



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA
DOCTORADO EN PSICOLOGÍA EDUCATIVA Y DEL DESARROLLO

ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA FÍSICA UTILIZANDO UNA
SIMULACIÓN DIGITAL INTERACTIVA Y UN TEXTO ILUSTRADO

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN PSICOLOGÍA

PRESENTA:

CIMENNA CHAO REBOLLEDO

TUTOR PRINCIPAL

DRA. FRIDA DÍAZ-BARRIGA ARCEO
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. GERARDO HERNÁNDEZ ROJAS
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM

DRA. GUADALUPE ACLE TOMASINI
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, UNAM

DR. RIGOBERTO LEÓN SÁNCHEZ
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM

DR. FERNANDO GAMBOA RODRÍGUEZ
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO,
UNAM

MÉXICO, D.F. ABRIL 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Resumen.....	4
Introducción	5
Objetivos	6
Marco Teórico	7
Metodología.....	26
Resultados	37
Conclusiones	68
Referencias	76
Anexo I	83
Anexo II	87
Anexo III	95
Anexo IV	102
Anexo V	105
Anexo VI	108

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer el continuo apoyo y guía que con tanto cariño y respeto me ofrecieron cada uno de mis tutores durante esta investigación. En particular quiero dar gracias por la confianza y el reiterado apoyo que he recibido de la Dra. Frida Díaz-Barriga a lo largo de esta tesis y de muchos otros proyectos compartidos.

Así mismo, agradezco al grupo GIDDET de la Facultad de Psicología de la UNAM, por su apoyo para movilizar y dar difusión a este proyecto de investigación a través de numerosos congresos y publicaciones asociadas al mismo.

Agradezco profundamente a La Escuela de Lancaster, al profesor Alan Downey y a todos los maestros y alumnos de secundaria de esa institución, por haberme permitido trabajar este proyecto en su comunidad educativa, y por haber participado en él de forma tan entusiasta.

Finalmente, pero no menos importante agradezco a la vida por darme la oportunidad de compartir este proyecto con mi familia a quienes tanto amo y agradezco infinitamente su paciencia, apoyo y amor incondicional durante la realización de esta investigación.

Gracias con todo mi corazón a mi esposo Mark y a mis amados hijos Nicolás y Arela (quien nació al inicio de este proyecto y ha crecido junto con él).

¡A todos ustedes gracias, infinitas gracias!

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 del uso 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 la resolución de problemas asociados a dichos conceptos, y significativamente mejor en los alumnos con instrucción previa. El desempeño de los grupos que utilizaron el texto ilustrado fue significativamente mejor que su contraparte únicamente en problemas orientados a proporcionar la definición literal de los fenómenos estudiados.

Palabras clave: *simulación digital interactiva, formación de conceptos, aprendizaje multimedia, aprendizaje de la física.*

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se analizan las posibles diferencias que subyacen al aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura, y su relación con la energía cinética, y la energía térmica, a través de dos modalidades instruccionales distintas: mediante la revisión de un texto ilustrado (TXT) y a través del uso de una simulación digital interactiva (SML).

De acuerdo con investigaciones anteriores, se presupone que el estudio de algunos fenómenos físicos utilizando una simulación digital interactiva, a diferencia de un texto, tiene la posibilidad de revelar, a través de las posibilidades de representación e interactividad que caracterizan a estas tecnologías, elementos y/o procesos que definen al suceso en cuestión y que se encuentran ocultos a la percepción inmediata debido a la escala microscópica en donde se sitúan dichos fenómenos (Torres Montealbán y Ruiz Chavarría, 2006; Kozma y Russell, 2005; Wiser y Amin, 2002). La puesta en evidencia y la posibilidad de manipular las variables imperceptibles que describen a estos sucesos físicos, puede ayudar a la asimilación y a la representación conceptual de los anteriores, y por lo tanto favorecer la asignación categórica y la resolución de problemas asociados a los mismos (Kozma, 2000; Wiser y Amin, 2002; Kozma y Russell, 2005; Torres Montealbán y Ruiz Chavarría, 2006).

A partir de lo anterior, en esta investigación se asume que al mediar el aprendizaje de ciertos fenómenos físicos microscópicos utilizando una simulación digital interactiva se estaría coadyuvando a la construcción de un modelo mental que facilitaría la comprensión y el aprendizaje de dichos fenómenos, a partir de la incorporación de representaciones perceptuales más afines a la conceptualización ontológica, y a la

definición científica, de estos fenómenos al modelo que les suscribe en el espacio mental (Kozma, 2000; Mayer, 2005; Mayer y Sims, 1994; Rieber, 1996), posibilitando con ello incluso la reestructuración de ideas intuitivas y/o falsas concepciones que se hubieran gestado en el pasado acerca de estos temas.

OBJETIVOS

Los objetivos principales de esta investigación son por un lado, conocer las ideas intuitivas que tienen los alumnos de segundo de secundaria acerca de los conceptos de calor y temperatura, previo a recibir instrucción académica, y cómo consideran que estos conceptos se relacionan con la energía térmica y la energía cinética. Y en segundo lugar, analizar las diferencias en el aprendizaje, conceptualización y aplicación de los fenómenos arriba mencionados al utilizar una simulación digital interactiva versus un texto ilustrado, en alumnos sin instrucción académica previa en los temas revisados (alumnos de segundo de secundaria) y en alumnos previamente instruidos al respecto (alumnos de tercero de secundaria).

MARCO TEÓRICO

Aprendizaje, representaciones mentales y formación de conceptos

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/o modelos mentales (Jih y Reeves, 1992; Johnson Laird, 1983 y 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 (Johnson Laird, 1983 y 1988; 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, pues no siempre las proposiciones semánticas y sus relaciones categóricas logran representar puntualmente el fenómeno estudiado (Anderson, 1978; Johnson Laird, 1980; Kirby y Kosslyn, 1990), y las imágenes estáticas no siempre son exitosas en la representación de procesos dinámicos (Colvin y Mayer, 2008; Glenberg y Langston, 1992; Mayer, Heiser y Lonn, 2001). Dicho de otro modo, en el caso de la información representada a través de un texto la fidelidad de la representación mental dependerá del

nivel de comprensión lingüística que se alcance durante la lectura (Kintsch y van Dijk, 1978). Así, al representar información en la forma de preposiciones lingüísticas se advierte que la construcción de un modelo mental que permita manipular dicha información de manera dinámica y apegada a su definición otológica, dependerá de si la comprensión del texto fue superficial, o bien, si se logró generar un modelo de la situación que permita abstraer y utilizar dicha información fuera del contexto verbatim del texto (Kintsch y van Dijk, 1978).

Lo anterior conlleva a la elaboración de representaciones y modelos mentales intuitivos, que nada tienen que ver con las conceptualizaciones científicamente aceptadas y que llegan a dificultar la resolución de problemas asociados a dichos conceptos dentro del ámbito académico y científico, ya que como lo menciona Johnson-Laird: “si alguna de las modalidades de representación [semántica o icónica] codifica la información de manera que no hay correspondencia exacta entre ellas y con el objeto representado, entonces todo el modelo mental fracaza” (Johnson Laird, 1980, p. 95).

