



Revista Electrónica de Investigación en
Educación en Ciencias
E-ISSN: 1850-6666
reiec@exa.unicen.edu.ar
Universidad Nacional del Centro de la
Provincia de Buenos Aires
Argentina

Chao Rebollo, Cimenna; Barriga Arceo, Frida Díaz
Análisis comparativo del aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura utilizando una
simulación digital interactiva y un texto ilustrado
Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, vol. 9, núm. 1, enero-julio, 2014, pp.
40-53
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273331433003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

Análisis comparativo del aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura utilizando una simulación digital interactiva y un texto ilustrado

Cimenna Chao Rebolledo¹ y Frida Díaz Barriga Arceo¹

cimenna@gmail.com , fdb@servidor.unam.mx

¹ Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3004, México D.F. 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: mediante la lectura de un texto ilustrado y a través de una simulación digital interactiva. 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. El desempeño de los grupos que utilizaron el texto ilustrado fue significativamente mejor que 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.

Learning the concepts of heat and temperature using an interactive digital simulation and an illustrated text: a comparative analysis

Abstract

This research analyzed the differences that underlie learning the concepts of heat and temperature in relation to the concepts of thermal and kinetic energy through two instructional modalities: by reading an illustrated text and through the use of an interactive digital simulation. 48 eighth grade students without prior instruction on these phenomena participated in this study, as well as 48 ninth grade students with prior academic knowledge on the topics reviewed.

Significant differences in the resolution of problems related to the concepts being studied were found, in which the best performing participants were those using the interactive digital simulation, and better yet those students with prior instruction on the concepts that were reviewed in this study. The performance of the groups that used the illustrated text was significantly better than its counterpart on problems facing the literal definition of the phenomena studied.

Keywords: interactive digital simulation, concepts formation, multimedia learning, physics education.

Analyse comparative de l'apprentissage des concepts de chaleur et de température à l'aide d'une simulation digital interactive et un texte illustré

Résumé

Cette recherche a analysé les différences qui sont sous-jacentes à l'apprentissage de concepts tels de la chaleur et la température en rapport aux concepts de l'énergie thermique et l'énergie cinétique, à travers de deux modalités d'instruction: au moyen de la lecture d'un texte illustré et à travers d'une simulation digitale interactive. Élèves appartenant à deux niveaux scolaires ont participé dans cet étude: 48 élèves de deuxième année de secondaire sans instruction préalable sur ce genre de phénomènes, et 48 élèves de troisième année de secondaire avec des connaissances académiques préalables sur les thèmes révisés. On a observé des différences significatives dans la résolution de problèmes associés aux concepts étudiés, et nous avons constaté un meilleur exercice des participants qui ont utilisé la simulation digitale interactive pendant l'apprentissage et significativement meilleure entre les élèves préalablement instruits sur ces concepts. L'exercice des groupes qui ont utilisé le texte illustré fut significativement meilleur que celle de l'autre groupe en problèmes orientés à la définition littérale des phénomènes étudiés.

Mots clés: simulation digitale interactive, formation des concepts, apprentissage multimédia, apprentissage de la physique.

1. INTRODUCCIÓN

Una manera de definir el aprendizaje escolarizado es a través de la construcción de conocimientos en la forma de conceptos, ideas y/o teorías. La transformación de la información en conocimiento depende del proceso de construcción conceptual, que a su vez depende de la formación de representaciones y modelos mentales (Jih y Reeves, 1992; Johnson Laird, 1988; Mayer, 1989a; Murphy y Medin, 1985; Paivio, 1990). Sin embargo, la formación de representaciones mentales puede verse en ocasiones limitada por las capacidades perceptuales naturales de un individuo, es decir, por la incapacidad de percibir más allá de los umbrales y espectros que delimitan a nuestra percepción natural dentro de las dimensiones del espacio-tiempo (Kozma, 2000). Tal es el caso para la percepción y la representación de fenómenos termodinámicos, como el calor y la temperatura, cuya explicación ontológica se encuentra en dimensiones escalares que exceden a nuestros límites sensoriales, temporales y posibilidades de observación y experiencia empírica directa, y cuyas características funcionales no siempre logran ser del todo retratadas a través de un texto o de una imagen estática, como tradicionalmente ocurre durante la instrucción de dichos fenómenos. Lo anterior conlleva a la elaboración de representaciones y modelos mentales intuitivos que nada tienen que ver con las conceptualizaciones científicamente aceptadas, generándose así falsas concepciones que dificultan la resolución de problemas asociados a dichos conceptos y que requieren posteriormente recurrir a un cambio conceptual para adecuarse a la veracidad de los modelos científicos (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Kozma, 2000; Reiner, Slotta, Chi y Resnick, 2000), o más bien necesiten una reedición de los formatos de representación mental original, orillando a las representaciones iniciales a un cambio representacional (Pozo, 2002).

Tomado en cuenta lo anterior, este trabajo propone que las tecnologías digitales, gracias a sus posibilidades de multirrepresentación, animación e interactividad, tienen la posibilidad de funcionar como “prótesis sensoriales” que permiten representar procesos que escapan a la percepción natural, y por lo tanto ayudan a ampliar las capacidades perceptuales y cognitivas a través de una acción de mediación (Hernández, 2009; Vygotsky, 1978). En este sentido, las tecnologías digitales pueden llegar a funcionar como un sistema de representación exógeno de apropiación endógena, que puede influir en la construcción de modelos mentales que representen la información del mundo físico de manera más efectiva y cercana a su definición científica y ontológica.

