

ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS DE CALOR Y TEMPERATURA UTILIZANDO UNA SIMULACIÓN DIGITAL INTERACTIVA Y UN TEXTO ILUSTRADO EN ALUMNOS DE SECUNDARIA

CIMENNA CHAO REBOLLEDO/ FRIDA DÍAZ-BARRIGA ARCEO
Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN: Esta investigación analizó las diferencias que subyacen al aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura en relación a los conceptos de energía térmica y energía cinética, a través de dos modalidades instruccionales: a través de una simulación digital interactiva y mediante la lectura de un texto ilustrado. Se trabajó con alumnos de dos grados escolares: 48 alumnos de segundo de secundaria sin instrucción previa sobre dichos fenómenos y 48 alumnos de tercero de secundaria con conocimientos académicos previos sobre los temas revisados.

Se observaron diferencias significativas en la resolución de problemas asociados a los conceptos estudiados siendo mejor el desempeño de los participantes que utilizaron la simulación digital interactiva durante el aprendizaje y significativamente mejor en los alumnos con instrucción previa sobre dichos conceptos. No obstante, el desempeño de los grupos que utilizaron el texto ilustrado fue significativamente mejor que el de su contraparte en problemas orientados a la definición literal de los fenómenos estudiados.

PALABRAS CLAVE: Simulación Digital Interactiva, Formación de Conceptos, Aprendizaje Multimedia, Aprendizaje de la Física.

Introducción

Una manera de definir el aprendizaje, es a través de la construcción de conocimientos en la forma de conceptos, ideas y/o teorías (Murphy Medin, 1985). La transformación de la información en conocimiento depende del proceso de construcción de modelos mentales (Johnson-Laird, 1996), que a su vez depende de la formación de representaciones mentales (simbólicas e icónicas) y de la construcción de conceptos. Sin embargo, la formación de representaciones mentales puede verse en ocasiones limitada la incapacidad de percibir más allá de los umbrales y espectros que delimitan a nuestra percepción natural dentro de ciertas dimensiones del espacio-tiempo (Kozma, 2000). Tal es el caso de algunos fenómenos físicos que se originan en dimensiones escalares que exceden a nuestros límites sensoriales, temporales y posibilidades de observación y experiencia empírica directa. Lo anterior conlleva a la elaboración de representaciones mentales intuitivas, o coloquiales, que nada tienen que ver con las conceptualizaciones científicamente aceptadas. Así, las fallas en la representación pueden conducir a fallas en la conceptualización, lo cual a su vez genera deficiencias en el modelo mental que suscribe dicho conocimiento, dificultando la movilización de dicha información, en particular para la resolución de problemas.

La teoría del aprendizaje multimedia (Mayer, 2005, Paivio, 1990) presupone que las tecnologías digitales tienen la capacidad de favorecer la construcción de representaciones mentales gracias a sus posibilidades de multi-representación. Ello implica la codificación de la información estudiada a través de diversos formatos, y en particular de forma dual mediante representaciones de orden visual y verbal. Por lo tanto, las tecnologías digitales pueden llegar a funcionar como un sistema de representación exógeno de apropiación endógena, o prótesis cognitiva-perceptual, que puede influir en la construcción de modelos mentales y favorecer la conceptualización y por lo tanto resolución de problemas asociados a dichos conceptos.