La interferencia que ocasionan las concepciones intuitivas en el trabajo académico, conlleva a la necesidad de replantear la estructura de las representaciones y modelos mentales que les suscriben. Una manera en que se ha planteado dicha modificación es a través de lo que algunos autores han denominado como cambio conceptual, en donde se busca reemplazar a las ideas previas o intuitivas por concepciones más acordes con los modelos científicos, sustituyéndolas por conceptos y categorías semánticas más adecuadas (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Carey, 1999; Carey y Spelke, 2002). Sin embargo, en la presente investigación se plantea que el correcto aprendizaje de ciertos fenómenos previamente

“mal entendidos” o “mal enseñados”, requiere previo a lograr modificaciones conceptuales, o en el caso estricto de la teoría del cambio conceptual llevar a cabo una sustitución de conceptos o categorías semánticas, se necesita promover una reestructuración perceptual (Karmiloff-Smith, 1994; Moreira y Greca, 2003; Pozo, 2002). En otras palabras, la posibilidad de revisar las ideas previas en formatos de representación distintos a los provistos originalmente puede llegar a clarificar las representaciones perceptuales y/o conceptuales que se tienen sobre dicho fenómeno y promover una mejor discriminación de significados semánticos, lo cual a su vez permitiría la construcción de modelos mentales más eficaces o benéficos en el aprendizaje y la resolución de problemas (Karmiloff-Smith, 1994; Mayer, 1989a; Johnson-Laird, 1983 y 1988). En este sentido, se entiende al aprendizaje como un proceso de refinamiento perceptual y conceptual, en el cual los nuevos saberes no anulan a los conocimientos previos o intuitivos, y más bien los integran en modelos mentales que logran alcanzar un equilibrio perceptual y simbólico entre las ideas intuitivas y la información provista por los modelos científicos (Karmiloff-Smith, 1994; Mayer, 1989a). Por lo tanto, desde esta perspectiva se considera al conocimiento como un proceso dinámico en continuo cambio, y no como una entidad cognitiva estática que requiere sustituirse cuando no resulta funcional (Thelen y Smith, 1994). El conocimiento entonces, no consiste de estructuras conceptuales rígidas o indivisibles, éste se ensambla en tiempo real a partir de la interacción de unidades cognitivas (representaciones perceptuales o simbólicas) que por sí solas no conllevan a la construcción del conocimiento (Thelen y Smith, 1994).

Tomado en cuenta lo anterior, este trabajo propone que las tecnologías digitales, gracias a sus posibilidades de multirrepresentación, animación e interactividad, pueden llegar a 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 representaciones y modelos mentales que representen perceptual y semánticamente la información del mundo físico de manera más efectiva y cercana a su definición científica y ontológica.

Ideas previas y la construcción del conocimiento

Si se parte del supuesto de que el que el aprendizaje lleva implícito un proceso de construcción, reestructuración o transformación perceptual y conceptual, resulta entonces de gran relevancia considerar las ideas previas que traen consigo los estudiantes al proceso de instrucción. En primer lugar, porque ponen de manifiesto el bagaje cognitivo con el que se enfrentan los alumnos a los tópicos estudiados; y en segundo, porque éstas ideas deberían marcar la pauta para el diseño de las estrategias y materiales de instrucción, los cuales tendrían como eje al alumno y su proceso cognitivo.

Las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales. Su construcción se encuentra relacionada a la interpretación fenomenológica de dichos fenómenos y al posible conocimiento que se tenga sobre las definiciones culturales (incluidas las definiciones científicas) al respecto. Todo lo anterior confluye para dar explicación, describir y

predecir los fenómenos observados. Así, la investigación en torno a las ideas previas ha sido abundante en el campo de la enseñanza de las ciencias naturales, y en particular de las ciencias físicas (Fernández, 1986; Flores y Gallegos, 1998; Flores, 2009).

El estudio de las ideas previas ha sugerido también nuevos enfoques en torno a las investigaciones sobre el aprendizaje, como es el caso de estudios sobre cambio conceptual (Strike y Posner, 1985; Carey, 1999), construcción de modelos representacionales, tanto cognoscitivos como epistemológicos (Johnson Laird, 1983 y 1988; Karmiloff-Smith, 1994; Carey, 1999; Flores y Gallegos, 1998), y sobre diferencias interculturales (Rogoff, 2003).

Sin embargo, y a pesar de su importancia en la investigación y en la educación, fijar una posición en cuanto a la terminología más adecuada para nombrar estas ideas sigue aún en debate (Cubero, 1994; Flores, 2009). Distintos términos han sido empleados a lo largo de la literatura para señalar los conocimientos y concepciones iniciales que trae consigo un individuo a lo largo de su experiencia cognitiva y educativa (Cubero, 1994; Flores, 2009). Hoy en día, términos como “concepciones alternativas”, “ideas previas”, o “preconceptos”, son más utilizados pues conllevan una visión más ideográfica que toma en cuenta las ideas de los alumnos como concepciones personales, que tienen significado y utilidad para interpretar cierta fenomenología (Flores, 2009); y porque no implican una denominación en sentido negativo, a manera de errores de comprensión o conocimientos incompletos, como en el caso de los términos “error conceptual”, “falsas concepciones” o “teorías intuitivas” (Cubero, 1994; Flores, 2009). En esta investigación nos referiremos en adelante a estos conocimientos como *ideas previas*, pues coincidimos con investigadores como Flores (2009), que este término hace referencia a una concepción

que no ha sido transformada por la mediación de las prácticas escolares. Así mismo, hablaremos aquí de *falsas concepciones*, principalmente al referirnos a concepciones con una descripción distinta a su definición ontológica, y que tienen su origen en la instrucción escolar y/o académica.

Algunos de los factores que contribuyen a comprender el origen de las ideas previas son (Flores, 2009):

- La necesidad que tienen los sujetos de contar con una forma de interpretación que les permita comunicar y tener una visión, al menos parcialmente coherente de los eventos naturales con los que están cotidianamente en contacto.
- Los mecanismos de validación que los sujetos utilizan comúnmente y que, en general, consisten en la contrastación simple o directa, y el acuerdo entre los miembros que componen un cierto contexto cultural (familiar, escolar o ideológico).
- El contexto de manifestación y aplicación de la información contribuye también a la formación de las ideas previas.

Así mismo, algunas de las características y aplicaciones principales de las ideas previas en los contextos escolares son las siguientes (modificado a partir de Flores, 2009):

- Las ideas previas en un mismo alumno pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes (por ejemplo aire y agua).
- Los orígenes de las ideas previas se encuentran en las experiencias de los sujetos con relación a fenómenos cotidianos, en la correspondencia de interpretación con sus pares y en la enseñanza que se ha recibido en la escuela.
- Por lo general, las ideas previas interfieren con lo que se enseña en la escuela teniendo como resultado que el aprendizaje sea deficiente, con importante pérdida de coherencia.

- Las ideas previas que corresponden a conceptos y no a eventos, se encuentran, por lo general, indiferenciadas, es decir, presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas (como en el caso de las ideas previas en torno a los conceptos de calor y temperatura).
- Las ideas previas no se modifican por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia.
- Es conveniente llevar a cabo experimentos e interrogar a los estudiantes acerca de sus interpretaciones para percatarse de la persistencia o modificación de sus ideas y apoyar su construcción conceptual.
- Los profesores, frecuentemente, comparten las ideas previas de los alumnos.
- Es necesario un auto-análisis por parte del profesor para saber si comparte ideas previas con sus estudiantes y por tanto actúe en consecuencia.
- Las ideas previas pueden servir de guía para formular estrategias de enseñanza.
- Es posible modificar las ideas previas por medio de estrategias orientadas a la reestructuración conceptual, y por lo tanto a la reestructuración de las representaciones.
- Es importante procurar que los estudiantes tomen conciencia de sus ideas previas para que puedan reflexionar sobre ellas y esforzarse por su transformación.
- Es importante hacer notar a los alumnos la necesidad de involucrarse en un proceso de construcción conceptual y modificar la actitud receptiva, en la que demandan del profesor la "respuesta correcta".