Investigaciones anteriores muestran cómo los formatos de representación provistos por las herramientas digitales resultan altamente eficaces y benéficos para el aprendizaje y la resolución de problemas en general, y en particular para

el campo de las ciencias naturales (Jonassen y Carr, 2000; Kozma, 2000; Mayer, 1989a, 1989b; Mayer y Sims, 1994; Rieber, 1996). Si bien la mayoría de estos estudios utilizan como formato de representación imágenes animadas acompañadas por audio y/o texto escrito, la presente investigación se apoya en el uso de una simulación digital interactiva que prescinde del uso explícito de texto y audio, para así analizar la formación de conceptos a través de la observación y la manipulación directa de las variables que describen el fenómeno estudiado dentro de un encuadre didáctico definido. De lo anterior se sigue que el objetivo principal de esta investigación sea el comparar la conceptualización y uso de los conceptos de calor y temperatura adquiridos a través de la manipulación de una simulación digital interactiva, con los conocimientos obtenidos a través del estudio de un texto ilustrado.

2. MARCO TEÓRICO

El aprendizaje escolar y cotidiano de los conceptos de calor y temperatura

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; Macedo y Saoussan, 1985; Fernández, 1986; Thomaz, Malaquías, Valente y Antúnez, 1995). La dificultad principal radica en que las palabras *calor* y *temperatura* son utilizadas en la vida cotidiana, en el lenguaje coloquial, con una connotación distinta a su definición ontológica y científica. No obstante y a pesar del error en la conceptualización de dichos fenómenos, la mayoría de la gente logra explicar con éxito los fenómenos térmicos que los rodean en el día a día. Dentro de esta visión coloquial, el *calor* es una clase de sustancia, de objeto o propiedad que tienen los cuerpos, y no se diferencia totalmente del término *temperatura* (Albert, 1987; Erickson, 1979; Lang da Silveria y Moreira, 1996; Cervantes et al., 2001). Adicionalmente, existe confusión entre el concepto de *temperatura* y la sensación térmica de un objeto, algo *caliente*, pues el suministro de calor a un cuerpo siempre produce un aumento de temperatura. Lo cierto es que 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).

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 (García-Colín, 1986; Cervantes, 1987). El *calor* se define entonces como una transferencia de energía térmica a raíz de una diferencia de temperaturas. De ahí que algunos

investigadores sugieren que para esclarecer la confusión conceptual se deba, necesariamente, asociar la definición de *calor* a una visión microscópica de la materia. Esta visualización microscópica podría, en teoría, 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; Cervantes et al., 2001).

La construcción de modelos mentales a través del uso de tecnologías digitales

La Teoría de los Modelos Mentales sugiere que las personas forman modelos mentales acerca del mundo físico en un esfuerzo por entender e interactuar de manera adecuada con éste (Johnson Laird, 1983, 1988, 1996; Jih y Reeves, 1992; Mayer, 1989a). De acuerdo con esta teoría, los modelos mentales se construyen a través de la formación de representaciones senso-perceptuales, las cuales a su vez se articulan a través del lenguaje (Mayer, 1989a; Paivio, 1990). Los modelos mentales se definen, entonces, como constructos cognitivos dinámicos, en constante cambio y evolución, de forma similar al proceso de equilibración propuesto por Piaget (1969), en donde los esquemas mentales se crean y se refinan constantemente, o bien en acuerdo con la teoría de la redescipción representacional de Karmiloff-Smith (1994), en la cual las representaciones y conceptos se inscriben y redesciben de acuerdo a la evolución del sistema cognoscente.

En este sentido, el modelo de aprendizaje multimedia propuesto por Paivio (1990) y retomado por Mayer (1989a, 1994, 2004), Mayer y Anderson (1991) y Mayer y Moreno (1998), 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 (Figura 1).

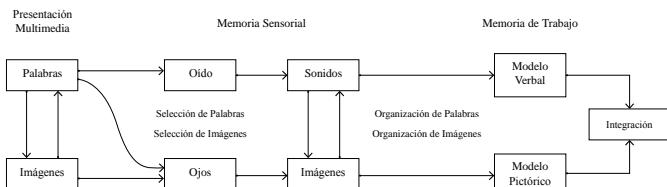


Figura 1. Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (adaptado de Mayer, Heiser y Lonn, 2001, p.190).

Por lo antes dicho, 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.

3. METODOLOGÍA

3.1. Planteamiento del problema

A partir de los resultados obtenidos en investigaciones anteriores en relación al aprendizaje multimedia, y en particular de estudios asociados con la enseñanza de las ciencias naturales (Kozma y Russell, 2005; Mayer, 1989a y 1989b; Taylor y Chi, 2006; Wiser y Amin, 2002), esta investigación buscó evaluar la efectividad de este tipo de herramientas digitales en el aprendizaje de conceptos usualmente conflictivos desde el punto de vista conceptual, como son los conceptos de *calor* y *temperatura*, y comparar los resultados con los aprendizajes obtenidos a través del estudio de un texto ilustrado. Para este fin se construyeron herramientas instruccionales que presentaron de forma verbal y gráfica, así como de manera interactiva, los fenómenos a estudiar. Del mismo modo, se diseñaron materiales de trabajo para guiar el proceso de aprendizaje a lo largo de la sesión didáctica.

3.2. Objetivo

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.

3.3. Participantes

En esta investigación participaron 48 estudiantes de segundo de secundaria de 14 años de edad en promedio, y 48 estudiantes de tercero de secundaria de 15 años de edad en promedio, de una escuela privada de nivel socioeconómico medio alto ubicada en la Ciudad de México.

Dentro de cada grado escolar se formaron de manera aleatoria equipos de tres estudiantes cada uno, a los cuales les fue asignada de forma aleatoria una de las dos herramientas instruccionales (texto ilustrado o simulador).

En total quedaron 8 equipos que trabajaron con un texto ilustrado (grupo TXT) y 8 equipos que trabajaron con el simulador (grupo SML) dentro de cada grado escolar, conformando 16 grupos por grado y por herramienta e 32 grupos en total.