Contenido

La forma adecuada para enseñar los fenómenos físicos de *calor* y *temperatura*, continúa siendo hasta hoy en día un tema controversial. El estudio y la comprensión del significado científico del concepto de *calor*, incluso en los niveles medio superior y superior, resulta muy difícil para el alumno promedio (Clough y Driver, 1985). La dificultad principal radica en que las palabras *calor* y *temperatura* son utilizadas en el lenguaje coloquial con una connotación distinta a su definición científica. Sin embargo, a pesar del error en la conceptualización la mayoría de la gente logra explicar con éxito los fenómenos térmicos cotidianos. Dentro de esta visión intuitiva, el *calor* es una clase de sustancia o propiedad que tienen los cuerpos, y no se diferencia totalmente del término *temperatura*. Estas confusiones conceptuales se remiten a la infancia, pues desde entonces se han utilizado para explicar el mundo que nos rodea de una manera lógica (Albert, 1978; Erickson, 1979). Sin embargo, en su definición científica y ontológica el *calor* es una forma particular de transferencia de energía, y no en sí mismo una forma de energía que un objeto pueda contener (Cervantes, 1987). Algunos investigadores sugieren incluso que para esclarecer la confusión conceptual se debe asociar la definición de *calor* a una visión microscópica de la materia, lo cual podría ayudar a desentrañar las diferencias entre *calor* y *temperatura*, al representar a estos dos conceptos en función de la *energía cinética promedio* y la *energía térmica* de las partículas que componen a la materia (Domínguez Castiñeiras, De Pro Bueno y García-Rodeja Fernández, 1998).

Por otro lado, de acuerdo con la teoría de los Modelos Mentales la construcción del conocimiento se logra a partir de la construcción de modelos representacionales que articulan representaciones senso-perceptuales con representaciones lingüísticas (Johnson-Laird, 1996; Jih y Reeves, 1992; Mayer, 1989; Paivio, 1990). En este sentido, el modelo de aprendizaje multimedia propuesto por Paivio (1990) y retomado por Mayer (1989, 2005) nos advierte que la apropiación perceptual y cognitiva de la información representada a través de un formato digital multimedia tiene lugar en la memoria de trabajo, una vez que ésta ha sido capturada por los canales sensoriales involucrados: por lo general la vía visual (imágenes y letras) y la vía auditiva (sonidos y palabras). Al articularse ambas informaciones en la memoria de trabajo es que se genera un modelo mental integral del fenómeno experimentado.

De lo anterior se desprende que la apropiación perceptual y cognitiva de la información que es representada a través de un formato digital multimedia es capturada por al menos dos canales sensoriales: la vía visual (imágenes y letras) y la vía auditiva (sonidos y palabras), y al articularse ambas informaciones en la memoria de trabajo se genera un modelo mental integral del fenómeno experimentado (Paivio, 1990). Por lo tanto, las adecuaciones perceptuales provistas por los formatos de representación digital tienen el potencial de contrarrestar las limitantes de la percepción natural, de tal manera que la forma y la definición que adopten los modelos mentales asociados a fenómenos naturalmente imperceptibles, puedan ser más cercanos a su definición científica, y por lo tanto, logren ser transferidos con mayor éxito a la resolución de problemas asociados a dichas representaciones.

A partir de lo anterior se desprenden los objetivos de la presente investigación: Comparar el proceso de conceptualización referente a los fenómenos de calor y temperatura representados a través de una simulación digital interactiva y a través de un texto escrito e ilustrado, y el uso de dichos conceptos en la resolución de problemas asociados a los mismos habiendo recibido o no instrucción académica previa sobre dichos conceptos.

Para tal fin se construyeron una simulación digital interactiva (SML) y un texto ilustrado (TXT), en donde se relataba (en el caso del texto) y se representaban los conceptos de calor y temperatura en términos de la energía térmica y la energía cinética.

Se construyó también un Cuaderno de Trabajo en donde se plantearon una serie de ejercicios asociados a los conceptos estudiados, para ser utilizado junto con las dos herramientas antes mencionadas.

En esta investigación participaron 48 estudiantes de segundo de secundaria sin instrucción previa sobre termodinámica y 48 estudiantes de tercero de secundaria con instrucción previa en los temas estudiados, de una escuela privada ubicada en la Ciudad de México.