Finalmente, cabe señalar que las ideas previas, como toda representación o conceptualización que permite explicar o predecir un suceso, requieren para su reestructuración, o transformación, de un proceso complejo el cual puede incluir distintos factores y condiciones entre los que destacan: modificaciones en las representaciones que le definen, el reconocimiento de anomalías, la insatisfacción de las explicaciones o predicciones previas, y la comprensión, aceptación y motivación de encontrar otras

posibles explicaciones (Karmiloff-Smith, 1994; Pintrich, 1999; Pozo, 2002; Strike y Posner, 1985).

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, o bien se utilizan de manera indistinta, refiriendo a uno como sinónimo del otro (por ejemplo en la expresión: “tiene calor” la cual es comúnmente equivalente a: “tiene la temperatura alta”). 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 de acuerdo con esta visión 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). Investigaciones con niños pequeños que no han recibido una enseñanza formal sobre fenómenos termodinámicos, muestran que los niños han aprendido, a través de la experiencia, que ciertas cosas se sienten calientes al tocarlas y otras se sienten frías (Albert, 1978; Erickson, 1979; Cervantes, 2001). Se encontró, por ejemplo, que para niños de 4 a 5 años prevalece la noción del calor como una sustancia que poseen los objetos (Albert, 1978; Erickson, 1979). En edades posteriores se define al calor como un fluido que fluye entre los cuerpos (Erickson, 1979; Clough y Driver, 1985). Si bien estas conceptualizaciones sobre el calor se construyen durante la infancia, se ha visto que se mantienen por lo menos hasta los 16 años (Clough y Driver, 1985), edad en la que probablemente estas visiones son cuestionadas por situaciones que ya no pueden ser explicadas solamente por la vía sensorial. Sin embargo, algunas de las ideas intuitivas en torno al concepto de *calor* se mantienen incluso después de largos períodos educativos (Macedo y Soussan, 1985; Cervantes, 1987; Thomaz et al., 1995; Lang da Silveira y Moreira, 1996; Domínguez y García-Rodeja, 1998). Por ejemplo, la mayoría de los estudiantes de nivel medio-superior ignoran el hecho de que la temperatura del agua permanece constante mientras se mantiene en ebullición (Clough y Driver, 1985; Macedo y Soussan, 1985; Lang da Silveria y Moreira, 1996), o bien denotan al *calor* como la energía que se transfiere de un cuerpo a otro como resultado de una diferencia de temperatura (Cervantes et al., 2001), o definen al *calor* como una forma de energía y a la *temperatura* como una medida de la cantidad de esa energía presente en un cuerpo (Cervantes, 1987; Cervantes et al., 2001). De ahí que en el lenguaje coloquial, aún de académicos y estudiantes, se escuchen expresiones como: “tengo calor (o frío)”; o “cierra la puerta para que no se salga el calor (o se meta el frío)”. Incluso en la literatura

académica se llegan a encontrar expresiones tales como: “un sistema aislado no pierde calor”, en las cuales se denota al *calor* como un sustantivo u objeto, e incluso como sinónimo de *temperatura*.

La realidad es que el término científico de *calor* no refiere a un sustantivo. El *calor* no es un objeto o sustancia, y más formalmente no es una función termodinámica de estado (García-Colín, 1986). Sin embargo, fuera del contexto de la ciencia se considera al *calor* como una sustancia y al no tomar en cuenta el error en esta definición se complica la comprensión de fenómenos térmicos asociados a la misma (Fernandez, 1986; Cervantes, 1987; Chi, Slotta, y De Leeuw, 1994; Thomaz et al., 1995; Reiner, Slotta, Chi, y Resnick, 2000). Algunos autores han llegado a recomendar incluso el eliminar del vocabulario el sustantivo “*calor*”, pues de acuerdo con estos investigadores sería preferible llamarle “energía transferida debida a una diferencia de temperatura” o de plano sugerir un nuevo vocablo (Cervantes et al., 2001).

La mayoría de las investigaciones sobre las ideas intuitivas prevalecientes en torno al concepto de *calor*, agrupan dichas concepciones en cinco categorías principales (Thomaz et al., 1995; Lang da Silveria y Moreira, 1996; Reiner, Slotta, Chi, y Resnick, 2000):

1. El calor es alguna clase de sustancia.
2. Incapacidad para diferenciar entre calor y temperatura.
3. Confusión entre la temperatura y la sensación térmica de un objeto.
4. El suministro de calor a un cuerpo siempre produce un aumento de temperatura.
5. Falta de comprensión en el comportamiento de la temperatura en una transición de fase.

Es al hablar de procesos dinámicos que la palabra *calor* cobra validez, ya que el *calor* es una forma particular de transferencia de energía, y no es en sí mismo una forma de energía que un objeto pueda tener (García-Colín, 1986; Cervantes, 1987). Se puede obtener una mayor claridad sobre el término si sólo se utiliza para referirse a flujos de energía térmica como los que ocurren entre objetos que tienen distintas temperaturas. Así, el proceso, ya sea por conducción o radiación, por el cual la energía térmica se transfiere puede llamarse “*calor*”. El *calor* entonces se define como una forma particular de transferencia de energía a raíz de una diferencia de temperaturas. De ahí que algunos investigadores sugieran que para esclarecer la confusión conceptual se deba no sólo enfatizar que el *calor* no es un sustantivo (Cervantes et al., 2001), si no asociar también la definición de *calor* a una visión microscópica de la materia. Esta nueva percepción 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).

Con el fin de cerrar la brecha que existe entre las ideas previas o intuitivas y las nociones científicamente aceptadas, investigaciones anteriores han analizado los posibles factores que estarían contribuyendo a una reestructuración conceptual, y por tanto a un aprendizaje más efectivo en el cual el alumno logre distinguir e implementar las definiciones científicas en el entorno académico (Mayer, 1989b; Mayer y Sims, 1994; Kozma, 2000; Österlind, 2002; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo, 2002; Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou y Papademetriou, 2001). Algunas de estas investigaciones abordan el tema desde el análisis de las limitantes cognitivas que interfieren al identificar

a los fenómenos físicos como “procesos” o bien como “sustancias” u “objetos”, una situación muy común en la enseñanza en la física no sólo al referirse al concepto de *calor*, sino también al estudiar otros fenómenos como la corriente eléctrica, el movimiento oscilatorio y el concepto de fuerza, entre otros (Clough y Driver, 1985; Chi, Slotta y Leeuw, 1994; Slotta, Chi, y Joram, 1995; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Cervantes, De la Torre, Verdejo, Trejo, Córdova, y Flores, 2001). Otros autores especulan que una parte de la solución a esta falla en la conceptualización se encuentra en las metodologías de enseñanza y en las herramientas instruccionales, ya que éstas pueden llegar a influir en la percepción, y por lo tanto en la representación adecuada de los temas estudiados (Kozma y Russell, 2005; Mayer, 189b; Mayer y Sims, 1994; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Wiser y Amin, 2002). Tal podría ser el caso al utilizar textos como única herramienta didáctica, arriesgando la posibilidad de construir un modelo de la situación si no se logra ir más allá de la comprensión superficial de dicho escrito (Kintsch y van Dijk, 1978).

De lo anterior se desprende que esta investigación analice la efectividad de las herramientas de representación tradicionalmente utilizadas en la enseñanza de la física (textos ilustrados), versus los aprendizajes obtenidos mediante el uso de nuevas herramientas instruccionales, como es el caso de las tecnologías digitales interactivas. En otras palabras, esta investigación se hace la siguiente pregunta: ¿En qué medida pueden las herramientas instruccionales contribuir al esclarecimiento de las ideas previas, y qué efectos pueden llegar a tener en la construcción de los modelos mentales que sustentan a los conceptos?