3.4. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es un modelo experimental comparativo de grupos aleatorizados, siendo las variables independientes el tipo de herramienta instruccional

(simulación digital o texto ilustrado) y el grado escolar o nivel de instrucción previa (segundo o tercer año de secundaria), y la variable dependiente el número de aciertos obtenidos al resolver los problemas asociados a la descripción e implementación de los conceptos de *calor* y *temperatura* a lo largo de las distintas secciones del Cuaderno de Trabajo utilizando las dos herramientas instruccionales antes mencionadas. Se analiza también la variación en la terminología que refiere a los conceptos utilizados para responder a los problemas planteados.

3.5. Sesión Didáctica

La sesión didáctica se apoya en los principios del modelo socioconstructivista de enseñanza y aprendizaje, lo mismo que el diseño de los materiales instruccionales (Coll, 2004; Díaz Barriga, 2005). Durante las sesiones experimentales los participantes trabajaron en equipos de tres alumnos cada uno. A cada equipo se le asignó de forma aleatoria una herramienta instruccional distinta (texto ilustrado o simulador) y se le solicitó adicionalmente resolver una serie de preguntas y problemas que fueron presentados en un cuaderno de trabajo y en una memoria de trabajo.

Las preguntas y problemas del *cuaderno de trabajo* fueron diseñados para trabajarse a partir de la consulta o manipulación (en el caso de la simulación) de las herramientas instruccionales, y mediante el intercambio de ideas entre los miembros de cada equipo. La resolución de los ejercicios tuvo lugar en dos sesiones consecutivas de 50 minutos de duración cada una, dentro del horario y el salón de clase asignado por la escuela para la impartición de la asignatura de Física.

3.6. Descripción de los Materiales Experimentales

Tanto la simulación digital interactiva como el texto ilustrado abordaron los siguientes temas:

1. Relación entre flujo de calor, energía térmica, energía cinética y temperatura.
2. Estados de la materia y su relación con la energía térmica, la energía cinética y la temperatura.
3. Contacto y equilibrio térmico.
4. Propiedades aditivas de la temperatura.

Simulación Digital Interactiva (SML)

La simulación se construyó bajo los principios del diseño multimedia expuestos en el trabajo de Betrancourt (2005), Colvin y Mayer (2008), Mayer, Heiser y Lonn (2001), Mayer (2005) y Rieber (1996), considerando los efectos perceptuales y cognitivos que se advierten en estas investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje utilizando tecnologías digitales.

El programa de la simulación cuenta con cuatro pantallas (Figuras 1a y 1b) en las cuales se pueden manipular interactivamente la intensidad de la energía térmica, el estado de la materia (sólido, líquido o gas), mezclar sustancias a distintas temperaturas según se requiera, y poner en contacto dos superficies que se encuentran a temperaturas distintas para observar la transmisión de energía térmica de un cuerpo a otro hasta alcanzar el equilibrio térmico. La simulación permite visualizar el movimiento de las partículas, la variación en la energía térmica, la energía cinética promedio y la temperatura, así como la aparición o supresión de un flujo de calor entre dos objetos. Todas las pantallas tienen etiquetas nominativas para las variables manipulables y/o observables.

El programa incluye una sección denominada *más información*, la cual describe brevemente las variables manipuladas y los fenómenos observados. Esta sección se presenta en una pantalla independiente a las pantallas interactivas y su consulta es a demanda explícita y voluntaria del usuario.

La simulación se construyó utilizando el programa Director de la compañía de software Adobe. Se hizo un archivo autoejecutable que corre de forma independiente y no depende del software de programación. El archivo se instaló en cada una de las máquinas PC que fueron utilizadas en el centro escolar.

Texto Ilustrado (TXT)

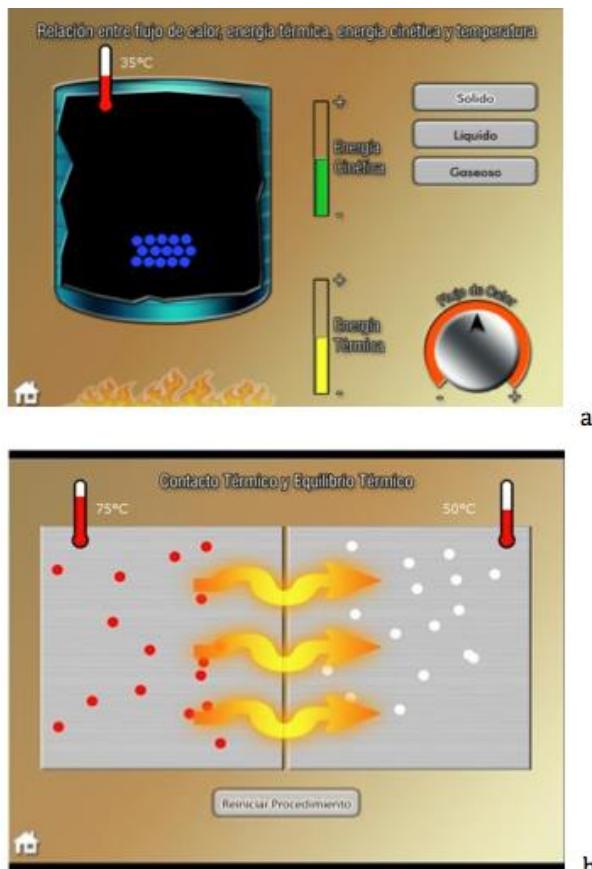
Se construyó un texto de cinco cuartillas en el cual se explicitan con precisión los conceptos de calor y temperatura, así como los fenómenos asociados a estos conceptos, como la energía térmica y la energía cinética promedio. Los contenidos del texto corresponden con el nivel y desglose curricular de las temáticas comprendidas por el programa nacional de segundo de secundaria aprobado por la Secretaría de Educación Pública en el año 2011, para la asignatura de Física.

