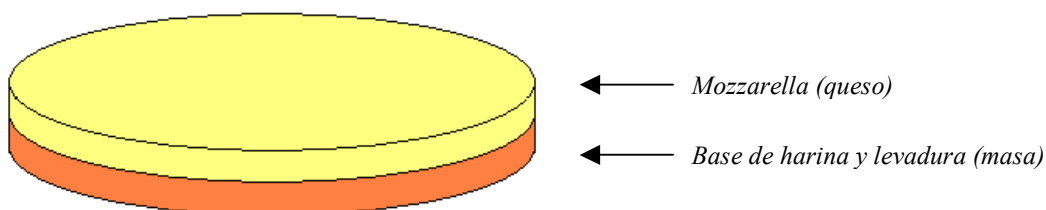


Un apetitoso trozo de física

Debo confesar que soy un devoto de la pizza. De entre todas las delicias culinarias que he tenido el placer de degustar, la pizza me ha parecido siempre la más apetitosa. Su incomparable textura, su delicioso aroma, su exquisito sabor cautivaron mi paladar hace ya mucho tiempo. Sin embargo, mis primeras experiencias no fueron todo lo gratas que hubiese deseado, pues mi paladar debió padecer dolorosas quemaduras hasta que finalmente comprendí que la pizza no sólo merece devoción, sino también mucho respeto. Aquella dolorosa experiencia, unida a la pasión que la pizza comenzó a despertar tempranamente en mí, no tardaron en abrir mi apetito científico, y las preguntas empezaron a agolparse en mi cabeza. ¿Porqué la pizza es capaz de mantenerse caliente por tanto tiempo? ¿Cuál es la razón de que exista tanta diferencia si la boca entra en contacto con el queso o la masa? ¿Porqué el queso produce quemaduras tan dolorosas?

Como es bien sabido, en el mercado gastronómico es posible encontrar una gran variedad de pizzas, preparadas en base a los más diversos condimentos y aderezos. Sin embargo, existen dos ingredientes que difícilmente podrían estar ausentes porque constituyen la esencia misma de una pizza... al menos así lo exige la tradición y el refinado arte culinario. Aquellos que comparten mi devoción por la pizza saben muy bien a que ingredientes me refiero. Por lo tanto, con el propósito de ser fieles a esta noble tradición culinaria, y al mismo tiempo hacer la discusión más llana, en primera aproximación vamos a imaginar una pizza idealizada que consiste únicamente de dos capas cilíndricas superpuestas. La primera está elaborada en base a una mezcla de harina y levadura (masa), y la segunda se compone de mozzarella (queso). Esta pizza bilaminar sin cocer se introduce cuidadosamente en un horno que se encuentra a una temperatura bastante alta, que ronda los 500K (500 Kelvin), o lo que es equivalente, 227°C (227 grados Celsius).



Después de transcurridos algunos minutos, nuestra estructura bilaminar entra en equilibrio térmico con el medio circundante, lo cual significa que la elevada temperatura del horno se iguala a la de la pizza. En estas condiciones, se producen dos cambios sobre los cuales centraremos nuestra atención. Primero, la base de harina y levadura se transforma en pan, una sustancia baja en contenido de agua y que posee una gran cantidad de pequeñas cámaras de aire no conectadas entre sí. Segundo, la mozzarella sufre una compleja serie de transformaciones en las que no necesitamos ahondar, pero que tienen un efecto de suma importancia para el problema que nos ocupa, pues contribuyen a que la mozzarella posea un elevado calor específico, entre otras cosas, debido a que conserva una cantidad importante de agua. Como hemos discutido en otro artículo¹, el calor específico puede definirse como una suerte de inercia térmica, vale decir, es una medida de la resistencia que presenta un material a modificar su temperatura². Cuanto mayor es el calor

¹ *Ravioles, sal y una pizza de física y Caminando sobre brasas ardiendo.*

² Para aquellos lectores interesados en profundizar sobre el tema cabe señalar que los calores específicos de las diversas sustancias están tabulados y pueden consultarse en cualquier libro de física.

específico de una sustancia, mayor es la resistencia que opone a variar su temperatura. De este modo, los materiales con un alto calor específico absorben y desprenden grandes cantidades de energía mientras experimentan cambios pequeños en su temperatura, y esto es precisamente lo que ocurre con la mozzarella y también con el agua.

La considerable diferencia que existe entre el calor específico del queso en relación a la base de pan –no olvidemos que esta última posee un bajo contenido de agua– tiene como consecuencia que una porción de mozzarella pueda provocarnos severas quemaduras, mientras que la masa no nos causa mayor daño. Además, esto hace que el queso fundido pueda conservarse caliente durante un tiempo bastante mayor. En relación a este punto conviene recordar que el responsable directo de las quemaduras sufridas por nuestra boca es el calor liberado por la mozzarella, y no su temperatura. Naturalmente, el calor está íntimamente relacionado con la temperatura³, pero en definitiva es la energía depositada al interior de nuestra boca la que produce en ella quemaduras, y estas serán tanto más severas, cuanto mayor sea el calor que absorbamos. También cabe señalar que aun cuando estamos considerando una pizza muy simplificada, la mozzarella posee un calor específico superior a cualquiera de los ingredientes que tradicionalmente acompañan a la pizza, de modo que las ideas que estamos desarrollando tienen validez general.