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

La teoría de los modelos mentales sugiere que las personas forman representaciones y modelos mentales acerca del mundo físico en un esfuerzo por entender e interactuar de manera adecuada con éste (Craik, 1943; Jih y Reeves, 1992; Johnson Laird, 1980, 1983, 1988, 1996; Mayer, 1989^a; Paivio, 1975 y 1990). De acuerdo con esta teoría, los modelos mentales se construyen a través de la formación de representaciones o imágenes senso-perceptuales, las cuales a su vez se articulan a través del lenguaje; o bien a través de representaciones semánticas o proposiciones lingüísticas, que en ocasiones requieren ser “simuladas” o reproducidas perceptualmente en el espacio mental (Johnson Laird, 1980, 1983; Mayer, 1989a; Paivio, 1975, 1990). Dicho de otro modo y de acuerdo con Craik (1943):

El organismo desarrolla un modelo a pequeña escala de la realidad externa y de sus propias acciones posibles dentro de su cabeza, ello le permite probar varias hipótesis acerca del mundo y de sí mismo, y concluir cual es la mejor y más probable de entre ellas. Así mismo, este modelo le ayuda a prever situaciones probables antes de que éstas sucedan, al utilizar conocimientos de eventos pasados para modelar situaciones presentes o futuras. El construir modelos internos le permite al individuo reaccionar de manera mucho más completa, más segura y competente en todas las situaciones que se le presenten (Craik, 1943, Cap. 5, p. 61).

Cabe mencionar que existen similitudes conceptuales entre la teoría de los modelos mentales y la teoría de las imágenes mentales, en particular en lo que respecta a su incorporación al pensamiento y al razonamiento (Johnson Laird, 1980; Kirby y Kosslyn, 1990; Kosslyn y Pomerantz, 1977). En ambas teorías, las representaciones senso-perceptuales guardan una relación analógica (isomórfica) con el objeto físico, con lo cual se prescinde de la traducción semántica que requieren las proposiciones lingüísticas,

y se posibilita la operación, transformación y el análisis directo de los objetos representados. En este sentido, a diferencia de las representaciones meramente simbólicas, o semánticas, los modelos mentales que incorporan imágenes mentales transmiten de manera explícita e isomórfica la constitución y relaciones que sostiene el objeto representado en su propia constitución, y con otros objetos. En algunos casos se ha comprobado incluso, que la incorporación de imágenes mentales en el razonamiento presupone una ventaja para la resolución de problemas y la toma de decisiones, tal es el caso de los jugadores de ajedrez que visualizan mentalmente las jugadas anticipadas (Holding, 1985).

Los modelos mentales se pueden definir 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, y según el acceso y contacto que éste sostiene con contextos o herramientas culturales determinadas. En este sentido, los modelos mentales se articulan a través de una arquitectura fluída y multirepresentacional, y tendríamos que comprenderlos más como procesos cognitivos, que como entidades cognitivas (Thelen y Smith, 1994).

Por su parte, la teoría de la codificación dual (TCD) desarrollada por Paivio (1975, 1990) y retomada por Mayer en la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (1989a, 1991, 1994, 2005; Mayer y Moreno, 1998), propone que la apropiación perceptual y semántica de la información tiene lugar en la memoria de trabajo, una vez

que ésta ha sido capturada por los canales sensoriales involucrados: por lo general a través de la vía visual (imágenes y letras), y de la vía auditiva (sonidos y palabras). En particular la TCD propone que la codificación de la información en la memoria se lleva a cabo a través de la incorporación de dos tipos de elementos perceptuales-cognitivos a los que denomina *logogens e imagens*, respectivamente (Paivio, 1990). Los primeros hacen referencia a las proposiciones semánticas, mientras que los últimos a imágenes mentales o representaciones perceptuales, y ambos tipos de representaciones funcionan de manera conjunta mediando la adquisición de la información verbal y no-verbal, respectivamente (Paivio, 1990). Al articularse ambas informaciones en la memoria de trabajo es que se genera una arquitectura mental integral del fenómeno experimentado, gestandose así un modelo mental representativo de la información percibida (Figura 1).

Si consideramos a las tecnologías digitales como la fuente de estimulación e información, se puede entonces establecer un paralelismo entre la TCD y el procesamiento perceptual y cognitivo, y la apropiación de la información que ocurre durante el uso dichas tecnologías (Mayer, 1989a, 1991, 1994, 2005; Mayer y Moreno, 1998).

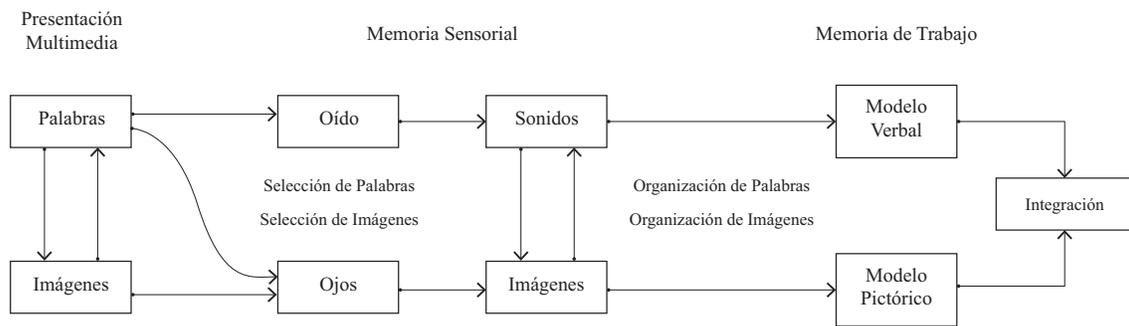


Figura 1. Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (adaptado de Mayer, Heiser y Lonn, 2001, p.190).

En ese sentido, se ha observado que las capacidades de retención y recuperación mnémica disminuyen cuando la información comprende únicamente palabras abstractas (sin asociación directa a imágenes u objetos específicos), en comparación a cuando se recuerdan palabras concretas (con asociación directa a objetos o a imágenes de objetos), y que estas aptitudes mejoran si las palabras se acompañan de imágenes, o si se presentan solamente imágenes (Mayer y Anderson, 1991; Mayer y Sims, 1994). Adicionalmente, se encuentra que las palabras abstractas son más difíciles de codificar de manera no-verbal, es decir, de representar perceptualmente en el espacio mental (Kirby y Kosslyn, 1990; Mayer y Sims, 1994). De ahí que cuando la información se presenta en formatos multimedia (información verbal e imágenes de manera conjunta), se favorece en general el procesamiento cognitivo, y en particular se fortalecen funciones como la memorización, la recuperación de la información y la toma de decisiones (Mayer y Anderson, 1991; Mayer y Sims, 1994; Mayer y Moreno, 1998; Paivio, 1975). Lo anterior corrobora las ventajas que propone la TCD para la representación integral de la información en el espacio mental.

De lo anterior se desprende que el representar mentalmente conceptos y procesos tan complejos y abstractos como lo son el calor y la temperatura resulte en representaciones o modelos mentales no siempre exitosos, o probablemente confusos, en particular si estos conceptos se enseñan en formatos abstractos o fragmentados (exclusivamente texto o imágenes estáticas, por ejemplo), ya que las proposiciones no guardarán correspondencia con su representación perceptual, o viceversa. De ahí que habría que encontrar sistemas y formatos de representación que favorezcan y eficienten la comprensión y el aprendizaje de conceptos tan complejos como los antes mencionados.

