

La Categorización Ontológica de la Temperatura a Través de la Percepción Térmica en Futuros Maestros.

The Ontological Categorization of Temperature through Thermal Perception in Pre-Service Teachers.

Rafael Campillos¹

<https://orcid.org/0000-0001-7851-929X>

Ángel Ezquerro²

<https://orcid.org/0000-0002-5736-9867>

Campillos, R. y Ezquerro, A. (2024). La categorización ontológica de la temperatura a través de la percepción térmica en futuros maestros. Revista Nuevas Perspectivas. Vol. 3 N.º 6. Pp. 1-17.

Fecha de recepción: 03/09/2024

Fecha de aceptación: 05/10/2024

Resumen: Las concepciones alternativas parecen ser universales, trascendiendo criterios de género, cultura o habilidades. Los modelos «intuitivos» creados por los individuos parecen permitir entender el mundo natural y los fenómenos físicos que observan; sin embargo, están alejados de modelos científicamente aceptados. En este sentido, el papel de la percepción se ha considerado como un factor clave en la formación de estas concepciones intuitivas. Recientemente se ha profundizado en el funcionamiento de nuestro sistema de sensación de la temperatura y en los vínculos que parecen existir entre la percepción y las concepciones alternativas. Dentro de este marco, presentamos un estudio que, partiendo de métodos de investigación propios del estudio de la percepción, vincula nuestra forma de sentir la magnitud temperatura con la categorización que realizan los futuros maestros en formación. Las diferencias observadas entre dos grupos de estudiantes con distinta formación nos sugieren un vínculo entre la percepción y la categorización ontológica de la magnitud

¹ Universidad Complutense de Madrid, España. Contacto: rcampillos@ucm.es

² Universidad Complutense de Madrid, España. Contacto: angelezq@ucm.es

temperatura. Todos los alumnos sienten la temperatura de forma similar, pero la estiman de forma muy diferente. Los alumnos que han realizado un aprendizaje más experimental realizan una estimación de la magnitud mucho más variable que los alumnos sin este aprendizaje experiencial. Estos últimos, emplean la magnitud numérica como una clasificación categórica y simbólica, sin categorizar ontológicamente la magnitud temperatura como una escala cuantitativa.

Palabras Clave: Enseñanza de la física, Temperatura, Percepción, Cambio conceptual, Modelos intuitivos.

Abstract: Misconceptions appear to be universal, transcending criteria of gender, culture or ability. These "intuitive" models created by individuals seems to allow them to understand the natural world and the physical phenomena they observe; however, they are far from scientifically accepted models. In this sense, the role of perception has been considered a key factor in the formation of intuitive misconceptions. The operation of our sensory system for temperature and the connections that seem to exist between perception and alternative conceptions have recently been explored in more detail. Within this framework, we present a study that, using research methods used in the study of perception, links our way of sensing the temperature magnitude with the categorization made by future teachers-in-training. The differences observed between two groups of students with different backgrounds suggest a link between perception and the ontological categorization of the magnitude temperature. All students feel temperature in a similar way but estimate it very differently. Students who have undergone more experiential learning estimate the magnitude in a much more variable way than students without such experiential learning. The latter use the numerical magnitude as a categorical and symbolic classification, without ontologically categorizing the magnitude temperature as a quantitative scale.

Keywords: Physics teaching, Temperature, Perception, Conceptual change, Intuitive models.

Introducción.

La conceptualización de la temperatura y el calor: concepciones alternativas y categorización ontológica.

La sensación cumple un objetivo biológico fundamental para recoger los estímulos externos y asegurar un sistema de respuesta automatizando, permitiendo la supervivencia de los individuos. En este sentido, en nuestras capacidades cognitivas el mecanismo de interpretación de la sensación se denomina percepción, y permite conceptualizar y modelizar el mundo natural (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2018; Kubricht et al., 2017).

El papel de la percepción es considerado un elemento clave en el aprendizaje, ya que las primeras explicaciones que los alumnos construyen para entender el entorno están fuertemente basadas en la sensación, su percepción y el conjunto de experiencias ordinarias (Driver et al., 1985; Vosniadou, 1994). Por lo tanto, estos modelos surgen de forma natural y espontánea.

Estos modelos espontáneos del mundo natural, siendo erróneos, permiten a los individuos realizar una primera aproximación a la comprensión de los fenómenos naturales que observan. Estos modelos se pueden considerar como una aproximación fenomenológica o, como denomina McCloskey (1983), la construcción de una «ciencia intuitiva». Esta ciencia intuitiva permite dar una explicación aparentemente satisfactoria del mundo físico ordinario, tanto en el aspecto descriptivo de los fenómenos como en las relaciones causa-efecto que se observan (Osborne y Freyberg, 1985).

Los alumnos construyen y utilizan este tipo de modelos incluso antes de recibir cualquier tipo de enseñanza formal o reglada. Sin embargo, no todas estas ideas —denominadas concepciones alternativas— tienen este origen intuitivo o perceptivo, algunas proceden de la propia interacción con el entorno social o incluso como producto del mismo proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se ha estudiado también como el conjunto de algunas concepciones alternativas conformar modelos que se ordenan en una secuencia que parece ser universal. La evolución y el cambio entre concepciones alternativas, y sus consecuentes modelos, se conoce como «trayectoria conceptual» (Driver, 1989) y supone una progresión a través de conceptos cada vez más elaborados —más cercanos los conceptos científicos—. Esta progresión de conocimiento debería ser una guía de los procesos de enseñanza-aprendizaje para hacer evolucionar a los alumnos a través de los sucesivos modelos.