Para analizar los resultados obtenidos a partir de los ejercicios planteados, se efectuó un análisis estadístico no-paramétrico de varianza (ANDEVA), para grupos independientes de 2 X 2 factores [Grado escolar (2 y 3 de Secundaria) X Herramienta (SML y TXT)], a partir de los resultados obtenidos por ambos grupos en el Cuaderno de Trabajo. Las

variables independientes fueron el tipo de herramienta y el grado escolar o de instrucción académica; y las variables dependientes el número de aciertos de las preguntas sobre definiciones conceptuales (DC) (preguntas que refieren a la comprensión de la definición conceptual), el número de respuestas inferidas correctamente (RI) (soluciones correspondientes a preguntas sobre definiciones conceptuales en donde había más de una respuesta correcta, pero una de ellas debía de ser inferida ya que no se encontraba explicitada en los materiales instruccionales), el número de aciertos a preguntas abiertas que requerían de la aplicación de los conceptos estudiados para entender problemas asociados a los distintos estados de la materia (EM), o bien problemas relacionados con el contacto y el equilibrio térmico (CT).

Se analizó también la variación en la terminología que refiere a los conceptos utilizados para responder a los problemas planteados.

A partir del análisis de varianza se obtuvieron los siguientes resultados:

Se encontraron diferencias significativas entre herramientas instruccionales en lo referente al número de aciertos sobre preguntas que requerían proporcionar la definición de los conceptos estudiados (DC) (Figura 1), siendo mejor el desempeño de los grupos que utilizaron el texto ilustrado (70% de aciertos en promedio en ambos grados escolares) que aquellos que utilizaron el simulador (46%) ($F(3,1)=16.2$; $p<.001$). Sin embargo, los grupos que utilizaron el simulador no accedieron definiciones explícitas de los conceptos revisados, a diferencia de los grupos que trabajaron con el texto ilustrado, quienes sí utilizaron a estas definiciones de forma explícita.

Así mismo se encontraron diferencias significativas tanto para el grado escolar, como para el tipo de herramienta, en el número de respuestas inferidas (RI) correctamente (Figura 2). Siendo significativamente mayor el número de RI proporcionadas por el grupo que utilizó la simulación digital ($F(3,1)=4.69$; $p=.03$), y con mayor proporción para el grado de tercero de secundaria ($F(3,1)=4.69$; $p=.03$).

Al analizar los reactivos sobre resolución de problemas abiertos asociados al contacto y el equilibrio térmico (CT), se encontraron diferencias significativas para el grado escolar en el número de respuestas correctas. El grupo de tercero de secundaria con 62.5% de aciertos sobrepasó significativamente al del segundo (50%) ($F(3,1)=6.38$; $p=.01$).

Adicionalmente, hubo diferencias significativas en número de aciertos asociadas al tipo de herramienta instruccional utilizada durante el aprendizaje, los grupos SML obtuvieron significativamente mayor porcentaje de aciertos (63%) que los grupos TXT (48%) ($F(3,1)=8.68$; $p=.006$) (Figura 3). Finalmente, también se encontraron diferencias en la interacción entre ambos factores ($F(3,1)=4.43$; $p=.04$).

Un escenario similar se observa en lo referente al número de aciertos obtenidos en los problemas relacionados a los distintos estados de la materia. Se obtuvieron diferencias relevantes asociadas al uso de las distintas herramientas. Si bien el nivel de significancia alcanza un valor de $p=.051$, los grupos SML obtuvieron mayor número de aciertos (65%) que los grupos TXT (62.5%) ($F(3,1)=4.15$; $p=.051$). No se obtuvieron diferencias significativas entre grados escolares (Figura 4).

En tanto a los resultados sobre el uso de los conceptos y las terminologías asociadas para describir los fenómenos estudiados, se analizaron las respuestas que dieron los alumnos a las preguntas abiertas sobre los fenómenos y conceptos revisados. A diferencia de los grupos TXT, la mayoría de los equipos SML contestaron a las preguntas abiertas recurriendo a definiciones de los conceptos de *calor* y *temperatura* en términos del movimiento de las partículas, de la energía cinética promedio o de la energía térmica. Del mismo modo, emplearon este tipo de explicaciones para describir tanto los fenómenos observados en la simulación, como aquellos no retratados en el programa de forma explícita. Por ejemplo, al solicitarse a los participantes que explicaran a qué refiere el proceso de equilibrio térmico, el 87% de los grupos SML describieron correctamente dicho proceso en función de un flujo de calor que ocurre al generarse una diferencia de temperaturas entre dos objetos, o entre un cuerpo y su entorno inmediato. En contraste, en los equipos TXT, sólo el 68% de los equipos lograron definir correctamente este fenómeno utilizando la terminología asociada de manera adecuada.