El texto se dividió en cinco capítulos, cada uno abarcando una sola cuartilla:

1. Energía Térmica y Flujo de Calor.
2. Relación entre Temperatura y Energía Cinética.
3. Relación entre Energía Térmica y Estados de la Materia.
4. Contacto y Equilibrio Térmico.
5. Propiedades Aditivas de la Temperatura.

El contenido del texto incluye ilustraciones que acompañan de forma contigua a las descripciones escritas (Figuras 2a y 2b), conforme a las pautas de diseño que propone Mayer (1989b) para la construcción de un texto científico ilustrado. El documento escrito se imprimió y encuadró.

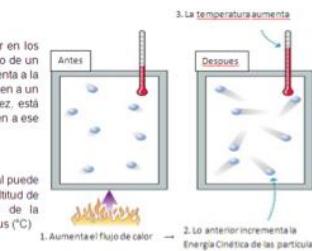
Se diseñaron un Cuaderno de Trabajo específico para utilizarse con la simulación y otro para ser usado con el texto ilustrado. Ambos materiales abordan los mismos conceptos y contienen los mismos problemas a resolver. Se hicieron, no obstante adaptaciones en la redacción de cada Cuaderno para referirse específicamente al texto y sus imágenes, o bien a lo observado y manipulado en la pantalla de la simulación.



Figuras 1a y 1b. Ejemplos de pantallas de la simulación digital interactiva.

Sección 2: Relación Entre Temperatura y Energía Cinética

La temperatura es una propiedad física que frecuentemente se asocia con las nociones comunes de frío o calor: un objeto que se percibe como "caliente" tendrá una temperatura mayor, y uno "frío" tendrá una temperatura menor. Sin embargo esta percepción tiene más que ver con el fenómeno fisiológico de sensación térmica, que con la definición formal de temperatura en la termodinámica.



La temperatura se mide utilizando un termómetro, el cual puede ser calibrado de forma arbitraria de acuerdo a una multitud de escalas que dan lugar a unidades de medición de la temperatura. La escala de mayor uso es la escala Celsius (°C).

Figura 2. Relación entre Energía Cinética y Temperatura. a

Sección 5: Propiedades Aditivas de la Temperatura

La temperatura es una propiedad intensiva, quiere decir que no depende del tamaño del sistema, sino que es una propiedad que le es inherente y no depende ni de la cantidad de sustancia ni del material del que este compuesto. De ahí que al mezclar dos sustancias que tengan una misma temperatura el compuesto final tendrá esta misma temperatura. En este caso, no importa la cantidad de sustancia que se mezcle.

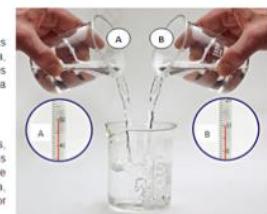


Figura 5. Propiedades aditivas de la temperatura. b

Figuras 2a y b. Extractos del texto ilustrado.

Cuaderno de Trabajo

Para evaluar las diferencias en el aprendizaje de los conceptos estudiados al utilizar las dos modalidades instruccionales mencionadas arriba, se construyó el Cuaderno de Trabajo en el cual se preguntó a los participantes sobre la descripción de los conceptos aprendidos y se evaluó la implementación de estos conceptos mediante la inferencia de descripciones de los fenómenos estudiados, y a través de la resolución de problemas asociados a los mismos.

El cuaderno consta de 25 ejercicios en total, y está conformado por reactivos de opción múltiple y preguntas abiertas.

Los reactivos del Cuaderno de Trabajo fueron adaptados de los reactivos presentados en el *Test Sobre Concepciones Científicas sobre Calor, Temperatura y Energía Interna* de Lang da Silveira y Moreira (1996).

Memoria de Trabajo

Este documento fue diseñado para recoger la apreciación subjetiva de los participantes sobre el uso particular de las herramientas instruccionales durante el estudio de los tópicos revisados, y en la resolución de los ejercicios presentados en el cuaderno de trabajo. Se preguntó acerca del uso que se le dio a los materiales instruccionales: cómo y con qué frecuencia fueron consultados al momento de contestar los reactivos del cuaderno, cuáles elementos tuvieron mayor o menor relevancia para la comprensión de los fenómenos estudiados, y cuáles ayudaron más, o menos, a la resolución de los ejercicios planteados.

4. RESULTADOS

A continuación se describe la dinámica de la sesión didáctica y se reportan los resultados obtenidos a partir del análisis cuantitativo de los reactivos del Cuaderno de Trabajo. Más adelante se presenta la información relativa a la Memoria de Trabajo.

4.1. Dinámica de la Sesión Didáctica

Durante la sesión didáctica los grupos que trabajaron con el simulador (SML) terminaron los ejercicios propuestos en promedio 10 minutos antes que los grupos que trabajaron con el texto ilustrado (TXT). Los intercambios verbales y la discusión de los ejercicios resultaron más dinámicos y participativos en los grupos SML, en comparación con los grupos TXT. Los grupos SML discutían y resolvían los ejercicios al mismo tiempo que manipulaban la herramienta de trabajo, ello permitió que todos los participantes se involucraran en dicho proceso. Por el contrario los equipos TXT trabajaron de forma individual los ejercicios tomado turnos para leer y resolver los ejercicios asignados, y sólo en escasas ocasiones se discutieron los contenidos entre todos los miembros del equipo.

4.2. Resultados del Análisis Cuantitativo

Se efectuó un análisis estadístico no-paramétrico de varianza (ANOVA), 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). A partir del análisis de varianza se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tablas 1 y 2):

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 3), 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, la mayoría de los grupos que utilizaron el simulador (68%) utilizaron poco o nada la sección de *más información*, según se reportó en la Memoria de Trabajo, por lo tanto la mayoría de estos grupos no recurrieron a las definiciones explícitas de los conceptos revisados, a diferencia de los grupos que trabajaron con el texto ilustrado, quienes tuvieron acceso a estas definiciones de forma explícita. No se obtuvieron diferencias significativas entre grados escolares o en la interacción entre grado escolar y herramienta.