En resumen, las concepciones alternativas son universales y trascienden criterios de género, raza, entorno cultural o habilidades (Abrahams et al., 2015; Wandersee et al., 1994). Así mismo parecen ser persistentes, estables en el tiempo y resistentes al cambio (Chiappetta y Koballa, 2006). Estas características sugieren un origen universal y común a todos los seres humanos. En este sentido, se ha sugerido en distintos momentos que la universalidad de las concepciones alternativas se debe precisamente al funcionamiento de nuestros sistemas perceptivos y de las propias capacidades de estos (Driver et al., 1985; Vosniadou, 1994).

Estas ideas recurrentes, que están presentes en la comprensión que tienen los alumnos de toda una serie de fenómenos naturales, reflejan muchas de las características generales que acabamos de describir; tienden a derivar de las percepciones y reflejan un razonamiento causal lineal en el que una única acción produce un efecto. Si bien estas ideas pueden no conformar modelos coherentes y bien articulados por parte de los individuos, sí se observa la prevalencia de tales ideas en el conjunto de la población. También hay indicios de que tales ideas están muy arraigadas y se repiten a pesar de la formación [Traducción propia] (Driver et al., 1985, p. 197).

Por lo tanto, la forma en que cada uno de nuestros sentidos recogen e interpretan la información del exterior son considerados como una de las fuentes en la formación de las concepciones alternativas y en el cambio de un modelo explicativo a otro (Driver et al., 1985).

Dentro de un marco constructivista, el papel de la percepción es considerado clave en la construcción de las concepciones alternativas, pero también en la propia categorización ontológica de los conceptos:

La función de la cognición es adaptativa y sirve a la organización del mundo experiencial, no al descubrimiento de la realidad ontológica [...] Así, no encontramos la verdad, sino que construimos explicaciones viables de nuestras experiencias. [...] La cuestión de la verdad es de vital importancia en el constructivismo. Puesto que sólo conocemos el mundo a través de nuestras experiencias, la verdad es esquiva. [Traducción propia] (Wheatley, 1991, p. 10).

Uno de los modelos del cambio conceptual propuestos es el del cambio ontológico de Chi (Chi et al., 1994). En este modelo el cambio conceptual se produce cuando los alumnos no sólo reorganizan su conocimiento, a través de un cambio epistemológico y de sus esquemas conceptuales; sino que también se modifican las relaciones y categorías ontológicas de estos.

En el caso de los conceptos de temperatura y calor, estos se entienden como una propiedad de la materia, y como tal, no pueden existir separados de esta. Esta concepción ontológica como propiedad, lleva finalmente a la asociación del calor con algún tipo de materia, como ocurrió en el desarrollo histórico científico que desembocó en la creación artificial del calórico o el flogisto. Por otra parte, la experiencia también nos lleva a considerar el calor como un proceso (calentar, enfriar...). El conflicto existente entre propiedad y proceso observado en las concepciones alternativas sobre calor y temperatura nos indica que debemos tener en cuenta la visión ontológica en el aprendizaje.

Mario Bunge (1967/2007) plantea precisamente que podemos entender el significado epistemológico de una magnitud independientemente de su proceso de medida o viceversa; podemos saber asignar un valor numérico a una medida sin entender su auténtico sentido físico. Esto es posible por la asunción de distintas concepciones ontológicas adaptadas a las experiencias existentes en cada momento (Bunge, 1979/2012).

La sensación de la temperatura.

Dado que las concepciones alternativas parecen ser universales, numerosos investigadores han relacionado estas con nuestra forma de sentir y percibir el mundo físico (Wenning, 2008). Respecto al caso de la temperatura, como para los conceptos de calor y frío, se ha sugerido que la estructura fisiológica de nuestro sistema perceptivo es la responsable de dar forma a las concepciones alternativas iniciales (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2018; Kubricht et al., 2017). Las sucesivas experiencias perceptivas y las reflexiones sobre estas irían desarrollando los sucesivos modelos, formando la trayectoria conceptual.

En este sentido, parece pertinente y necesario analizar la fisiología de nuestra percepción. Respecto a la temperatura, tenemos dos conceptos muy definidos y antagónicos que son el concepto de «frío» y «calor». Estos conceptos se han encontrado claramente diferenciados en el desarrollo cognitivo a lo largo de la trayectoria conceptual (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2018). Destaca el concepto de «frío», que, si bien tiene un origen fisiológico y mental, no corresponde a ninguna magnitud física. El calor es intercambio de energía a través de gradientes de temperatura y no existe una cualidad inversa: frío (Wiser y Amin, 2001).

Las investigaciones sobre la percepción y sensación de la temperatura son bastante recientes, comenzando no hace más de 40 años. No se ha sabido con certeza cuál es el mecanismo exacto por el

que los organismos regulan y sienten la temperatura hasta hace menos de un lustro. El estudio profundo del sistema termosensor a nivel molecular, con las proteínas que actúan como termorreceptores es muy reciente (Gracheva y Bagriantsev, 2015). Además, estos trabajos, que comprenden varias disciplinas, no han sido cohesionados hasta hace unos pocos años (Ezquerro-Romano y Ezquerro, 2017). Estos desarrollos nos permiten tener una visión de conjunto de la termosensación.

El primer paso importante fue el descubrimiento de los canales de iones en los «Receptores de Potencial Transitorios» (TRP, por sus siglas en inglés). Los TRP crean una señal debido al intercambio de iones, un mecanismo ya conocido en las neuronas (Cosens y Manning, 1969), cuando son expuestos a determinados efectos físicos como la temperatura, la presión, fotones... Estas proteínas TRP se encuentran embebidas en la membrana citoplasmática de las neuronas sensitivas. Así, David Julius (Liao et al., 2013) demostró que la capsaicina, un compuesto culinario picante, activa uno de los TRP, asociándolo a la sensación de calor. Posteriormente, Ardem Patapoutian (Patapoutian et al., 2003) descubrió una nueva clase de sensores que responden a estímulos mecánicos y térmicos. Estos descubrimientos permitieron avanzar en la comprensión de cómo percibe nuestro sistema nervioso. Ambos fueron galardonados con el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 2021.

