblandecerse, luego a fundirse, burbujear y finalmente a dorarse, ¡pero no lo está haciendo de forma homogénea!

7. Observarás cómo se forma un patrón más o menos definido de manchas oscuras, que bien podrían ser de queso dorado, huecos derretidos o incluso de tortilla quemada (depende de cuánto tiempo mantuviste encendido el microondas). El queso alrededor de estas manchas debe estar mucho más frío que el resto del queso (que solo recibió calor por conducción), así que debes apresurarte a realizar las siguientes mediciones.

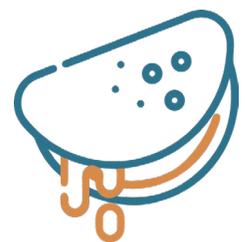
8. Podrían formarse muy pocas manchas (apenas un par) o varias, depende un tanto del equipo electrónico. Algunas de las manchas van a tener formas bastante regulares y otras serán amorfas, asegúrate de elegir aquellas que sean más circulares y que estén repartidas de forma más regular.

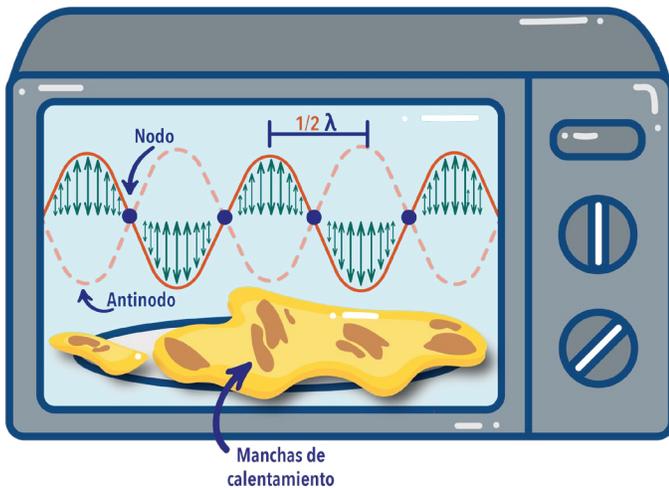


9. Mide las distancias entre mancha y mancha haciendo uso de la regla. Idealmente, de centro a centro. El número de manchas (viables para medición) va a determinar el número de distancias que vas a tener que medir (en este caso, busca la congruencia de los datos, es decir, aquellas mediciones que más se asemejen entre ellas).

10. Anota los resultados de las mediciones en la bitácora sin olvidar incluir las unidades (centímetros) y las condiciones del experimento (fecha del experimento, tiempo adentro del microondas, tipo de queso y tortillas utilizadas, precisión de la regla y todo aquello que consideres importante para la reproducibilidad de esta práctica).

11. Redistribuye el queso separando individualmente las tortillas. Después de doblarlas a la mitad y con la cantidad de queso que hayas elegido, podrás disfrutar de varias quesadillas recién hechas. Puedes volver a calentarlas en el microondas para fundir el queso de forma homogénea (una vez que hayas regresado el plato giratorio a su lugar, claro está).





¿Por qué está pasando esto?

Las ondas estacionarias de las microondas permiten que en el interior del horno se tenga un patrón discreto de distribución más o menos definido. Suficientemente definido como para visualizar los efectos que tienen sus crestas y valles al interactuar con nuestra quesadilla y medir la distancia entre los mismos (recordemos que ahí es donde se hallan los antinodos y se presenta el mayor calentamiento). Podemos conocer así la longitud de las ondas que se producen en nuestro horno de microondas, con algo tan sencillo como medir la distancia en centímetros entre una mancha y otra, y multiplicar este resultado por dos (la longitud de onda es el doble de la distancia entre una de las crestas y uno de los valles que la conforman). Y no siempre es posible hacerlo con una regla escolar. En este experimento utilizamos a las microondas y no otro tipo de radiación electromagnética como, por ejemplo, la luz visible (todas estas ondas viajan a la misma velocidad, valor cercano a "c"). Si consultamos su ubicación dentro del espectro electromagnético veremos que las microondas pueden tener longitudes de onda que abarcan un rango de pocos milímetros a menos de un metro. Los hornos de

microondas comerciales modernos utilizan ondas con una longitud de onda cercana a los 13 centímetros, algo que fácilmente podemos medir con una regla. Los datos de la frecuencia y la longitud de onda son suficientes para calcular la velocidad de la onda, que en este caso específico se trata de ondas electromagnéticas (que, como dijimos, viajan a la velocidad de la luz) y la fórmula para calcularla es la siguiente.

$$c = \lambda f$$

Conocemos la frecuencia (f) de nuestro horno de microondas, que es proporcionada por la empresa fabricante, y también conocemos la longitud de onda (λ), pues en el protocolo experimental hemos medido la mitad de esta longitud con una regla. El queso y la tortilla son susceptibles al calentamiento por radiación de microondas, al igual que las grasas, azúcares y agua; por su parte, no son —lo suficientemente— susceptibles los recipientes de vidrio o plástico, ni el aire circundante.