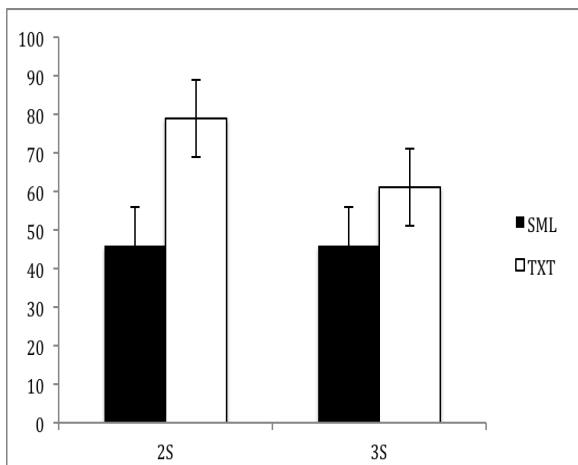


Figura 3. Porcentaje de aciertos a preguntas sobre definiciones conceptuales.

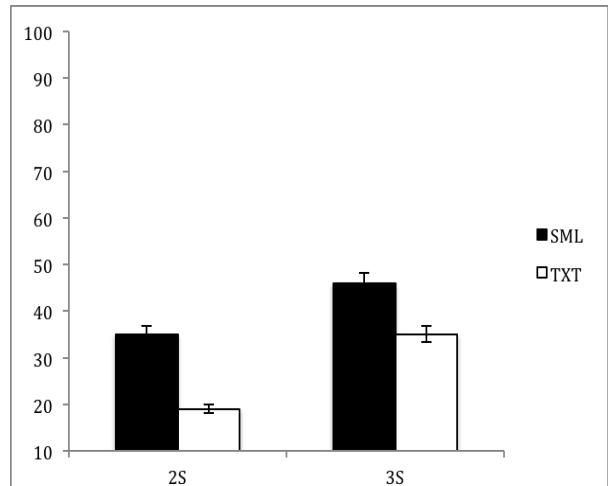


Figura 4. Porcentaje de respuestas inferidas

Fuente	Variable Dependiente	Suma Cuadrática Tipo III	df	Media Cuadrática	F	Sig.
Modelo Corregido	DefinicionesC	27.375 ^a	3	9.125	7.000	.001
	RespInferidas	49.500 ^b	3	16.500	3.164	.040
	ContacTérmico	13.750 ^c	3	4.583	6.498	.002
	EdosdelaMateria	13.750 ^d	3	4.583	1.880	.156
Intercept	DefinicionesC	528.125	1	528.125	405.137	.000
	RespInferidas	612.500	1	612.500	117.466	.000
	ContacTérmico	364.500	1	364.500	516.759	.000
	EdosdelaMateria	722.000	1	722.000	296.205	.000
Grado	DefinicionesC	3.125	1	3.125	2.397	.133
	RespInferidas	24.500	1	24.500	4.699	.039 *
	ContacTérmico	4.500	1	4.500	6.380	.017 *
	EdosdelaMateria	.500	1	.500	.205	.654
Herramienta	DefinicionesC	21.125	1	21.125	16.205	.000 *
	RespInferidas	24.500	1	24.500	4.699	.039 *
	ContacTérmico	6.125	1	6.125	8.684	.006 *
	EdosdelaMateria	10.125	1	10.125	4.154	.051
Grado * Herramienta	DefinicionesC	3.125	1	3.125	2.397	.133
	RespInferidas	.500	1	.500	.096	.759
	ContacTérmico	3.125	1	3.125	4.430	.044 *
	EdosdelaMateria	3.125	1	3.125	1.282	.267
Error	DefinicionesC	36.500	28	1.304		
	RespInferidas	146.000	28	5.214		
	ContacTermico	19.750	28	.705		
	EdosdelaMateria	68.250	28	2.438		
Total	DefinicionesC	592.000	32			
	RespInferidas	808.000	32			
	ContacTérmico	398.000	32			
	EdosdelaMateria	804.000	32			
Total Corregido	DefinicionesC	63.875	31			
	RespInferidas	195.500	31			
	ContacTérmico	33.500	31			
	EdosdelaMateria	82.000	31			

a. R Squared = .429 (Adjusted R Squared = .367)

b. R Squared = .253 (Adjusted R Squared = .173)

c. R Squared = .410 (Adjusted R Squared = .347)

d. R Squared = .168 (Adjusted R Squared = .079)

Tabla 1. Resultados del Análisis Multivariado de Varianza

	Grado	Herramienta	Media	Desviación Est.	N
Definiciones	3.00	1.00	3.2500	.88641	8
		2.00	5.5000	1.19523	8
		Total	4.3750	1.54380	16
		1.00	3.2500	1.03510	8
		2.00	4.2500	1.38873	8
	2.00	Total	3.7500	1.29099	16
		1.00	3.2500	.93095	16
		Total	4.8750	1.40831	16
		Total	4.0625	1.43544	32
		1.00	4.5000	2.50713	8
RespInferidas	3.00	2.00	2.5000	2.50713	8
		Total	3.5000	2.63312	16
		1.00	6.0000	2.39046	8
		2.00	4.5000	1.60357	8
		Total	5.2500	2.11345	16
	2.00	1.00	5.2500	2.48998	16
		Total	3.5000	2.28035	16
		Total	4.3750	2.51126	32
		1.00	3.7500	.70711	8
		2.00	2.2500	1.16496	8
ContacTérmico	3.00	2.00	3.0000	1.21106	16
		Total	3.0000	1.21106	16
		1.00	3.8750	.64087	8
		2.00	3.6250	.74402	8
		Total	3.7500	.68313	16
	2.00	1.00	3.8125	.65511	16
		Total	2.9375	1.18145	16
		Total	3.3750	1.03954	32
		1.00	5.7500	.46291	8
		2.00	4.0000	2.07020	8
EdosdelaMateria	3.00	2.00	4.8750	1.70783	16
		Total	4.8750	1.55265	8
		1.00	4.8750	1.68502	8
	2.00	2.00	4.6250	1.58640	16
		Total	5.3125	1.19548	16
		Total	4.1875	1.83371	16
	Total		4.7500	1.62640	32

Tabla 2. Resultados Estadística Descriptiva.

