

¿Por qué el metal se siente más frío que la madera?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 001 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.2 ES

Una mesa de madera y un objeto metálico pueden tener la misma temperatura y, sin embargo, producir sensaciones diferentes al tocarlos. Eso no obliga a elegir entre un termómetro defectuoso y una mano que nos engaña. Responden a condiciones distintas. Un termómetro utilizado correctamente permite estimar la temperatura; tocar un objeto inicia un intercambio que modifica la temperatura de la propia piel.

La pregunta precisa es, por tanto, cómo dos objetos que inicialmente tienen la misma temperatura pueden enfriar la piel de manera diferente. Formularla así revela una condición que pasa fácilmente inadvertida: al principio, los objetos deben estar más fríos que la superficie de la mano. El contraste familiar no es una propiedad invariable del metal, independiente de las circunstancias.

1. La observación que debemos explicar

Supongamos que dos objetos han permanecido en un ambiente estable y que se ha comprobado que sus superficies tienen la misma temperatura. Esa comprobación importa. Un objeto cerca de una ventana, una fuente de calor o una corriente de aire no tiene por qué compartir las condiciones de otro por el mero hecho de ocupar la misma habitación.

Una vez establecidas las condiciones iniciales, tocar un objeto cambia el sistema. Antes, la mano y el objeto estaban separados; ahora existe un contacto a través del cual puede pasar energía. La temperatura inicial del objeto sigue siendo relevante, pero ya no describe por sí sola el proceso. También importan las propiedades del material, la geometría y la duración del contacto.

Podrían registrarse tres resultados distintos: la temperatura inicial del objeto, la temperatura de la piel a lo largo del tiempo y la respuesta de la persona. Una diferencia en uno no establece automáticamente la misma diferencia en los otros. La sensación no debe convertirse en una definición circular de temperatura. Decir que un objeto está más frío porque se siente más frío es precisamente la inferencia que estamos examinando.

2. Transferir energía y cambiar la temperatura

La conductividad térmica relaciona el flujo de calor por conducción con un gradiente de temperatura. En una descripción unidimensional sencilla, la ley de Fourier es $q = -k \frac{dT}{dx}$. Aquí, q es el flujo de calor por unidad de superficie, k es la conductividad y el signo negativo indica una transferencia hacia temperaturas menores.

La ecuación no dice que el metal contenga una sustancia llamada frío ni que el frío entre en la mano. Tampoco dice que los cuerpos a la misma temperatura contengan la misma energía interna. La energía interna también depende de la cantidad de materia, la composición y el estado.

En el cambio de temperatura interviene una segunda propiedad: la capacidad calorífica. Cuando una región recibe energía, su aumento de temperatura depende de cuánta energía se necesita para calentarla. En un sólido homogéneo, dentro de un intervalo en el que las propiedades puedan considerarse aproximadamente constantes, la capacidad calorífica por unidad de volumen es ρc , el producto de la densidad por la capacidad calorífica específica.

Por tanto, la conductividad y la capacidad calorífica responden a preguntas distintas. Una describe el transporte; la otra relaciona la energía recibida con el cambio de temperatura. Decir que el metal conduce bien el calor identifica una parte importante del mecanismo, pero deja fuera lo que sucede mientras se calienta la región que recibe la energía.

3. Un modelo que separa las variables

Consideremos una comparación idealizada. Dos cuerpos homogéneos tienen inicialmente temperaturas uniformes y se ponen en contacto perfecto a lo largo de una superficie plana. Durante un intervalo suficientemente breve, la perturbación térmica no alcanza sus caras opuestas. Tratarlos como semiinfinitos significa ignorar esos límites lejanos, no afirmar que los objetos reales se extiendan indefinidamente.

Una combinación útil en este modelo es la efusividad térmica, $e = \sqrt{k\rho c}$. Si T_s es la temperatura inicial de la piel y T_o la del objeto, la temperatura ideal de contacto es:

$$T_c = (e_s T_s + e_o T_o) / (e_s + e_o).$$

Es una media ponderada. Un objeto con efusividad alta respecto a la piel acerca la temperatura de contacto a su propia temperatura inicial. Una efusividad relativa baja la deja más cerca de la temperatura inicial de la piel. La revisión de Ho analiza esta formulación y sus límites para el contacto con la mano [2].

Los objetos de la pregunta difieren en su efusividad relativa. Los metales comunes, como el aluminio, tienen una efusividad mucho mayor que la piel, mientras que la madera suele tenerla menor [2,3]. Como comparación concreta, aplicar $e = \sqrt{k\rho c}$ a los valores de conductividad, densidad y calor específico tabulados por Rykaczewski [3, tabla 1] da aproximadamente 24 300 para el aluminio, 1180 para la piel y 700–920 para la madera, en $J/(m^2 K s^{1/2})$. Son efusividades calculadas a partir de parámetros publicados de los materiales, no mediciones de sensaciones. El valor del aluminio es unas 21 veces el de la piel; los de la madera son aproximadamente 0,59–0,78 veces ese valor. Estos parámetros concretos de la madera no definen todas las maderas ni todos los contactos. Establecen el orden pertinente: para objetos inicialmente más fríos que la mano, el modelo ideal sitúa la temperatura de contacto del aluminio mucho más cerca de la temperatura del objeto, mientras que la madera la deja más cerca de la de la piel. Así, el modelo conecta los materiales nombrados con sus distintos efectos de enfriamiento.