En cuanto al ser humano, se ha identificado hasta el momento la presencia de tres grupos de TRPs involucrados en la sensación térmica. Además, estos TRP se pueden dividir en dos grandes grupos: los TRP «sensibles al calor» (para temperaturas superiores a nuestra temperatura corporal) y los TRP «sensibles al frío» (para temperaturas inferiores). Además, se sabe que, en el entorno de la temperatura habitual de la piel humana, no existen TRP para recoger esta sensación (Ezquerro-Romano y Ezquerro, 2017). En los extremos de nuestra percepción existen TRPs, que perciben las temperaturas nocivas (dañinas o dolorosas). Se ha medido el punto en que se siente una temperatura nociva a través de los receptores del dolor o nociceptores, siendo los límites de la sensación dolorosa una temperatura inferior a 17 °C y una temperatura superior a 43 °C. (Ezquerro-Romano y Ezquerro, 2017). Todos estos TRPs se encuentran también en órganos internos y otras partes del organismo para la regulación de temperatura (homeostasis) (Craig, 2003).

Los estudios neurofisiológicos (Patapoutian et al., 2003) de estos TRPs han encontrado que su respuesta no es lineal con la temperatura. Esto implica que somos capaces de sentir un continuo de temperaturas (Ezquerro-Romano y Ezquerro, 2017), ya que los rangos de actividad y su magnitud se encuentran parcialmente solapados sobre la escala de temperatura (Figura 1). En concreto se encuentran unos rangos de sensibilidad a temperaturas inocuas de 17 °C a 30 °C para el frío y de 36 °C a 43 °C siendo entre 30 °C y 36 °C una zona neutra que corresponde con el rango de temperaturas corporales (Patapoutian et al., 2003).

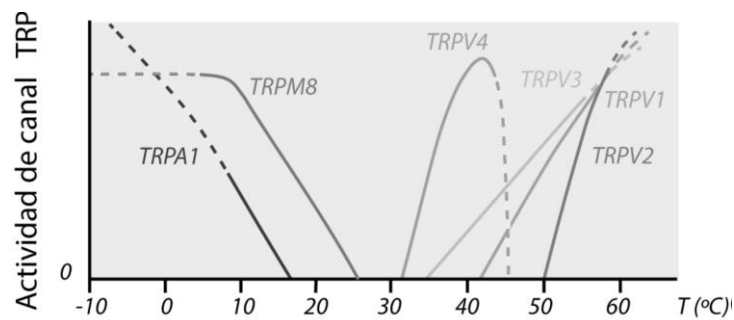


Figura 1. Actividad de los distintos TRP en función de la temperatura. Adaptado de Patapoutian y colaboradores (2003).

Los TRPs se sitúan en diferentes tejidos, al final de los axones de las neuronas aferentes. Las neuronas aferentes son aquellas que transportan los impulsos nerviosos de los sistemas sensitivos hacia el sistema nervioso central. Se conoce que las neuronas sensibles al calor inocuo se encuentran en fibras nerviosas conocidas como fibras C. En el otro lado, tenemos las neuronas sensibles al frío situadas en fibras A δ y C. Esta separación entre neuronas sensibles al frío y calor se encuentra incluso en niveles superiores del sistema somatosensorial (Lv y Liu, 2007). Por lo tanto, tenemos un canal de información para la sensación y temperaturas asociadas al «calor» y otro al «frío» (Figura 2). La sensación es recogida y conducida separadamente por estas neuronas aferentes hacia la vía espinotalámica y hacia el encéfalo (Craig y Dostrovsky, 2001).