En otro ejemplo, se les cuestionó a los participantes sobre la función que cumple un aislante térmico, el 93% de los grupos SML se refirió a dicho evento en términos de la energía térmica y de la inhibición de un flujo de calor en vista del aislamiento térmico, y en razón de no existir una diferencia de temperaturas. Únicamente el 68% de los equipos TXT respondieron correctamente a la pregunta, y utilizaron adecuadamente las terminologías conceptuales. El resto de los equipos TXT, se refirieron al fenómeno

cuestionado recurriendo a concepciones coloquiales, tales como: *el aislante no deja salir el calor*, o *el aislante guarda el calor en los objetos para que no salga la temperatura*. En otro reactivo se pedía explicar *Por qué al tomar con la mano una taza con una bebida hirviendo, la mano percibe la taza como caliente?* El 68% de los grupos SML explicaron correctamente que la razón por la cual la taza se siente *caliente* se debe a *una diferencia de temperaturas entre la taza y la mano*, o bien que *entre la mano y la taza se establece un flujo de calor en vista de que la taza se encuentra a una temperatura mayor que la mano*, o que *la temperatura de la mano aumenta a razón de la dirección que adopta el flujo de calor en vista de la diferencia de temperatura entre los objetos*. Sólo el 31% de los equipos TXT contestaron y utilizaron adecuadamente los conceptos y la terminología asociada para explicar su respuesta. La mayoría de los grupos TXT recurrió de nuevo al uso de terminologías y concepciones coloquiales tales como: *se siente caliente porque hay una transferencia de calor de la taza a la mano* o *las partículas de calor se mueven hacia la mano*, o bien *la mano se calienta porque la taza tiene más calor*.

Los resultados descritos corroboran el análisis cuantitativo, exhibiendo un mejor desempeño en general los grupos SML en comparación con los equipos TXT. Con ello se evidencia que las representaciones sensoriales provistas por la simulación digital interactiva procuran un modelo mental más eficiente que el generado por el texto ilustrado, al menos en lo que concierne a la transferencia de los conceptos al campo de la aplicación para la resolución de problemas.

Conclusiones

A pesar de que los participantes que utilizaron la simulación digital interactiva no accedieron a definiciones y descripciones amplias y explícitas como las incluidas en el texto ilustrado, las definiciones conceptuales inferidas a través del uso y manipulación de la simulación digital se asemejan a aquellas obtenidas mediante la lectura explícita y observación del texto ilustrado. Si bien los grupos TXT aventajan a los grupos SML en el número de aciertos sobre definiciones conceptuales (DC), esta ventaja es relativa ya que no resultó suficiente para llevar los conceptos adquiridos a la práctica, o a la resolución de problemas fuera del contexto descriptivo del propio texto. El desempeño de los grupos TXT apunta sobretodo a una buena comprensión lectora, que permite transcribir las definiciones del texto.

El desempeño de los grupos SML nos indica que a pesar de la ausencia de un texto descriptivo, la manipulación interactiva de las variables que definen a un cierto fenómeno, en conjunto con la posibilidad de visualizar en tiempo real los efectos causales de dicha manipulación, son elementos perceptuales y cognitivos suficientes para comprender, desde el punto de vista descriptivo los fenómenos estudiados. A diferencia del texto y las ilustraciones estáticas, la simulación digital permitió construir representaciones que favorecieron la creación de modelos mentales que lograron movilizar los conocimientos fuera del contexto de aprendizaje. Lo anterior se ve reflejado en la transferencia de los conceptos estudiados al campo de la resolución de problemas, tanto en el ámbito explicativo como en el uso adecuado de las terminologías descriptivas, lo cual no ocurrió con el texto a pesar de contar con definiciones explícitas.