Investigaciones anteriores han propuesto a las herramientas digitales como benéficas y eficaces para el aprendizaje y la resolución de problemas en el campo de las ciencias naturales, argumentando a su favor la capacidad que ofrecen para “visualizar” los fenómenos estudiados (Aldrich, 2003; Jonassen y Carr, 2000; Kozma, 2000; Mayer, 1989a, 1989b; Mayer y Sims, 1994; Rieber, 1996; Taylor y Chi, 2006; Wiser y Amin, 2002). Las múltiples posibilidades de representación, de comunicación y narración, y de contextualización que ofrecen las tecnologías informáticas presuponen en estos casos una ventaja para el aprendizaje, y un cambio cualitativo en la forma de enseñar, ya que estas herramientas logran bajo escenarios didácticos bien definidos facilitar el procesamiento, asimilación y movilización de la información (Coll, 2004; Colvin y Mayer, 2008; Diaz-Barriga, 2005; Hernández, 2009; Jonassen y Carr, 2000; Soussan, 2003). Probablemente, la posibilidad de proveer al usuario con múltiples formatos de representación sobre un mismo fenómeno, le permite poner en acción diversos recursos perceptuales-cognitivos al mismo tiempo y generar así un modelo mental más integral sobre la información estudiada.

Por lo general cuando se emplean herramientas digitales de representación para la enseñanza, se recurre a formatos basados principalmente en imágenes que pueden o no estar animadas, y éstas se acompañan usualmente con audio y/o con textos explicativos; los formatos más usados, por ejemplo, son los videos animados o la presentación de imágenes sucesivas acompañadas por una narración, o una lectura explicativa (Colvin y Mayer, 2008; Kozma, 2000; Mayer, 1989a, 1989b; Mayer y Sims, 1994). Sin embargo, en la presente investigación se optó por utilizar una simulación digital interactiva como formato de representación, ya que este tipo de herramienta permite algo más que sólo

visualizar gráfica o icónicamente la información, presupone interactuar, controlar y predecir el comportamiento de un fenómeno en tiempo real a través de la manipulación explícita de las variables que describen a dicho suceso (Colvin y Mayer, 2008; Jonassen y Carr, 2000). Con este tipo de herramienta suponemos que se puede incluso prescindir del uso explícito de texto o audio narrativo, en vista de las posibilidades de interacción y de la retroalimentación causal inmediata que proporciona la interactividad. Adicionalmente, una simulación es el formato ideal para representar procesos dinámicos, pues logra ilustrar fehacientemente el tránsito y la variabilidad de los estados que describen a tal proceso (Colvin y Mayer, 2008), proporcionando al usuario una mayor inmersión en el tópico estudiado al ampliar sus capacidades perceptuales, cinestésicas y cognitivas, convirtiéndose en una especie de extensión y/o prótesis de la mente (Clark, 2001; Hernández, 2009; Jonassen y Carr, 2000; Kozma y Russell, 2005). Por lo tanto, las simulaciones permiten al usuario visualizar y aprender acerca del fenómeno estudiado a través de modificar el despliegue de una o más variables descriptivas del sistema o proceso, o a través de la toma de decisiones que afectan el comportamiento del mismo (Alderich, 2003; Rieber, 1996). En otras palabras, las simulaciones permiten el aprendizaje a través de la comprobación de hipótesis mediante la manipulación activa de los elementos que definen al fenómeno estudiado; en ese sentido este tipo de herramientas estarían favoreciendo la construcción de conceptos a través de la abstracción reflexiva (Piaget, 1969) .

Si como se mencionó al inicio de esta investigación el proceso de aprendizaje depende de la construcción de modelos mentales que representan a un cierto fenómeno, y que ello a su vez depende de las posibilidades de representación mental (perceptual y

semántica), las adecuaciones perceptuales provistas por las tecnologías de representación digital tienen el potencial de contrarrestar las limitantes de la percepción natural, y favorecer la forma y la definición que adopten los modelos mentales asociados a fenómenos naturalmente imperceptibles, acercándolos más a su definición científica, y por lo tanto ayudando a la movilización exitosa de dichos aprendizajes durante la resolución de problemas (Colvin y Mayer, 2008; Kozma y Russell, 2005; Mayer, 1989a, 1989b; Mayer y Sims, 1994; Taylor y Chi, 2006; Torres Montealban y Ruiz Chavarria, 2006; Wiser y Amin, 2002).

Cabe mencionar que lo anterior difiere fuertemente de los apoyos instruccionales tradicionalmente utilizados en la enseñanza de la ciencia, en particular se diferencia de herramientas instruccionales tales como el texto o el texto ilustrado. La presentación, acceso y despliegue de la información en un texto ilustrado responde, por lo general, a una organización lineal, además de que el sistema de representación de la información en este tipo de herramienta se centra en el formato simbólico, o bien se vale de gráficos estáticos, inmóviles e inmutables, que en el mejor de los casos sirven para ilustrar objetos o relaciones entre objetos, pero no siempre procesos (Colvin y Mayer, 2008; Glenberg y Langston, 1992). A diferencia de la simulación digital, el texto ilustrado no permite visualizar ni transformar interactiva y dinámicamente la información en tiempo real (Jonassen y Carr, 2000; Kozma y Russell, 2005; Wiser y Amin, 2002). El uso de un texto ilustrado requiere que los eventos representados semántica e incluso gráficamente sean adicionalmente imaginados (representados perceptualmente), y en el mejor de los casos animados, mentalmente, proceso que como se dijo antes no siempre resulta efectivo y/o veraz con la realidad otológica de la información estudiada.

De lo anterior, surge la necesidad de cuestionar las herramientas tradicionales para la enseñanza y la representación de los fenómenos físicos, y analizar las posibilidades de carácter cognitivo, motivacional, instruccional y socioculturales que pudieran ofrecer las simulaciones digitales interactivas en la educación de los fenómenos físicos.

METODOLOGÍA

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; Wisner 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 y materiales de trabajo que representaron de forma verbal, gráfica e interactivamente a los fenómenos a estudiar durante la sesión didáctica. Los materiales experimentales se construyeron a partir de información previamente recabada en relación a las ideas previas de los estudiantes de segundo de secundaria en torno a los fenómenos revisados.

Objetivo

Comparar los aprendizajes alcanzados sobre los fenómenos de calor y temperatura, al ser éstos representados a través de una simulación digital interactiva y a

través de un texto ilustrado, analizando el uso que se da a dichos conceptos durante la resolución de problemas asociados a los mismos valiéndose de las herramientas instruccionales antes descritas, y habiendo recibido o no instrucción académica previa acerca de dichos fenómenos.

Participantes

En este estudio 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 y 32 grupos en total.

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, y de acuerdo al grado escolar. Se analiza también la variación en la terminología que refiere a los conceptos utilizados para responder a los problemas planteados.

Sesión Didáctica

Las sesiones de trabajo se dividieron en dos partes: Al inicio del ciclo escolar se recogieron en un cuestionario diseñado para tal fin las ideas previas de los alumnos de segundo de secundaria en torno a los conceptos de calor y temperatura, y fenómenos asociados. En seguida, se procedió a la construcción de la simulación digital interactiva y del texto ilustrado, tomando en cuenta las ideas previas de los estudiantes para tratar de desentrañar en los materiales instruccionales las incongruencias o controversias encontradas en el cuestionario. Posteriormente, tuvieron lugar las sesiones experimentales donde fueron utilizadas ambas herramientas.

La sesión didáctica experimental se diseñó según los principios del modelo socioconstructivista de enseñanza y aprendizaje, lo mismo que el diseño de los materiales instruccionales (Coll, 2004; Díaz Barriga, 2005). A lo largo de estas sesiones se trabajó en equipos con el fin de generar una atmósfera propicia para el análisis y la discusión de las ideas y los problemas planteados en los materiales de trabajo, así como para favorecer el intercambio de opiniones en torno al uso de las herramientas instruccionales. No obstante, la resolución del Cuestionario de Ideas Previas se llevó a cabo de manera individual. Durante las sesiones experimentales, se permitió a los alumnos apropiarse *a modo* de las herramientas de trabajo, y a utilizarlas según la propia valoración y organización del equipo conformado. La resolución de los problemas trabajados durante

estas sesiones también ocurrió en un ambiente de intercambio e interactividad social entre los miembros de cada equipo.