Cálculos

Para obtener la longitud de onda (λ) en centímetros debemos multiplicar por dos cada uno de los valores medidos. El número de repeticiones o distancias entre manchas diferentes representa, cada uno, un evento diferente y debemos buscar tener al menos tres valores congruentes. Para pasar esta medición a metros dividiremos el valor entre 100. Al multiplicar este resultado por la frecuencia en Hertz (s^{-1}) obtendremos una estimación de la velocidad de la luz. Si la empresa fabricante reporta la frecuencia en megahertz (MHz), debes multiplicar este valor por 1 000 000 para obtener los Hertz correspondientes, en el caso de Gigahertz (GHz), por 1 000 000 000. Yo realicé el ex-

perimento con tres hornos de microondas diferentes (en uno no funcionó, pero en los otros dos sí obtuve resultados favorables). Mis papás me ayudaron a replicar este mis-

mo protocolo experimental, en su casa, en otro estado de la república. Llegué entonces a los siguientes resultados:

Horno de microondas LG modelo MS-2142BP, frecuencia 2 450 MHz, utilizando Tortillinas de harina de trigo y queso manchego.

Medición	Distancia medida entre mancha y mancha	Longitud de onda aproximada	Longitud de onda en unidades del sistema internacional	Frecuencia del horno en Hertz	Velocidad de la luz estimada
Primera	6.3 cm	12.6 cm	0.126 m	2 450 000 000 s ⁻¹	308 700 000 m s ⁻¹
Segunda	6.3 cm	12.6 cm	0.126 m	2 450 000 000 s ⁻¹	308 700 000 m s ⁻¹
Tercera	6.0 cm	12.0 cm	0.120 m	2 450 000 000 s ⁻¹	294 000 000 m s ⁻¹
Promedio					303 800 000 m s ⁻¹

Horno de microondas LG modelo MH1596CIR/01, frecuencia de 2450 MHz, utilizando tortillas de maíz y queso menonita.

Medición	Distancia medida entre mancha y mancha	Longitud de onda aproximada	Longitud de onda en unidades del sistema internacional	Frecuencia del horno en Hertz	Velocidad de la luz estimada
Primera	6.1 cm	12.2 cm	0.122 m	2 450 000 000 s ⁻¹	298 900 000 m s ⁻¹
Segunda	6.4 cm	12.8 cm	0.128 m	2 450 000 000 s ⁻¹	313 600 000 m s ⁻¹
Tercera	6.0 cm	12.0 cm	0.120 m	2 450 000 000 s ⁻¹	294 000 000 m s ⁻¹
Promedio					302 166 666 m s ⁻¹

Horno de microondas General Electric modelo JES771SK, no se pudo hallar la frecuencia, utilizando Tortillinas de harina de trigo y queso manchego.

Medición	Distancia medida entre mancha y mancha	Longitud de onda aproximada	Longitud de onda en unidades del sistema internacional	Frecuencia del horno en Hertz	Velocidad de la luz estimada
Primera	¿12.0 cm? (Fue difícil hallar congruencia en los datos)	-	-	No se pudo hallar el valor en el equipo ni en internet	-
Promedio					-

Horno de microondas Emerson modelo MW8107WA, frecuencia de 2450 MHz, probando con tortillas hechas a mano y sin tortillas (utilizando un cartón como soporte), queso procesado en cuadritos de las marcas FUD y Lala.

Medición	Distancia medida entre mancha y mancha	Longitud de onda aproximada	Longitud de onda en unidades del sistema internacional	Frecuencia del horno en Hertz	Velocidad de la luz estimada
Primera	6.4 cm	12.8 cm	0.128 m	2 450 000 000 s ⁻¹	313 600 000 m s ⁻¹
Segunda	6.2 cm	12.4 cm	0.124 m	2 450 000 000 s ⁻¹	303 800 000 m s ⁻¹
Tercera	6.1 cm	12.2 cm	0.122 m	2 450 000 000 s ⁻¹	298 900 000 m s ⁻¹
Cuarta	6.5 cm	13.0 cm	0.130 m	2 450 000 000 s ⁻¹	318 500 000 m s ⁻¹
Quinta	5.7 cm	11.4 cm	0.114 m	2 450 000 000 s ⁻¹	279 300 000 m s ⁻¹
Promedio					302 820 000 m s ⁻¹

Podemos observar que las estimaciones del valor de la velocidad de la luz que mi familia y yo obtuvimos en esta práctica se acercan bastante al valor actualmente aceptado, que es de $299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ en el vacío. Literatura científica con protocolos experimentales parecidos al que aquí presento reportan un error de apenas el 3 %, esto es, llegar a valores experimentales que van de los $290\,798\,684$ a los $308\,786\,232\text{ m s}^{-1}$.