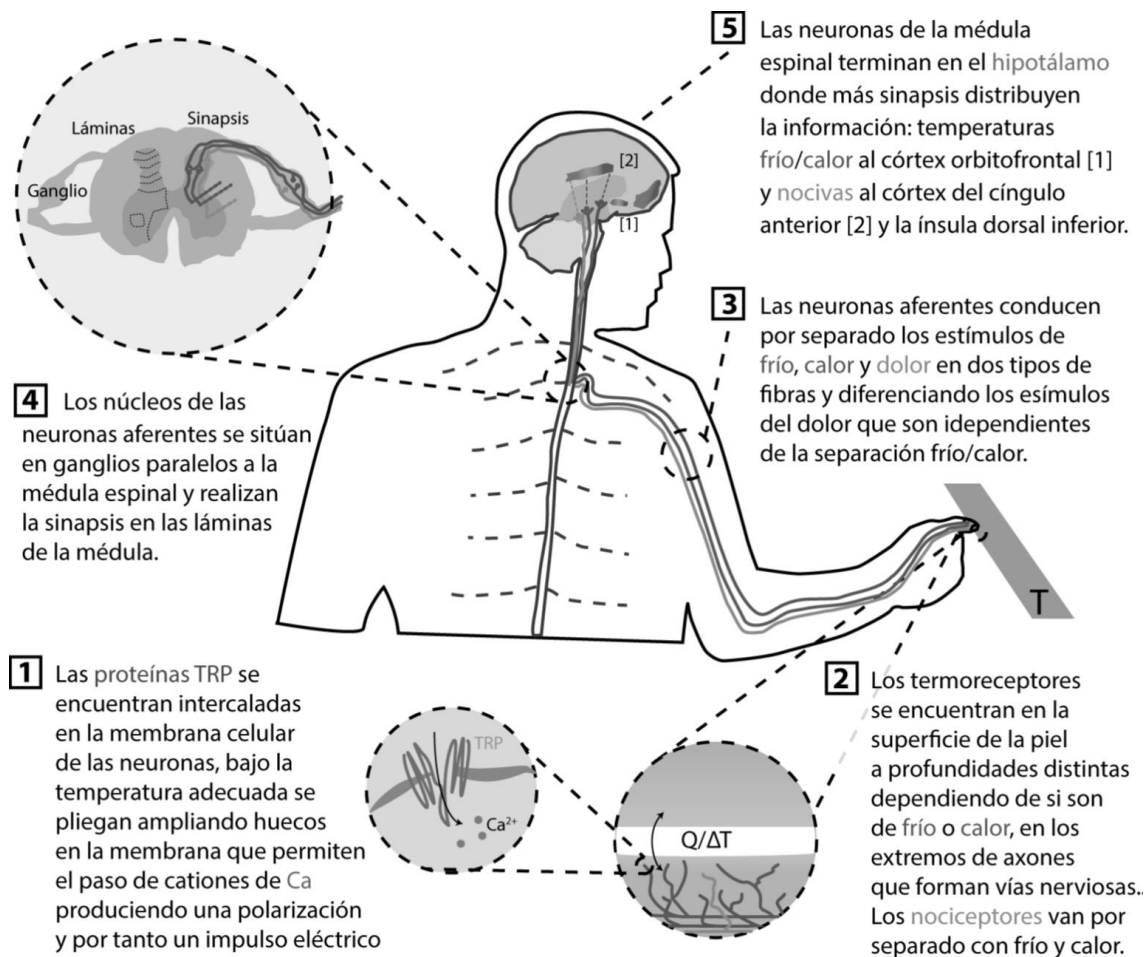


Figura 2. Diagrama sintético del proceso neurofisiológico de la termosensación.

La percepción de la temperatura.

La psicofísica es la ciencia que estudia la relación entre la interacción del organismo con el mundo que nos rodea y nuestra experiencia psicológica. No es lo mismo sentir y obtener una respuesta fisiológica automatizada, que entender y reflexionar sobre lo que estamos sintiendo. En psicofísica se considera como objeto básico de estudio el «fenómeno» (ver, sentir calor, oír...), sobre el cual se intentan establecer relaciones de causa–efecto entre el mecanismo neurofisiológico y los procesos cognitivos (Myers y Sigaloff, 2006). Por lo tanto, es importante diferenciar entre dos términos que se han usado conjuntamente hasta ahora:

- Sensación: proceso fisiológico que recoge un intercambio de energía con el entorno a través de un mecanismo físico, y lo codifica en impulsos nerviosos.
- Percepción: comprende el procesamiento y la interpretación de las sensaciones, teniendo en cuenta la influencia del contexto, la experiencia personal y la memoria.

La percepción parte de la propia experiencia, el aprendizaje y la memoria para construir una explicación y/o valoración de una sensación. Por ejemplo, tocar algo caliente produce una sensación, con un proceso primario inmediato y automático que nos hace retirar la mano del objeto para evitar daños. Reflexionar sobre la sensación de calidez que produce estar tumbado al Sol en otoño y los recuerdos que nos evoca es un proceso de percepción. Preguntarse qué temperatura atmosférica podría corresponder a esa sensación es un proceso de estimación. Son procesos cognitivos progresivos, sobre la sensación y hacia la memoria (Myers y Sigaloff, 2006), y la creación de conceptos.

En este sentido, debemos considerar que cuando realizamos una estimación, ponemos en juego nuestra sensación y el conjunto de procesos progresivos desde la percepción, a la memoria y la conceptualización. Si bien para llevar a cabo una estimación se debería considerar una escala cuantitativa, la investigación nos indica que es más habitual que los individuos utilicen una interpretación cualitativa. Así, en los métodos de categorización se consideran escalas atributivas. Las escalas con términos como «templado», «ardiente», «fresco» o «gélido» establecen una clasificación subjetiva en una primera aproximación de la intensidad de la sensación. Sin embargo, Green, Shaffer y Gilmore (1993) propusieron la construcción de una escala de sensación etiquetada semánticamente en la que la intensidad percibida es equivalente a la estimación de la magnitud. Una escala de magnitud semántica o *labelled scale magnitude* (LSM) es una técnica que plantea una escala híbrida en la que existe un intervalo que se cuantifica cualitativamente, a través de etiquetas verbales que describen diferentes intensidades o sensaciones (frío, caliente, intenso, poco...).

La ventaja de usar una escala de este tipo es que permite estudiar directamente las diferencias perceptivas entre sujetos, incluso dentro de una escala que puede parecer subjetiva. Para que esta pueda estar bien definida, es necesario que el límite o límites de la escala coincidan con la sensación más fuerte imaginable, ya que la escala se construye en base a la intensidad límite de la sensación. Para el caso de la temperatura este límite puede ser fácilmente establecido en el límite de la sensación dolorosa. Otra ventaja es que algunos estudios muestran que este método permite evaluar de forma muy similar la magnitud cuando se emplea un método de estimación cuantitativa (Lawless y Heymann, 2010) especialmente cuando está involucrado el límite de la sensación dolorosa (Green et al., 1996) que es justo el caso en el que nos encontramos.

La principal desventaja de las escalas semánticas consiste en la elección de las etiquetas empleadas para formar los distintos niveles de medición de la escala. Una mala elección de las etiquetas puede sesgar la respuesta de los participantes. En el caso de la temperatura, por ejemplo, emplear el término «templado» en lugar de neutral o de no-sensación.

Dado que no existe un punto de referencia neutral, sino una región en función de las temperaturas interna y de los límites del dolor, el proceso de adaptación hace que los seres humanos no tengan una sensación absoluta de la temperatura. Por tanto, no somos muy hábiles estimando temperaturas de forma absoluta (Ho, 2018).