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 les solicitó resolver una serie de preguntas y problemas que fueron presentados en un Cuaderno de Trabajo y en una Memoria de Trabajo. Esta última se resolvió de manera individual.

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 y colaboración entre los miembros de cada equipo. Se le asignó a cada triada de alumnos una computadora y un texto según fuera el caso.

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 asignados por la escuela para la impartición de la asignatura de Física.

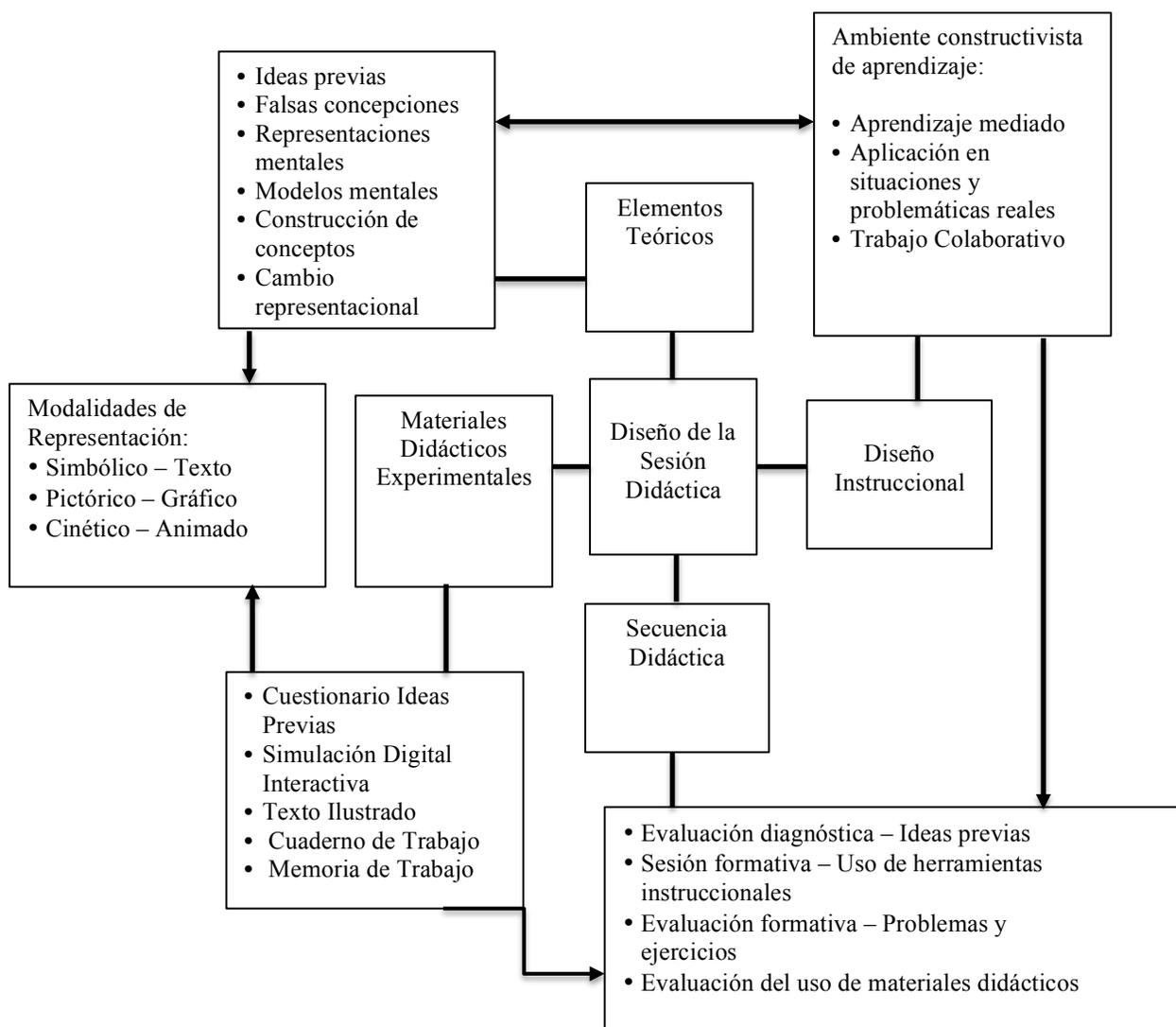


Figura 2. Diagrama del diseño instruccional y secuencia didáctica.

Descripción de los Materiales Experimentales

En primera instancia se diseñó un cuestionario que tuvo como objetivo recoger las ideas previas que tienen los estudiantes de segundo de secundaria sin instrucción previa en física sobre los conceptos de calor y temperatura, y fenómenos asociados. A partir de los resultados obtenidos en el cuestionario se construyeron dos herramientas instruccionales (el texto ilustrado y la simulación digital interactiva), y materiales para ser trabajados en conjunto con las herramientas instruccionales: Un cuaderno de trabajo y una memoria de trabajo.

A continuación se describe cada uno de los materiales experimentales:

Cuestionario de Ideas Previas

El Cuestionario de Ideas Previas se construyó para recabar las ideas intuitivas que tienen los estudiantes de secundaria que no han recibido instrucción académica formal acerca de los conceptos de calor y temperatura, así como la aplicación de dichos conceptos en la resolución de problemas sencillos relacionados a los mismos (el cuestionario completo se encuentra en el Anexo I). Este cuestionario se basó en el *Test Sobre Concepciones Científicas sobre Calor, Temperatura y Energía Interna* de Lang da Silveria y Moreira (1996) para alumnos de educación media superior y superior; no obstante, se hicieron las modificaciones pertinentes según las características de la población experimental que participó en esta investigación. El cuestionario retoma también algunas de las observaciones en torno a las ideas previas y concepciones sobre calor y temperatura que tienen los estudiantes de educación media superior según las investigaciones de Clough y Driver (1985), Cervantes (1987) y Cervantes et al. (2001).

En este instrumento se pregunta también a los alumnos acerca de su motivación hacia la asignatura de física y la relevancia que otorgan a esta materia, así como sobre el origen de sus concepciones previas en torno a los tópicos revisados, si son experienciales o bien si proceden del ámbito popular o académico.

El cuestionario se construyó en un formato semi-estructurado: se combinaron preguntas abiertas con preguntas de opción múltiple. Las preguntas remiten por un lado a definiciones simples sobre los conceptos de calor, temperatura y fenómenos asociados, y por el otro, a problemas conceptuales que requieren de la aplicación de los conceptos de calor y temperatura a situaciones reales.

Herramientas Instruccionales

A partir de los resultados obtenidos con la aplicación del Cuestionario de Ideas Previas, se eligieron cuatro aspectos clave que debían incluirse en ambas herramientas instruccionales de tal manera que los conceptos de calor y temperatura pudieran ser bien entendidos. Estos aspectos fueron los siguientes:

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 los trabajos de Aldrich (2003), Betrancourt (2005), Colvin y Mayer (2008), Mayer, Heiser y Lonn (2001), Mayer (2005) y Rieber (1996), considerando los efectos

perceptuales y cognitivos, positivos y detrimentales, que se advierten en estas investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje utilizando tecnologías digitales.

El programa de la simulación cuenta con cuatro pantallas (Figura 3a y 3b) 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 alcanzarse un 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 en computadoras PC. El archivo se instaló en cada una de las máquinas PC que fueron provistas por el centro escolar.