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 4). 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 5). 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 6).

4.3. Diferencias en el uso de los conceptos y las terminologías asociadas para describir los fenómenos estudiados.

El Cuaderno de Trabajo incluyó preguntas abiertas sobre los fenómenos y conceptos revisados. Las respuestas a estos reactivos dan cuenta del uso de los conceptos y de la incorporación de terminologías asociadas a los mismos en función de las descripciones o definiciones que requieren las respuestas a este tipo de preguntas.

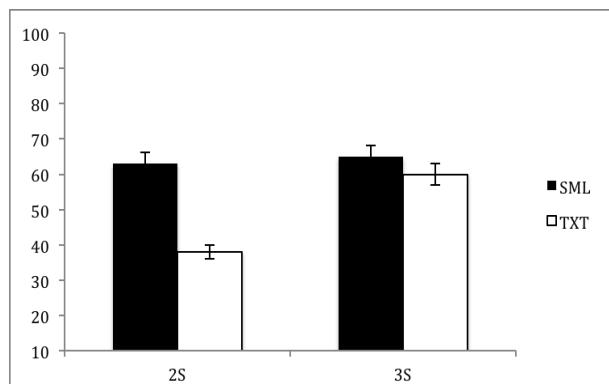


Figura 5. Porcentaje de aciertos de problemas abiertos asociados al contacto y al equilibrio térmico.

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, pero descritos en el contenido de las preguntas del Cuaderno de Trabajo. 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.

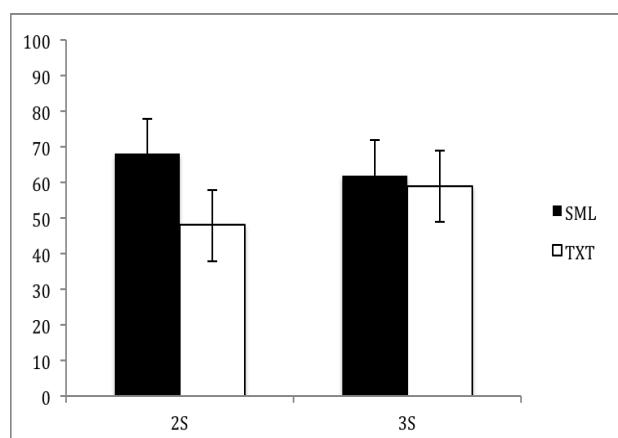


Figura 6. Porcentaje de aciertos de problemas asociados a cambios en la estructura microscópica de la materia.

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 conservación de la energía térmica, y de la inhibición de un flujo de calor debido a la ausencia de una diferencia de temperaturas por la presencia del aislante. Únicamente el 68% de los equipos TXT respondieron correctamente a la pregunta utilizando adecuadamente las terminologías conceptuales para responder a este cuestionamiento. El resto de los equipos TXT, se refiereron al fenómeno cuestionado utilizando concepciones y por lo tanto terminologías erróneas o coloquiales, tales como: “el aislante no deja salir el calor”, o “el aislante guarda el calor en los objetos para que no se salga la temperatura”.

Al llevar este cuestionamiento a su aplicación en una situación cotidiana que consistía en explicar “¿Por qué una chamarra gruesa te protege del frío?” 87% de los equipos SML refirieron a la chamarra como un aislante térmico y proporcionaron una explicación similar a la expresada en la pregunta anterior. Sólo el 25% de los grupos TXT proporcionaron una explicación conceptual correcta.

En su mayoría, los participantes TXT argumentaron que “la chamarra no deja salir el calor” o que por el contrario “la chamarra no deja que se meta el frío”. Algunas explicaciones más elaboradas de los grupos TXT ahondaron sobre las propiedades del material del que está confeccionada la chamarra, pero refiriéndose a estos materiales como unos que “no dejan salir el calor del cuerpo”.

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”?” Las respuestas otorgadas a esta pregunta ponen de manifiesto una vez más las ventajas de los grupos que utilizaron la simulación digital en términos de la asimilación y el uso que dan a los conceptos estudiados, y de la capacidad para transferir los aprendizajes de forma adecuada a situaciones no descritas o presentadas explícitamente en la herramienta instruccional. 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 lograron contestar correctamente esta pregunta y utilizaron adecuadamente los conceptos y la terminología asociada para explicar sus respuestas. 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 arriba corroboran el análisis cuantitativo, exhibiendo un mejor desempeño en general de los grupos SML en comparación con los equipos TXT, y en particular, una ventaja en lo referente a la aplicación de los conceptos estudiados durante la resolución de problemas y durante la descripción de fenómenos asociados a dichos conceptos. Con ello se evidencia que las representaciones sensoperceptuales provistas por la simulación digital interactiva procuran un modelo cognitivo 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.

4.4. Resultados y análisis de la Memoria de Trabajo

La Memoria de Trabajo tenía como objetivo recuperar los usos particulares de las herramientas instruccionales y la valoración utilitaria que le se dio a los componentes específicos de cada herramienta durante la resolución de los ejercicios del Cuaderno de Trabajo.

Los grupos SML reportaron que los elementos que más contribuyeron a la comprensión y resolución de los ejercicios fueron:

- Animación y movimientos de los elementos.
- Visualización de los fenómenos.
- Manipulación y control manual de los botones.

Estos mismos grupos reportaron que los elementos que contribuyeron menos fueron:

- Sección *más información* (textos breves con las definiciones de los fenómenos estudiados).
- Imaginar los problemas planteados en el Cuaderno en la propia mente.