Metodología y desarrollo de la experiencia

Para el desarrollo de la experiencia que se presenta aquí que consideró la medida paramétrica de la sensación–percepción térmica. Para ello se diseñó un dispositivo, el Termosensímetro (Figura 3) desarrollado específicamente para tal tarea (Campillos y Ezquerro, 2022).

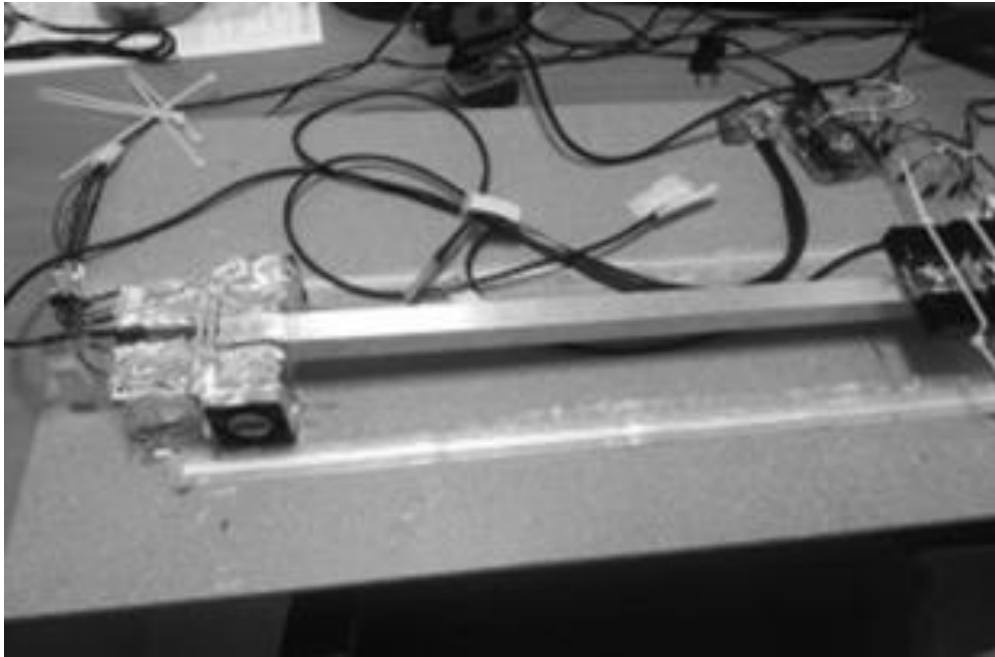


Figura 3. Fotografía del Termosensímetro.

El aparato de medida establece una correspondencia entre la sensación, la percepción y los datos sobre el punto en el que los participantes indicaban cambio de sensación. Para generar un continuo de sensaciones térmicas se ha recurrido a la construcción de un gradiente táctil de temperaturas. En este dispositivo se determinarán los puntos de cambio perceptivo, ya que es mucho más sencillo basar la tarea en la búsqueda de un umbral —diferencia mínima detectable— en la sensación. Estos puntos de diferencia observable corresponden a la frontera entre categorías de la LSM. Posteriormente se realiza una tarea de estimación cuantitativa de la magnitud sentida–percibida en cada punto.

Muestra y contexto.

La muestra obtenida para este estudio (N=20) es incidental, basada en la participación voluntaria y desinteresada de estudiantes de la Facultad de Educación-Centro de Formación del Profesorado de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Cabe destacar que todos los alumnos participantes han cursado la asignatura de Fundamentos y Didáctica de la Física previamente a su participación y, por tanto, deberían ser capaces tanto de entender científicamente la magnitud temperatura, así como de reconocer los puntos de referencias de la escala.

Los participantes forman dos grupos de igual tamaño (N=10) según su titulación, estudiantes del Grado en Maestro en Educación Primaria y del Doble Grado en Maestro de Infantil y Primaria. Los criterios

de exclusión fueron tener algún tipo de condición médica, física o farmacológica que afecte a la sensación.

Las experiencias se llevaron a cabo en el laboratorio del Grupo de Investigación Neurodidáctica, Ciencia y Sociedad de la UCM, situado en la Facultad de Educación, con unas condiciones ambientales controladas (T: 20–25°C, HR: 50–60 %).

Métodos psicofísicos empleados y consideraciones para la experiencia.

La respuesta para la percepción de la temperatura se mide de forma cualitativa por asignación (verbal) del individuo a una de las siguientes categorías de una LSM adaptada de Green y colaboradores (2008) y el lenguaje español:

- P: *Pain* → Helado H
- VC: *Very cold/Icy* → Muy Frío MF
- C: *Cold* → Frío F
- IB: *In-between/Cool* → Neutral N
- W: *Warm* → Caliente C
- H: *Hot* → Muy Caliente MC
- P: *Pain* → Ardiente A
- NK: *I do not know* → NS/NC.

En la primera parte, la identificación de los puntos de cambio de la escala perceptiva, los participantes realizaron la tarea con un método clásico: el de los ajustes. El sujeto es responsable de ajustar el estímulo (en este caso, desplazar su dedo por el gradiente de temperatura) hasta determinar el punto de cambio entre los rangos de la LSM según su criterio. Este proceso, así mismo, conlleva también una tarea de categorización.

La segunda parte, la estimación de la temperatura, usó la técnica clásica psicofísica consistente en la que los sujetos dan una estimación numérica en una escala. Esta escala puede ser arbitraria: de 1 a 10, de 1 a 5... En nuestro caso, la escala será directamente la escala de temperaturas habitual (Celsius) ya que esta es conocida y forma parte del contexto socio-científico de los participantes.