Texto Ilustrado (TXT)

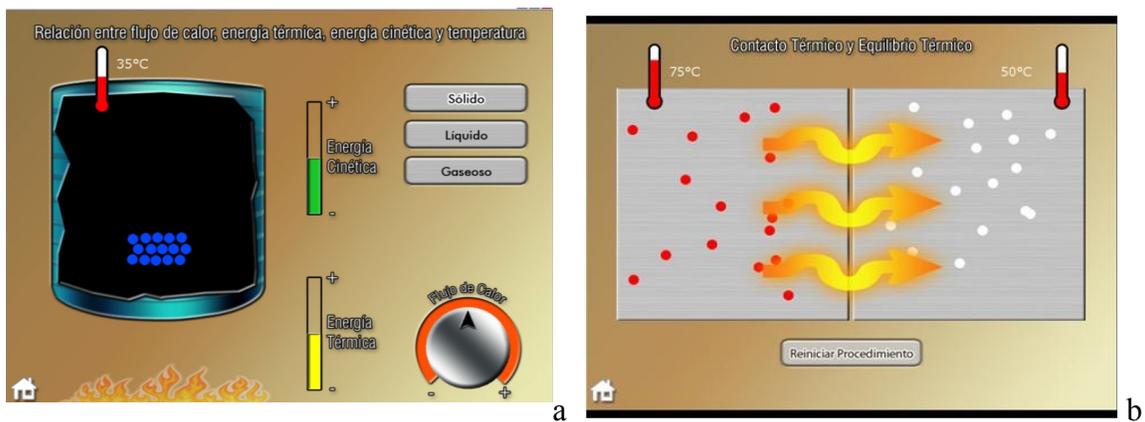
Se construyó un texto de cinco cuartillas en el cual se explicitan con precisión los conceptos de calor y temperatura, así como los fenómenos asociados a estos conceptos, como la energía térmica y la energía cinética promedio. Los contenidos del texto

corresponden con el nivel y el desglose curricular de las temáticas comprendidas por el programa nacional de segundo de secundaria aprobado por la Secretaría de Educación Pública (2011) para la asignatura de Física.

El texto ilustrado se encuentra dividido 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 texto incluye ilustraciones que acompañan de forma contigua a las descripciones escritas (Figura 4a y 4b), conforme a las pautas de diseño que propone Mayer (1989b) para la construcción de un texto científico ilustrado. El documento escrito se imprimió y encuadernó, una copia del mismo se puede encontrar en el Anexo VI.



Figuras 3 a y b. 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 es una propiedad que se puede medir en los sistemas físicos a nivel macroscópico, pero es producto de un fenómeno que ocurre en el nivel microscópico: representa a la energía cinética promedio de las partículas que componen a un cierto objeto o sustancia. La energía cinética, a su vez, está asociada al movimiento de las partículas que componen a ese sistema u objeto (Figura 2).

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 ($^{\circ}\text{C}$)

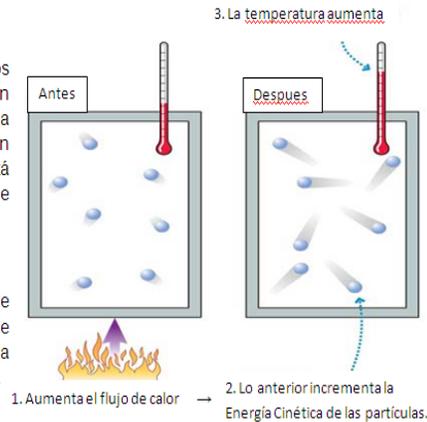


Figura 2. Relación entre Energía Cinética y Temperatura.

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.

Si por el contrario existe una diferencia de temperaturas entre las dos sustancias, una se encuentra a mayor temperatura que la otra, la combinación final tendrá la temperatura promedio de las dos temperaturas iniciales, siempre y cuando tengamos la misma cantidad de ambas sustancias (ver Figura 5).

Cuando las dos sustancias se encuentran a temperaturas distintas, la mezcla de ambas modifica también la energía cinética de las partículas que componen a estas sustancias. El contacto entre ambas establece un flujo de calor, o transmisión de energía térmica, de la sustancia de mayor temperatura a la sustancia con menor temperatura.

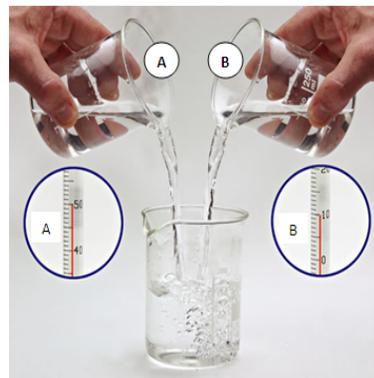


Figura 5. Propiedades aditivas de la temperatura.

Si la temperatura de $A \neq B$, la temperatura final es el promedio de las temperaturas de A y B, si la cantidad de sustancia A es igual a la de B. Si la temperatura de $A=B$ entonces la temperatura final es la misma.

b

Figuras 4 a 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 la resolución de problemas asociados a los mismos (ver Anexos II y III).

El cuaderno consta de 25 preguntas 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).

Se diseñó un cuaderno de trabajo específico para usarse con el simulador y otro para ser utilizado con el texto ilustrado. Ambos materiales preguntaban sobre los mismos conceptos y contenían los mismos problemas a resolver, no obstante se hicieron 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 del simulador.

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 aprendizaje y la resolución de los ejercicios del Cuaderno de Trabajo (ver Anexos IV y V). Aquí se preguntó acerca del uso que le dieron los participantes a los materiales instruccionales, cómo y con qué frecuencia fueron consultados al momento de contestar

los reactivos del Cuaderno de Trabajo y acerca de los elementos que tuvieron mayor o menor relevancia y participación, que ayudaron más o menos durante la resolución de los reactivos planteados en el Cuaderno de Trabajo.

RESULTADOS

A continuación se reportan los resultados del Cuestionario de Ideas Previas, y posteriormente se describe la dinámica de la sesión didáctica y se desglosan los resultados del análisis cuantitativo de los reactivos del Cuaderno de Trabajo. Más adelante se presenta la información relativa a la Memoria de Trabajo.

Resultados del Cuestionario de Ideas Previas

Al inicio del ciclo escolar, se aplicó el Cuestionario de Ideas Previas a 45 alumnos de segundo de secundaria (21 mujeres y 24 hombres), de en promedio 14 años de edad, divididos en tres grupos según la propia organización de la institución. La aplicación de los cuestionarios duro en promedio una hora para cada grupo. Los grupos fueron entrevistados en días diferentes según la disponibilidad y autorización de la escuela. La aplicación del cuestionario se hizo al inicio del ciclo escolar previamente a que el docente introdujera los temas de calor y temperatura en clase.

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la aplicación del cuestionario, se pudo observar que: 95% de los estudiantes cursan la asignatura de física por primera vez (el 5% restante dice haber cursado la asignatura en alguna escuela anterior, en un grado inferior al actual); 78% de los estudiantes consideran que la física es una asignatura difícil; y 11% de los estudiantes dice tener conocimientos previos en física (los cuales en su mayoría se obtuvieron mediante la auto-documentación, a través de programas de

televisión o revistas de divulgación, como National Geographic, etc.). Ninguno de los estudiantes encuestados había reprobado el año que cursaba, ni la materia de física.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los reactivos incluidos en el cuestionario. El desglose de los resultados se hará según las tres secciones del cuestionario: I. Preferencia y motivación por la física y la ciencia en general, II. Preguntas conceptuales sobre calor y temperatura y III. Problemas.