Ahora bien, para responder con más precisión a las preguntas formuladas al comienzo, y aun a riesgo de ahuyentar a aquellos lectores que no sienten gran afecto por las ecuaciones y las cifras, quisiera introducir una expresión matemática muy simple que relaciona las variables fundamentales que están en juego,

$$Q = mc\Delta T$$

En esta ecuación, Q es el calor disipado por una determinada sustancia (en nuestro caso puede tratarse de la mozzarella o de la base de pan), m es su masa, c su calor específico, y ΔT su variación de temperatura. A este respecto es importante señalar que los dos ingredientes de nuestra pizza idealizada se someten al mismo cambio de temperatura⁴, comenzando con un valor bastante alto mientras se encuentran dentro del horno (227°C), para finalizar a la temperatura del interior de nuestra boca, la cual es de aproximadamente 37°C. Por otra parte, si suponemos burdamente que los dos componentes de la pizza poseen la misma masa, se concluye fácilmente que la energía Q liberada por la mozzarella es mayor que en el caso de la base, puesto que al tener el queso fundido una cantidad superior de agua, su calor específico c será significativamente mayor. Visto desde otra perspectiva, y recordando un dato aportado un poco antes, también podemos constatar que el calor específico del queso tiene un valor bastante más elevado que el de la base de pan, debido a que esta última está compuesta principalmente por aire. En efecto, el calor específico del agua a una temperatura de 0°C es de 4217,6 J/kg·°C, mientras que el valor para el aire seco a una temperatura de 0°C (presión constante) es de 1004,7 J/kg·°C. Para nuestros propósitos, las unidades que acompañan a estas cantidades carecen de interés; lo importante es enfatizar que al ser mayor el calor específico del agua respecto del aire (del orden de cuatro veces superior), la ecuación anterior nos indica que el calor Q disipado por la mozzarella debe ser considerablemente más grande, y una parte importante de esta energía se deposita directamente en nuestras bocas, pudiendo provocar

³ Sobre este tema se puede consultar el artículo de esta misma sección *Un frasco muy inteligente*.

⁴ La variación de temperatura se define simplemente como su valor final menos su valor inicial. En nuestro caso resulta que $\Delta T = 227^\circ\text{C} - 37^\circ\text{C} = 190^\circ\text{C}$.

severas quemaduras, como aquellas que transformaron mi primer encuentro con la pizza en una experiencia bastante dolorosa.

Por otra parte, el aire es un mal conductor de calor⁵, de modo que la base de pan actúa como un excelente aislante térmico debido a la gran cantidad de cámaras de aire que la conforman, impidiendo la disipación de energía desde la parte inferior de la pizza. Y como el calor liberado en un determinado intervalo de tiempo depende de la superficie expuesta de un cuerpo, la disipación de energía por parte de la mozzarella se ve atenuada debido a la presencia de la base de pan.

Desde luego, nuestro análisis acerca de las propiedades térmicas de la pizza dista mucho de ser exhaustivo y riguroso, pues se trata de un tema en extremo complejo, aun cuando la pizza pueda parecernos un objeto sumamente simple desde un punto de vista termodinámico. Sin embargo, al menos en sus aspectos fundamentales, hemos logrado aprender algo más acerca de esta apetitosa y crujiente delicia culinaria. Y para aquellos que no comparten mi devoción por la pizza, espero al menos haber conseguido despertar su apetito científico.

¿Quiere saber más?

Sea Q_1 que el calor disipado por la mozzarella y Q_2 el calor desprendido por la masa. Usando la ecuación discutida un poco antes podemos escribir,

$$Q_1 = mc_1\Delta T; \quad Q_2 = mc_2\Delta T$$

donde c_1 y c_2 son los calores específicos de la mozzarella y la base de pan, respectivamente. Como sabemos, tanto la masa m como la variación de temperatura ΔT tienen el mismo valor para los dos ingredientes de la pizza. Si dividimos miembro a miembro ambas ecuaciones resulta,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{mc_1\Delta T}{mc_2\Delta T} = \frac{c_1}{c_2}$$

Por lo tanto,

$$Q_1 = \frac{c_1}{c_2}Q_2$$

Sin embargo, como $c_1 > c_2$ resulta finalmente,

$$Q_1 > Q_2$$

Jorge Pinochet I.
Licenciado en física, Universidad Católica de Chile.

⁵ Acerca de la conductividad térmica conviene revisar los artículos de esta misma sección *Caminando sobre brasas ardiendo* y *El frasco de Dewar*.