Derivado de los trabajos previos, como los propuestos por Beck, Peña-Vivas, Fleming y Haggard (2019), sobre la medida de sensaciones se consideró importante introducir en nuestro diseño el efecto de la fatiga sensorial, la velocidad de los cambios de temperatura (Kenshalo et al., 1968) y la fuerza de contacto para facilitar la sensación térmica de forma óptima. Para ello se estableció un protocolo de ejecución de la tarea que y que facilitaba e instruía a los estudiantes en el procedimiento.

Sarlani y colaboradores (2003) estudiaron las diferencias por sexo en la percepción de la temperatura. Encontraron que solamente se dan en los componentes doloroso y afectivo y en un orden de magnitud muy pequeño. Así mismo, este estudio evaluó el efecto de la lateralidad —diestros y zurdos— encontrando que la intensidad reportada fue similar para ambos.

Desarrollo de la experiencia.

Previamente al inicio de las experiencias se realizó un encendido y preparación del sistema (Termosensímetro). Para ello se llevó a cabo la calibración y se comprobó el funcionamiento nominal del sistema. Cada participante fue recibido individualmente y se le proporcionó una explicación de la experiencia, contenida en una hoja de información junto al consentimiento informado (este proyecto cuenta con la aprobación del Comité de Ética de la UCM).

El participante fue instruido en la experiencia: cómo usar el dispositivo y el procedimiento a seguir. Se comprueba su temperatura a través de un termómetro en el dorso de la mano. Los sujetos son primero entrevistados para dar los datos adicionales para el análisis (edad, género/sexo, mano dominante) y se anotan las condiciones ambientales.

La experiencia se desarrolló pidiendo al participante determinar la temperatura estimada de los puntos de cambio perceptivo. Para ello los sujetos recorrían (con la mano dominante) el gradiente térmico del Termosensímetro e indicaban los puntos de cambio perceptivo. Tras identificar un punto los participantes daban una estimación cuantitativa.

Resultados.

Se realizó un análisis de varianza para las condiciones de control experimentales. No se encontró ninguna diferencia significativa entre los dos grupos de participantes y la temperatura ambiental, la humedad del ambiente y la temperatura de la piel.

Entre los estudiantes de Grado de Maestro en Ed. Primaria y el Doble Grado de Maestro en Ed. Infantil y Ed. Primaria existe una diferencia significativa ($F(1,18) = 7.14, p < 0.05$) respecto a su nivel de estudios en ciencias. Los estudiantes de Grado de Maestro en Ed. Primaria han estudiado ciencias hasta 4º de E.S.O y Bachillerato, mientras que una parte significativa de los alumnos del Doble Grado sólo han estudiado ciencias hasta 3º de E.S.O.

Se realizaron pruebas de normalidad y de homocedasticidad sobre los datos de la temperatura marcada en los puntos de cambio sensitivo para comprobar que los datos recogidos sobre sensación y estimación (Tabla 1) tienen la calidad suficiente para realizar los análisis estadísticos correspondientes.

PUNTOS DE CAMBIO SENSITIVOS IDENTIFICADOS

	LSM	Helado a Muy frío	Muy frío a Frío	Fío a Neutral	Neutral a Caliente	Caliente a Muy caliente	Muy caliente a Ardiente
DOBLE GRADO	N	3	8	10	10	10	9
	MEDIA	10.60 °C	17.96 °C	25.37 °C	30.72 °C	37.73 °C	43.05 °C
	DE	2.41 °C	2.38 °C	1.92 °C	1.39 °C	2.51 °C	3.51 °C
PRIMARIA	N	0	7	10	10	10	8
	MEDIA	—	15.20 °C	24.15 °C	31.57 °C	38.84 °C	45.80 °C
	DE	—	3.72 °C	1.83 °C	2.67 °C	2.45 °C	3.19 °C

ESTIMACIÓN DE LOS PUNTOS DE CAMBIO SENSITIVOS

DOBLE GRADO	MEDIA	1.33 °C	2.75 °C	11.30 °C	21.80 °C	32.60 °C	46.56 °C
	DE	4.19 °C	7.68 °C	9.94 °C	9.30 °C	12.44 °C	16.41 °C
PRIMARIA	MEDIA	—	6.50 °C	14.70 °C	23.10 °C	31.40 °C	43.50 °C
	DE	—	5.87 °C	6.81 °C	3.62 °C	4.20 °C	3.74 °C

Tabla 1. Datos sobre la sensación (temperatura del punto de cambio sensitivo indicada) y estimación (temperatura estimada del punto de cambio sensitivo) para cada uno de los grupos.

Respecto a la sensación de temperatura podemos observar que los valores parecen similares, y con una varianza similar, lo que nos indica que la sensación parece consistente incluso teniendo en cuenta el historial de aprendizaje de los participantes. Entre los dos grupos de estudiantes, las diferentes pruebas de comparación de medias, así como de comparación de varianzas, no mostraron diferencias significativas.

Respecto a la temperatura estimada, los grupos han mostrado normalidad en la estimación de los puntos de cambio. Los valores medios parecen similares, sugiriendo que las varianzas en los estudiantes de Primaria son menores. Para comprobar las posibles diferencias se realizó una prueba de igualdad de medias y varianzas entre pares. En las pruebas F de Fisher, se encontró una diferencia significativa en la varianza de la estimación entre los estudiantes de magisterio de Educación Primaria frente a los estudiantes del Doble Grado Infantil–Primaria. Esta diferencia se encuentra en los puntos de cambio entre de los rangos Neutral a Ardiente.

En cuanto a la comparación entre sensación y estimación (Tabla 2), es decir, cuánto se ha desviado la estimación de la temperatura que sentían, los estudiantes tuvieron también diferencias significativas. Todos estimaron «mal» en el rango frío, y los estudiantes del Grado de Maestro en Ed. Primaria, además, en el rango Caliente.