Un ejemplo deliberadamente hipotético hace visible la consecuencia sin presentar los cálculos como mediciones de materiales. Sean $T_s = 32^\circ C$ y $T_o = 22^\circ C$. Para $e_o/e_s = 1$, la expresión da $27^\circ C$; para una razón de 9, da $23^\circ C$; para $1/9$, da $31^\circ C$. La temperatura inicial del objeto no ha cambiado. Lo que ha cambiado es el peso relativo de sus propiedades en el intercambio.

Estos números no son temperaturas medidas de la mano ni una tabla que describa metales y maderas concretos. Son resultados calculados bajo supuestos especificados. Su propósito es mostrar por qué una temperatura inicial igual no exige una respuesta igual durante el contacto.

4. Qué aportan los experimentos con personas

Ho y Jones realizaron dos experimentos sobre discriminación y localización de materiales mediante indicios térmicos. Los participantes podían discriminar materiales cuando las diferencias térmicas eran grandes; la localización entre los dedos era limitada. Los cambios medidos en la temperatura de la piel fueron menores que las predicciones teóricas [1].

Este resultado impide una conclusión excesiva. Un indicio térmico útil no convierte la mano en un identificador infalible de materiales. Del mismo modo, predecir el sentido de

un contraste no establece que un modelo prediga su magnitud con exactitud. Comparar el registro físico con la respuesta perceptiva forma parte de la prueba, no es un añadido posterior.

Discriminación e identificación también son lógicamente diferentes. Elegir cuál de dos contactos produce más enfriamiento es una tarea comparativa. Reconocer un material requiere asociar una respuesta con una categoría. Combinaciones distintas de propiedades y circunstancias podrían generar señales parecidas, de modo que la semejanza perceptiva no establece una identidad química.

5. Dónde termina la idealización

El contacto real implica resistencia térmica en la interfaz, una geometría finita y piel viva. La revisión de Ho analiza cómo estos factores y el aporte fisiológico de calor limitan los modelos sencillos [2]. Añadir decimales a una fórmula no compensa unos supuestos que no representan el contacto descrito.

La geometría proporciona una comprobación conceptual especialmente clara. Una lámina fina y una pieza gruesa del mismo material comparten propiedades intensivas, pero no la misma cantidad de materia disponible para intercambiar energía. Un modelo que ignora la superficie posterior puede funcionar durante un intervalo y fallar más tarde. No existe un tiempo de validez universal, independiente del material y del espesor.

También puede comprobarse el sentido del efecto sin introducir datos nuevos. Si el objeto empieza más caliente que la piel, la media ponderada queda por encima de la temperatura inicial de esta: el modelo predice calentamiento en vez de enfriamiento. Si ambas temperaturas iniciales son iguales, la diferencia de temperatura que impulsa la conducción desaparece en este modelo. Por tanto, «el metal siempre está frío» no es una explicación física.

6. Qué está bien establecido y qué queda por especificar

La distinción entre la temperatura inicial y su evolución durante el contacto está bien establecida. También lo está la función conjunta del transporte y el almacenamiento de calor. Estos hechos no proporcionan una función universal que convierta la temperatura de un objeto en una sensación exacta para toda persona y todo contacto.

Una predicción cuantitativa para una situación concreta requiere condiciones de contorno, propiedades adecuadas y mediciones con las que poner a prueba el modelo. Si el modelo falla, deben distinguirse los parámetros incorrectos de los supuestos inadecuados o de una conexión excesivamente simplificada con la percepción. Son fuentes de incertidumbre distintas.

La respuesta cotidiana es breve: en condiciones habituales, el contacto con metal puede enfriar la piel más que el contacto con madera a la misma temperatura inicial. La explicación completa debe conservar la expresión «en esas condiciones». Un objeto tiene propiedades térmicas; la sensación surge mediante una interacción.

Lectura relacionada

IDE-014, Medición, desarrolla cómo una operación de medida determina qué magnitud puede compararse. Es una lectura de contexto opcional, no un requisito previo.

Referencias

- [1] Ho, H.-N.; Jones, L. A. Contribution of thermal cues to material discrimination and localization. *Perception & Psychophysics* 68, 118–128 (2006). <https://doi.org/10.3758/BF03193662>
- [2] Ho, H.-N. Material recognition based on thermal cues: Mechanisms and applications. *Temperature* 5(1), 36–55 (2018; primera publicación electrónica en 2017). <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1372042>
- [3] Rykaczewski, K. Modeling thermal contact resistance at the finger-object interface. *Temperature* 6(1), 85–95 (2019; publicación electrónica en 2018). <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1551706>