Por su parte los grupos TXT reportaron que los elementos que contribuyeron más durante la resolución y comprensión de los ejercicios fueron:

- La lectura de las definiciones.
- Las ilustraciones.
- El parecido de las ilustraciones con los eventos reales.
- Imaginar en la propia mente los ejercicios planteados en el Cuaderno.

Los elementos que contribuyeron menos para estos mismos grupos fueron:

- El parecido de las descripciones escritas con los eventos reales.
- La motivación de trabajar con un texto escrito.

Adicionalmente, 75% de los participantes de los grupos SML reportaron estar “altamente motivados” por trabajar con un programa de cómputo, mientras que el 72% de los participantes de los grupos TXT reportaron que les resultaba “poco motivante” trabajar con un texto. Así mismo, 52% de participantes del grupo TXT reportaron que resultaría más fácil resolver los ejercicios utilizando la simulación digital, mientras que el 65% de los participantes del grupo SML reportaron que resultaría más difícil resolver los ejercicios utilizando un libro.

CONCLUSIONES

A pesar de que los participantes que utilizaron la simulación digital interactiva no contaban con definiciones y descripciones amplias y explícitas como las incluidas en el texto ilustrado, y que la mayoría de los participantes de los grupos SML atestigüó no haber utilizado el recurso descriptivo provisto en la sección de *más información* del programa, 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 a los participantes transcribir las definiciones obtenidas a través de la lectura del texto al Cuaderno de Trabajo.

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 a partir de dicha manipulación, son elementos perceptuales y cognitivos suficientes para comprender, desde el punto de vista de la definición conceptual, los fenómenos estudiados. A diferencia del texto y las ilustraciones estáticas, la simulación digital permitió mediante la visualización y manipulación interactiva, construir representaciones sensoperceptuales que favorecieron la creación de modelos mentales y conceptuales más eficientes, o al menos más efectivos para llevar los conocimientos fuera del contexto mismo de la simulación. 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 asociadas a la descripción de dichos fenómenos, situación que no ocurrió con el texto a pesar de que éste contenía ilustraciones representando a los mismos fenómenos, y que éstas estaban acompañadas de su descripción verbal.

Estos resultados coinciden con investigaciones previas sobre la teoría de los modelos mentales y su relación con el aprendizaje multimedia, en particular se 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; Taylor y Chi, 2006; Torres Montalbán y Ruiz Chavarría, 2006; Wiser y Amin, 2002).

Retomando las ideas de Johnson Laird (1996) sobre la construcción de los modelos mentales, se requiere de la representación sensoperceptual y de la articulación verbal para modelar, entender, utilizar 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 el uso de dicha información fuera del contexto de aprendizaje, y/o durante la resolución de problemas asociados a ésta. De ahí que el posibilitar al alumno con un medio veraz y efectivo de representación sensoperceptual pueda favorecer la construcción de un modelo mental más eficaz, que permita incluso construir un mejor vínculo con la representación semántica o verbal. Lo anterior parecería ser especialmente relevante cuando los temas estudiados escapan a la percepción inmediata, tal y como lo evidencian los resultados obtenidos en las preguntas asociadas a los distintos estados de la materia (EM) y al contacto térmico (CT) en esta investigación, ambos temas ligados con las propiedades y relaciones microscópicas termodinámicas.

Las apreciaciones sobre el uso de las herramientas instruccionales inscritas en la Memoria de Trabajo, son también un buen indicador de la mediación sensoperceptual que provee la simulación digital en el proceso de aprendizaje. Estas observaciones nos indican que la simulación hace las veces de la “imagen mental” que en el caso del texto debe ser imaginada o construida internamente a partir de la información leída. No obstante, parecería que la información provista por el texto no alcanza a ser del todo representada mentalmente, debido probablemente a la imposibilidad de imaginar la complejidad de las relaciones entre variables involucradas, a la escala espaciotemporal en la que estas relaciones tienen lugar, y a la inevitable interferencia que producen las concepciones previamente adquiridas en la construcción del modelo mental actual. De ahí que la posibilidad de interactuar y manipular las variables que describen el fenómeno estudiado dentro de la interface de la simulación digital, facilite la recreación de las relaciones de orden causal entre variables lo que a su vez favorece la comprensión y uso adecuado de los conceptos, aún en la resolución de problemas.

Por lo tanto, parecería que la construcción de un modelo mental a partir únicamente del lenguaje (de representaciones símbolicas o semánticas) o de imágenes estáticas, no es suficiente para consolidar y llevar algunos aprendizajes a la práctica o la solución efectiva de problemas, en vista de las carencias en la representación sensoperceptual. De mantenerse esta condición representacional en la enseñanza de ciertos fenómenos físicos, se cae indudablemente en la necesidad de recurrir a un cambio representacional *a posteriori* para construir un modelo mental más efectivo (Pozo, 2002).

Así, los resultados de esta investigación muestran que al mediar el aprendizaje de ciertos fenómenos físicos utilizando sistemas de representación eficientes, se pueden llegar a construir modelos mentales, y por lo tanto conceptuales, más veraces desde un inicio.

Adicionalmente, las diferencias encontradas entre grados escolares, indican que además del andamiaje sensoperceptual que proveen las tecnologías digitales, la instrucción académica es un factor clave para una mejor comprensión y utilización de los conceptos estudiados en la resolución de problemas, y probablemente también conlleva a un mejor aprovechamiento de las herramientas instruccionales.

Finalmente, se concluye 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 sensoperceptual que permitan una mejor visualización, manipulación y por lo tanto un mejor entendimiento de los conceptos estudiados al favorecer la construcción de modelos mentales que permitan, incluso, una mejor articulación entre las representaciones sensoperceptuales y las verbales, favoreciendo así el aprendizaje en su conjunto.