COMPARACIÓN ENTRE SENSACIÓN Y ESTIMACIÓN

PRUEBA T DE STUDENT

DIF. MEDIA	$t(3,19)$	=	$t(8,33)$	=	$t(9,67)$	=	$t(9,40)$	=	$t(9,73) = 1.214$	$t(8,73) = -$		
DOBLE	2.712		5.006		4.170		2.844			0.591		
GRADO	$p = 0.068$		$p < 0.001^{***}$		$p = 0.002^{**}$		$p = 0.018^*$		$p = 0.253$	$p = 0.570$		
DIF. MEDIA	t	=	$t(10,16)$	=	$t(10,29)$	=	$t(16,57)$	=	$t(14,47)$	=	$t(13,65)$	=
PRIMARIA	$p = -$		3.065		4.021		5.650		4.590		1.237	
			$p = 0.012^*$		$p = 0.002^{**}$		$p < 0.001^{***}$		$p < 0.001^{***}$		$p = 0.237$	

PRUEBA F DE FISHER

DIF. DE	$F(2,2)$	=	$F(7,7)$	=	$F(9,9)$	=	$F(9,9)$	=	$F(9,9) = 24.61$	$F(8,8) =$
DOBLE	3.03		10.44		26.72		44.52			21.82
GRADO	$p = 0.497$		$p = 0.006^{**}$		$p < 0.001^{***}$		$p < 0.001^{***}$		$p < 0.001^{***}$	$p < 0.001^{***}$
DIF. DE	$F = -$		$F(6,6) = 2.49$		$F(9,9)$	=	$F(9,9) = 1.83$		$F(9,9) = 2.95$	$F(7,7) = 1.38$
PRIMARIA	$p = -$		$p = 0.291$		13.90		$p = 0.381$		$p = 0.123$	$p = 0.683$
					$p = 0.001^{**}$					

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$

Tabla 2. Análisis estadístico de la diferencia entre la temperatura sentida–percibida y la estimada.

Respecto a la diferencia de la varianza entre sensación y estimación (Tabla 2), sorprendentemente encontramos que los estudiantes de Grado de Maestro en Ed. Primaria mostraron un cambio en la variabilidad de su estimación muy pequeño. Los estudiantes de Maestro de Ed. Primaria han estimado temperaturas en torno a valores más alejados de la temperatura que sentían, comparado con los estudiantes de Doble Grado y, además, mostrando más acuerdo en estos valores. Esto nos sugiere que este grupo de participantes está realizando una estimación de temperaturas mediante una escala categórica o simbólica, con valores enteros o «redondos» representativos de los rangos, como puede ser 5 o 10°C, 15°C, 20 o 25°C, 30°C y 45°C. Es decir, adaptan la escala numérica y continua a una escala de rangos y establecen unas categorías nominales sobre ella.

Conclusiones y discusión.

La inclusión de técnicas propias de la psicofísica nos ha permitido introducir en el diseño instrumentos y metodología de medida para que la evaluación de la sensación y de la percepción sea lo suficientemente robusta y válida. En este sentido, se incorporaron consideraciones como la del tiempo entre estímulos, la fatiga térmica y una serie de indicaciones metodológicas para la realización de la experiencia (mano dominante, control de temperatura corporal, confort térmico...).

Respecto al proceso experimental, se encontró que este no produjo confusión ni problema entre los participantes durante la realización de la experiencia. Entendieron las tareas que se les pedía y no mostraron problemas durante la realización. El uso del dispositivo no les generó daños ni inconvenientes que pudieran afectar al proceso experimental.

En lo referente a la sensación térmica, no se encontró ninguna diferencia significativa respecto a la variable historial de aprendizaje de los participantes. Este hecho es interesante, dado que el profesorado tiende a considerar que el aprendizaje debe generar efectos positivos respecto a la comprensión del entorno. Sin embargo, también puede ocurrir que la formación académica recibida no esté alineada con las necesidades del alumnado.

Sorprendentemente, se encontró una diferencia significativa en la dispersión de la estimación entre los estudiantes del Doble Grado Infantil-Primaria frente a los estudiantes de magisterio de Educación Primaria. Esto nos sugiere que los estudiantes del Doble Grado (que han trabajado en laboratorio y con un interés personal mayor) entienden la escala de temperaturas como una escala cuantitativa continua y, con esto en mente, tienden a dar una estimación con una variedad de valores mucho mayor. Por el contrario, los estudiantes de Primaria estiman aproximadamente en los valores numéricos por su cercanía a múltiplos de 10 o 5 como valores representativos, como el límite de la temperatura corporal en 37°C. Esto nos sugiere que este grupo de participantes está realizando una estimación sin dejar de considerar la escala numérica de temperaturas como una escala categórica cuya adjetivación son guarismos, que no implican una numeración operativa.

Este hecho puede entenderse bajo la concepción del cambio conceptual ontológico de Chi (Chi et al., 1994). Los alumnos pueden haber reorganizado el conocimiento sobre qué es la temperatura, pero no han reestructurado la consideración ontológica de esta. La concepción de este grupo de alumnos es que la temperatura no es una propiedad y, aún menos, una magnitud. Ellos consideran la temperatura como un proceso, al tocar algo siento frío (o calor) dado que me enfrió (o me caliente), con una intensidad a la que se asignan valores numéricos sin significado matemático operativo. En realidad, utilizan el rango 0–5 °C como el adjetivo «frío» o el sustantivo: «el frío».