Estos resultados reiteran las ventajas perceptuales y cognitivas que ofrecen las tecnologías digitales durante el aprendizaje, en términos de las posibilidades de representación y por lo tanto de conceptualización, las cuales se dan con mayor fidelidad, generando modelos mentales que permiten formular teorías más cercanas a las definiciones científicamente aceptadas (Mayer y Sims, 1994; Kozma, 2000). Retomando las ideas de Johnson Laird (1996), se requiere de la modelación sensorial y de la articulación verbal para entender e interactuar de manera adecuada con la información circundante, si alguno de los dos formatos de representación se encuentran incompleto o es erróneo el modelo mental probablemente será deficiente y por lo tanto dificultará su uso fuera del contexto de aprendizaje. Por lo tanto, el posibilitar al alumno con un medio veraz y efectivo de representación sensorial puede favorecer la construcción de un modelo mental más eficaz, que permita construir un mejor vínculo con la representación verbal.

Sobre las diferencias encontradas entre grados escolares, éstas podrían indicar que además del andamiaje sensorial que proveen las tecnologías digitales, el nivel de instrucción académica previa (de escolarización) es un factor clave para la comprensión y utilización de los conceptos analizados para la resolución de problemas, y probablemente también para el aprovechamiento mismo de las herramientas instruccionales.

Finalmente, podríamos concluir que la enseñanza de ciertos fenómenos físicos, en particular de aquellos en donde las limitaciones perceptuales pueden llegar a generar dificultades representacionales, se verá beneficiada al introducir herramientas de

representación perceptual que permitan una mejor visualización, manipulación y por lo tanto un mejor entendimiento de los conceptos estudiados.

Figuras

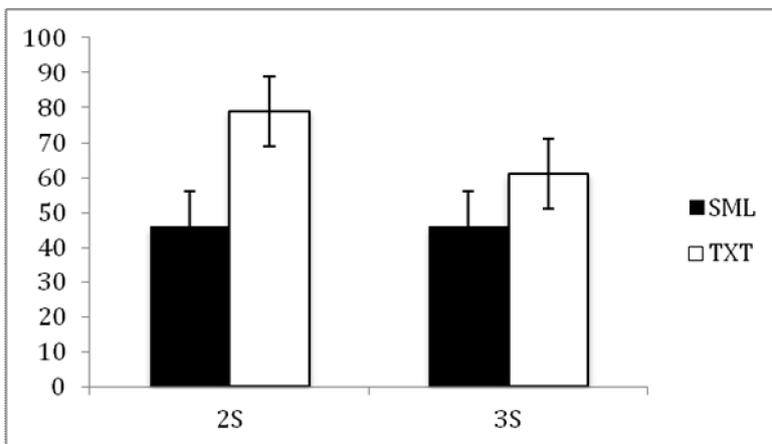


Figura 1. Porcentaje de aciertos a preguntas sobre definiciones conceptuales.

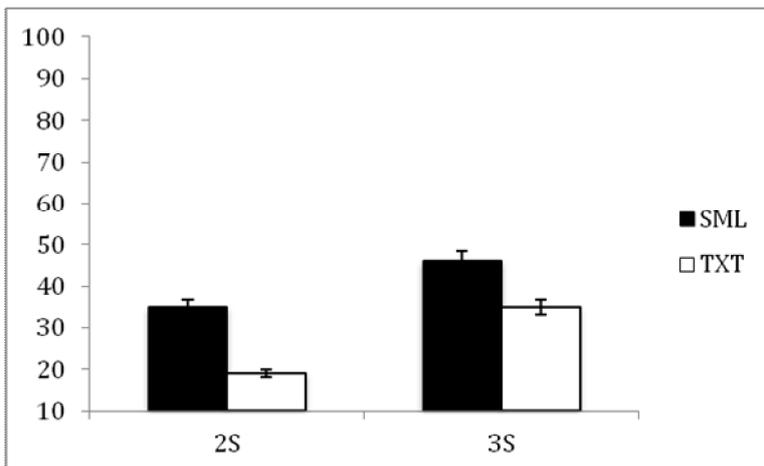


Figura 2. Porcentaje de respuestas inferidas.