¿El horno de microondas es peligroso para la salud? ¿Qué opina la gente?

Aún hay personas que creen que el horno de microondas *les va a dar cáncer*. Erróneamente creen que se *van a quedar estériles* por utilizarlo de forma excesiva o que la *radiación altera significativamente las propiedades nutrimentales de la comida*, por mencionar algunos supuestos daños asociados y prejuicios. Las redes sociales están plagadas de experimentos que “ponen a prueba” mitos urbanos, tales como hacer sonar un celular (o cargar la batería incluida) adentro del micro. Colocar objetos metálicos y ver las chispas también es una

piromaníaca y popular prueba. Hay protocolos experimentales que incluso logran generar plasmas o líquidos supercalentados. Todo eso, en contraste con la práctica casera que acabamos de hacer, sí representa un considerable nivel de peligro.

Pero en tantos años cocinando con hornos de microondas y con tanta gente utilizándolos en todo el mundo (ya sea para la rutina diaria o por la mera diversión de probar las más extravagantes permutaciones), ¿no habríamos notado ya algún cambio lo suficientemente significativo en nuestro organismo o en la comida? ¿Daños genéticos, mayor incidencia de padecimientos en las poblaciones que lo usan más, cambios en la concentración de marcadores químicos dentro de los alimentos o cualquier otro indicador que pueda estar directa y exclusivamente relacionado con el uso excesivo de los hornos de microondas? A la fecha no ha ocurrido. Y debemos recordar que la llegada a México de los primeros equipos destinados al público general fue en los años 70, como mencionamos al principio de este artículo. Pero “la prueba del tiempo” al parecer no ha sido suficiente para mejorar la percepción pública del 73.29 ± 0.02 % de personas que contestaron que “Es mejor calentar la comida en la estufa que en el microondas”, en una gran encuesta (N = 1643) que realicé en 2019 para conocer aspectos de cultura científica y pseudociencias en algunas poblaciones socialmente vulneradas de nuestro país. El porcentaje de personas que contestaron “No sé” es apenas un poco mayor que el de las personas que negaron esta afirmación. Puedo mencionar que este último grupo se encuentra más cerca del consenso científico actual (la estufa no es mejor que el horno de microondas en términos de salud)

y estas personas son, en promedio, 3 años mayores que quienes contestaron que sí es mejor calentar la comida en la estufa que en el microondas, también pertenecen a un nivel socioeconómico más privilegiado (C+, en comparación con C) y aciertan más cuando se le pregunta sobre temas científicos (calificación 1.3 puntos mayor en una Escala de Conocimientos Fácticos).



Analizando los datos de algunas de las poblaciones más discriminadas de nuestro país (que es mi tema de estudio y campo de acción como activista social), no encontré una diferencia considerable entre el grupo de personas entrevistadas que usan drogas en comparación con el grupo de personas que no usan drogas, en esta pregunta en particular. Tampoco encontré una diferencia sustancial entre personas que pueden ser clasificadas como “conservadoras” en comparación con las “no conservadoras” (en temas que abarcan derechos de las mujeres, derechos de la población LGBTI+, discriminación por VIH o discapacidad). Donde sí hallé una diferencia pronunciada es en el grupo de hombres homosexuales en comparación con el grupo de personas heterosexuales (de la misma edad y nivel socioeconómico), pues 19.02 ± 0.05 % negó

la afirmación antes planteada (acercándose más al consenso científico actual que establece que el horno de microondas es seguro) en comparación con un 11.75 ± 0.05 % de heterosexuales. En el mismo sentido, pero con una diferencia menos pronunciada, se encontraron a las personas trans entrevistadas, seguidas de las mujeres lesbianas. En el sentido inverso (misma respuesta que los heterosexuales) se encontró a la población bisexual, asexual y heteroflexible. Los detalles metodológicos generales y otros bastante interesantes resultados pueden encontrarse en mi tesis de grado, citada en las referencias. Aquellos resultados específicos para la percepción del horno de microondas se presentan por primera vez en este artículo y refuerzan la idea de que es necesario hacer más estudios de la prevalencia de pseudociencias y desinformación en poblaciones socialmente vulneradas.

Referencias

1. Hajduk, Michael; Uffalussy, Karen J.; Granite, Evan J. (2016). Determining the Speed of Light Using a Microwave Oven, National Energy Technology Laboratory (NETL).
2. Martínez Rosas, Astron Rigel. (2022). Divulgación científica dentro de una organización de la sociedad civil con énfasis en la divulgación de la Química y en el activismo social enfocado a la población LGBTI+ (tesis de licenciatura). Facultad de Química, UNAM, México.
3. Moscota, Miguel. (26 de enero de 2021). Economía: 48% de los hogares mexicanos no cuenta con internet: Censo 2020, El CEO.
4. Portal único de gobierno. (2014) México: Estudios de calidad de hornos de microondas. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100413/RC453_Estudios_Calidad_Hornos_Microondas.pdf