Considerando los resultados y las conclusiones, proponemos que se desarrollen actividades para destacar el desacuerdo entre la sensación, la percepción y los datos termométricos reales. Es decir, debemos proponer actividades perceptivas con la magnitud temperatura (Campillos et al., 2021, 2022). La incorporación de actividades para realizar en el aula o el laboratorio debería permitir a los alumnos desarrollar un aprendizaje experiencial. De esta forma serían conscientes de cómo evaluar su percepción y de la dificultad de vincular ésta con el conocimiento científico de la magnitud. El conflicto entre sus propias concepciones alternativas, la realidad física y la capacidad metacognitiva que tienen sobre la percepción debería ayudarles a superar sus concepciones y comprender cómo sentimos. Para esta tarea, consideramos conveniente introducir en las clases de Física (Termodinámica) un apartado sobre la fisiología de la percepción térmica (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2018).

Del mismo modo, se debe trabajar la metacognición sobre las bases de la percepción desde el ámbito de la formación del profesorado (Ezquerro y Ezquerro-Romano, 2019). Se trata de llevar a los alumnos a reflexionar sobre las dificultades perceptivas y la forma en que han generado sus concepciones alternativas.

Referencias bibliográficas.

- Abrahams, I., Homer, M., Sharpe, R., y Zhou, M. (2015). A comparative cross-cultural study of the prevalence and nature of misconceptions in physics amongst English and Chinese undergraduate students. *Research in Science & Technological Education*, 33(1), 111-130. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.987744>
- Beck, B., Peña-Vivas, V., Fleming, S., y Haggard, P. (2019). Metacognition across sensory modalities: Vision, warmth, and nociceptive pain. *Cognition*, 186, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.01.018>
- Bunge, M. (2007). *La investigación científica* (4ta. Ed). Siglo XXI. (Obra original publicada en 1967)
- Bunge, M. (2012). *Tratado de Filosofía: Vol. IV. Ontología II: un mundo de sistemas*. Editorial Gedisa. (Obra original publicada en 1979)
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., y De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5)
- Chiappetta, E. L., y Koballa, T. R., Jr. (2006). *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools* (6th ed.). Pearson Education.
- Cosens, D. J., y Manning, A. (1969). Abnormal electroretinogram from a Drosophila mutant. *Nature*, 224(5216), 285-287. <https://doi.org/10.1038/224285a0>
- Craig, A. D. (2003). A new view of pain as a homeostatic emotion. *Trends in Neurosciences*, 26(6), 303-307. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(03\)00123-1](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(03)00123-1)
- Craig, A. D., y Dostrovsky, J. O. (2001). Differential Projections of Thermoreceptive and Nociceptive Lamina I Trigeminothalamic and Spinothalamic Neurons in the Cat. *Journal of Neurophysiology*, 86(2), 856-870. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.86.2.856>
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490. <https://doi.org/10.1080/0950069890110501>
- Driver, R., Guesne, E., y Tiberghien, A. (Eds.). (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Gracheva, E. O., y Bagriantsev, S. N. (2015). Evolutionary adaptation to thermosensation. *Current Opinion in Neurobiology*, 34, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.01.021>
- Green, B. G., Dalton, P., Cowart, B., Shaffer, G., Rankin, K., y Higgins, J. (1996). Evaluating the 'Labeled Magnitude Scale' for Measuring Sensations of Taste and Smell. *Chemical Senses*, 21(3), 323-334. <https://doi.org/10.1093/chemse/21.3.323>
- Green, B. G., Shaffer, G. S., y Gilmore, M. M. (1993). Derivation and evaluation of a semantic scale of oral sensation magnitude with apparent ratio properties. *Chemical Senses*, 18(6), 683-702. <https://doi.org/10.1093/chemse/18.6.683>

- Ho, H. N. (2018). Material recognition based on thermal cues: Mechanisms and applications. *Temperature*, 5(1), 36-55. <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1372042>
- Kenshalo, D. R., Holmes, C. E., y Wood, P. B. (1968). Warm and cool thresholds as a function of rate of stimulus temperature change. *Perception & Psychophysics*, 3(2), 81-84. <https://doi.org/10.3758/BF03212769>
- Kubricht, J. R., Holyoak, K. J., y Lu, H. (2017). Intuitive physics: Current research and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(10), 749-759. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.06.002>
- Lawless, H. T., y Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Liao, M., Cao, E., Julius, D., y Cheng, Y. (2013). Structure of the TRPV1 ion channel determined by electron cryo-microscopy. *Nature*, 504(7478), 107-112. <https://doi.org/10.1038/nature12822>
- Lv, Y.-G., y Liu, J. (2007). Effect of transient temperature on thermoreceptor response and thermal sensation. *Building and Environment*, 42(2), 656-664. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.030>
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122-131.
- Myers, D. G., y Sigaloff, P. (2006). *Psicología* (7a ed). Editorial Médica Panamericana.
- Osborne, R., y Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science* (1.ª ed.). Heinemann.
- Patapoutian, A., Peier, A. M., Story, G. M., y Viswanath, V. (2003). ThermoTRP channels and beyond: Mechanisms of temperature sensation. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(7), 529-539. <https://doi.org/10.1038/nrn1141>
- Sarlani, E., Farooq, N., y Greenspan, J. D. (2003). Gender and laterality differences in thermosensation throughout the perceptible range. *Pain*, 106(1), 9-18. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(03\)00211-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(03)00211-2)
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., y Novak, D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En E. D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (1.a, pp. 177-210). Macmillan.
- Wenning, C. J. (2008). Dealing more effectively with alternative conceptions in science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5, 11-19. <https://www.semanticscholar.org/paper/Dealing-more-effectively-with-alternative-in-Wenning/5e4a851c307f95031de9fdb6b64afc5d6f39a7b7>

Wheatley, G. H. (1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education*, 75(1), 9-21. <https://doi.org/10.1002/sce.3730750103>

Wiser, M., y Amin, T. (2001). Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 331-355. [https://doi.org/10.1016/s0959-4752\(00\)00036-0](https://doi.org/10.1016/s0959-4752(00)00036-0)