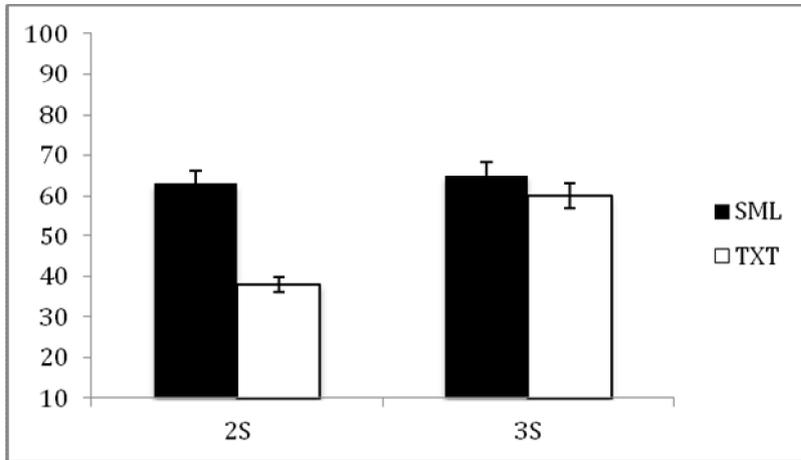


Figura 3. Porcentaje de aciertos de problemas abiertos asociados al contacto y equilibrio térmico.

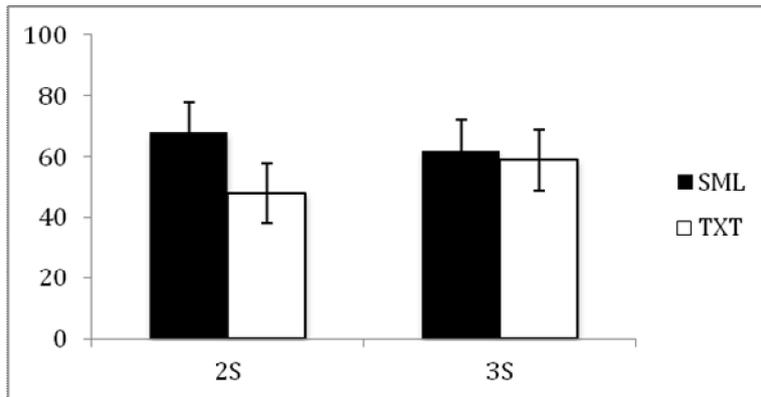


Figura 4. Porcentaje de aciertos de problemas asociados a cambios en la estructura microscópica de la materia.

Referencias

- Albert, E. (1978). Development of the concept of heat in children. *Sci. Educ.* 62, 389-99.
- Cervantes, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 66-70.
- Clough, E.E. y Driver R. (1985). Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views. *Physics Education*, 20, 175-82.
- Domínguez Castiñeiras, J.M., De Pro Bueno, A. y García-Rodeja Fernández, E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual calor y temperatura: Un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 461-475.
- Erickson G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Sci. Educ.* 63, 221-30.
- Kozma, R.B. (2000). The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry. En M. Jacobson y R. Kozma (eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning* (pp. 11-46). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Jih, H.J. y Reeves, T.C. (1992). Mental models: A research focus for interactive learning systems. *Educational Technology Research and Development*, 40(3), 39-53.
- Johnson Laird, P.N. (1996). Images, models and propositional representations. En De Vega, M, Intons-Peterson, M.J.; Johnson Laird, P.N.; Denis, M. y Marschark, M.: *Models of Visuospatial Cognition* (pp. 90-127). Nueva York, NY: Oxford University Press.
- Mayer, R.E. (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59, 43-64.
- Mayer, R.E. y Sims, V.K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words?: Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), 389-401.
- Mayer, R.E. (2005). Introduction to Multimedia Learning, en Mayer, R.E. (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Murphy, G.L. y Medin, D.L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review*, 92, 289-316.

Paivio, A. (1990). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. New York, NY: Oxford University Press.