REFERENCIAS

- Albert, E. (1978). Development of the concept of heat in children. *Sci. Educ.* 62, 389–99.
- Betrancourt, M. (2005). The Animation and Interactivity Principles in Multimedia Learning. En R.E. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp.287-297). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Cervantes, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 66-70.
- Cervantes, L., De la Torre, N., Verdejo, A., Trejo, L.M., Córdova, J.L. y Flores, F. (2001). El concepto de calor termodinámico y su enseñanza. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Termodinámica*, México D.F. Septiembre de 2001, pp.558- 565.
- 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.
- Coll, C. (2004). Psicología de la educación y prácticas educativas mediadas por las tecnologías de la informática y la comunicación: una mirada constructivista. *Sinéctica*, No. 25, Sección Separata, 1-24.
- Colvin, C.R. y Mayer, R.E. (2008). Applying the multimedia principle. En *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning* (pp.54-75). San Francisco, CA: John Wiley & Sons/Pfeiffer.
- Díaz Barriga, F. (2005). Principios de diseño instruccional de entornos de aprendizaje apoyados con TIC: Un marco de referencia sociocultural y situado. *Tecnología y Comunicación Educativas*, 1, 41-56.
- Educativas, ILCE-UNESCO, No.41, julio-diciembre, pp. 4-16.
- 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.
- Fernández Uria, E. (1986). Reflexiones acerca del concepto de calor. *Enseñanza de las ciencias*, 4, 91-92.
- García Colín, L. (1986). *Introducción a la Termodinámica Clásica* (3a. Edición). México: Editorial Trillas.
- Hernández, G. (2009). Las TIC como herramientas para pensar e interpensar: Un análisis conceptual y reflexiones sobre su empleo. En F. Diaz Barriga, G. Hernández y M. A. Rigo (Comps.), *Aprender y Enseñar con TIC en Educación Superior: Contribuciones desde el Socioconstructivismo* (cap. 1, pp. 18-62). México: UNAM.
- 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.
- Jonassen, D.H. y Carr, Ch.S. (2000). Mindtools: affording multiple knowledge representations for learning. En S.P. Lajoie (Comp.), *Computers as Cognitive Tools, Volume II: No More Walls* (pp. 165-195). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Johnson Laird, P.N. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson Laird, P.N. (1988). How is meaning mentally represented? *International Social Science Journal*, 40(1), 45-61.
- pp. 40-53

- 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.
- Karmiloff-Smith, A. (1994). *Más allá de la modularidad: la ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo*. Madrid: Editorial Alianza.
- 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.
- Kozma, R. y Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. En Gilbert, J. (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp.121-146). Londres: Kluwer.
- Lang da Silveira, F. y Moreira, M.A. (1996). Validación de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura y energía interna. *Enseñanza de las ciencias*, 14(1), 75-86.
- Macedo, B. y Soussan, G. (1985). Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las ciencias* 3, 83-90.
- Mayer, R.E. (1989a). Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59, 43-64.
- Mayer, R.E. (1989b). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific texts. *Journal of Educational Psychology*, 81(2), 240-246.
- Mayer, R.E. y Anderson, R.B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83, 484-490.
- 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. y Moreno, R. (1998). A Split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 312-320.
- Mayer, R.E., Heiser, J. y Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187-198.
- Mayer, R.E. (2005). Introduction to Multimedia Learning, en Mayer, R.E. (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- 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.
- Piaget, J. (1969). *Biología y Conocimiento*. México: Siglo XXI Editores.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.
- Pozo, J.J. (2002). La adquisición del conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações em Encino de Ciencias*, 7(3), 245-270.
- Reiner, M., Slotta, J.D., Chi, M.T.H., y Resnick, L.B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34.
- Rieber, L.P. (1996). Seriously considering play: Designing interactive learning environments based on the blending of microworlds, simulations, and games. *Educational Technology Research and Development*, 44(2), 43-58.
- Taylor, R.S. y Chi, M.T.H. (2006). Simulation versus text: acquisition of implicit and explicit information. *Journal of Educational Computing Research*, 35, 289-313.
- Thomaz M.F., Malaquías I.M., Valente M.C. y Antúnez M.J., (1995). An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. *Phys. Educ.* 30, 19-26.
- Torres Montealbán, J. y Ruiz Chavarría, M. S. (2006). Instructional design of a multimedia system into the learning of photoelectric effect at high school level. *Current Developments in Technology-Assisted Education*, 1268-1273.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wiser, M. y Amin, T.G. (2002). Computer-Based Interactions for Conceptual Change in Science. En M. Limón y L. Mason (eds.): *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 357-388). Norwell, MA: Kluwer Academic Publisher.

Cimenna Chao Rebolledo – Es Licenciada en Física por la Universidad de las Américas Puebla, estudió la maestría en Psicobiología en la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y la maestría en Psicología en la New York University, realizó una estancia académica en la Universidad de Ginebra, Suiza. Actualmente es candidata al Doctorado en Psicología Educativa y del Desarrollo en la UNAM, es miembro investigador del Grupo de Investigación en Docencia, Diseño Educativo y TIC, de la UNAM y profesor de asignatura del Departamento de Psicología de la Universidad Iberoamericana campus Santa Fe, en la Ciudad de México. Ha sido asesora en materia educativa de la Coordinación General de Educación Intercultural Bilingüe (CGEIB) y de la Dirección General de Educación Superior para Profesionales de la Educación (DGESPE) de la Secretaría de Educación Pública en México, del Consejo Nacional para el Fomento Educativo (CONAFE), de la UNESCO y UNICEF, y de la Universidad Fray Luca Paccioli. Es miembro de la Red de Cooperación Interinstitucional en el estado de Morelos, México. Su campo de investigación abarca el estudio de procesos cognitivos, sociocognitivos y neuropsicológicos básicos, en particular de los procesos de aprendizaje y la formación de conceptos y categorización. Es autora de diversos artículos de divulgación científica, así como de materiales educativos.