I. Preferencia y motivación por la Física y la ciencia en general

En lo referente a la preferencia y motivación que muestran los alumnos hacia la asignatura de Física, se observó que del total de alumnos al 16% no le gusta definitivamente esta asignatura, mientras que el 42% dice tener una preferencia media por la misma, e igualmente un 42% reporta tener un gusto amplio por la materia (Figura 5). Mientras que al 15% de los estudiantes les desmotiva definitivamente el cursar la materia de física, y al 48% les motiva medianamente y al 37% les motiva mucho (Figura 6). Sin embargo, el 67% de los alumnos reportó una preferencia mediana por las asignaturas de ciencia en general, y 26% dice tener un gusto amplio por este tipo de asignatura, y sólo un 7% dice no gustar definitivamente este tipo de materias (Figura 7).

En lo referente a la motivación por los cursos de ciencias, 82% de los estudiantes dijeron sentir una motivación mediana, al 16% les motiva mucho la ciencia, y únicamente al 2% les desmotiva este tipo de asignaturas (Figura 8).

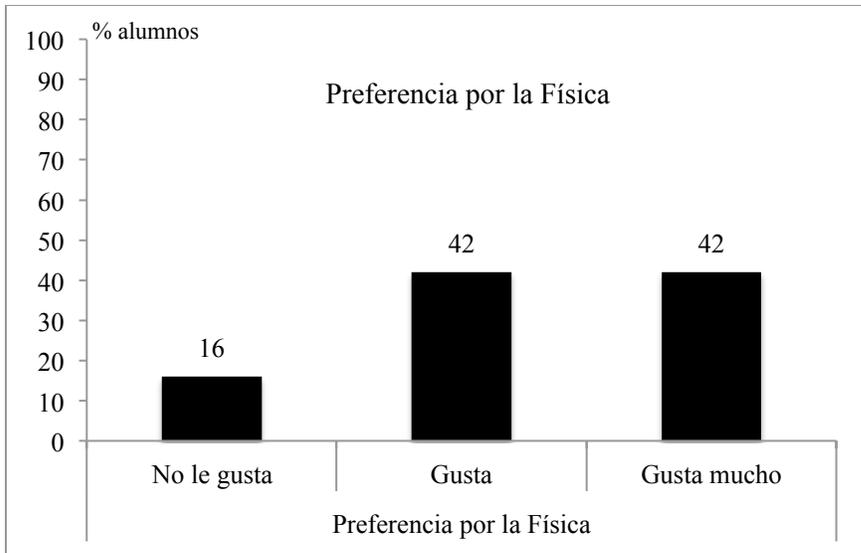


Figura 5. Preferencia por la asignatura de Física.

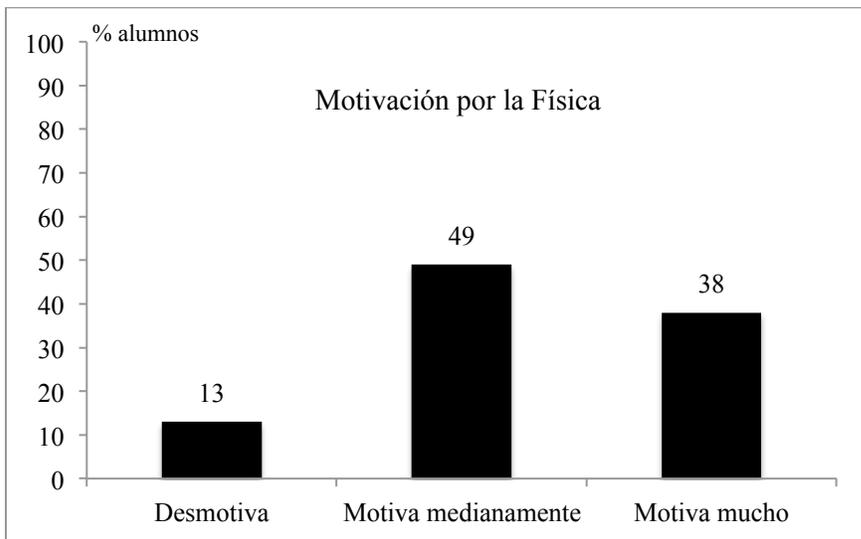


Figura 6. Motivación por la asignatura de Física.

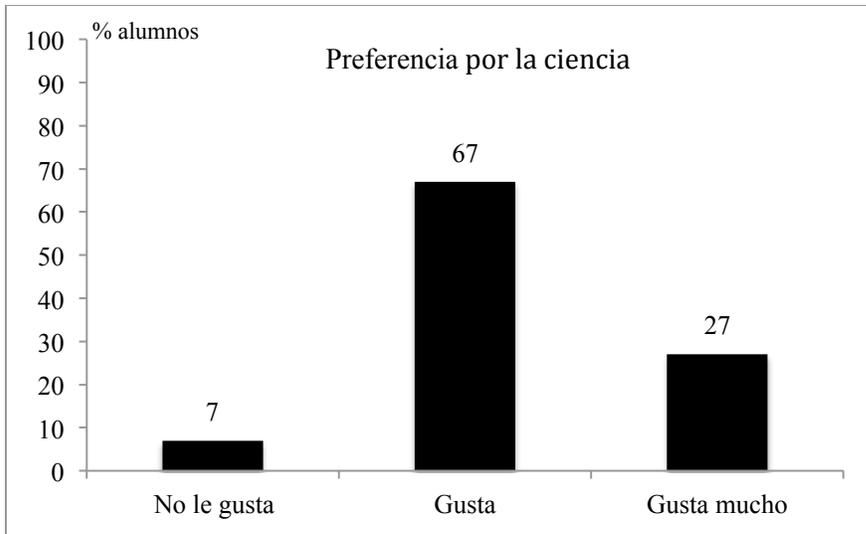


Figura 7. Preferencia por las asignaturas de ciencias en general.

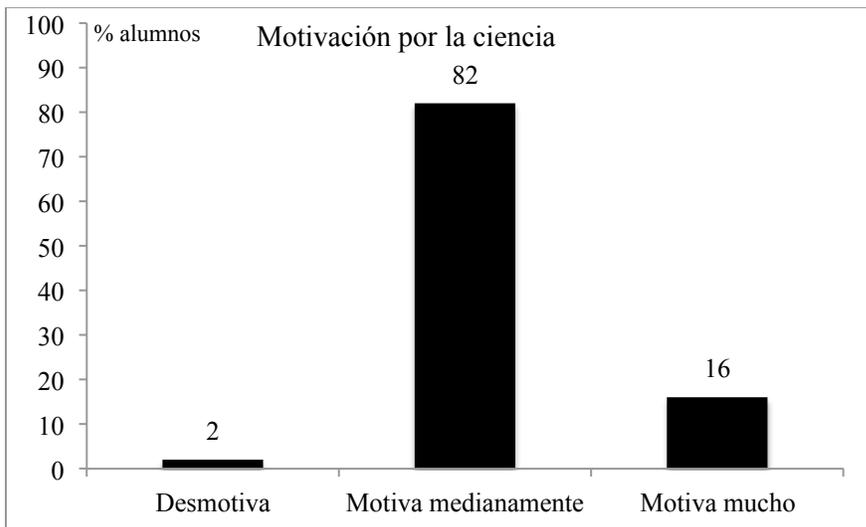


Figura 8. Motivación por las asignaturas de ciencias en general.

II. Preguntas Conceptuales sobre Calor y Temperatura

En la primera pregunta, donde se cuestionaba sobre la existencia de calor en los cuerpos, la mayoría de los alumnos (64%) definió correctamente la existencia de calor en función de la transferencia de energía (Figura 9), aunque en la mayoría de los casos no hubo justificación a esta respuesta, salvo un alumno quien explicó que: “se trata de la transferencia de energía cinética”. Prácticamente la mitad de los estudiantes (47%)

adjudicaron la existencia de calor a cualquier cuerpo, siendo la justificación más prominente a esta respuesta que: “existe calor incluso en animales con sangre fría, como los reptiles”; o bien explicando que: “todos los cuerpos tienen temperatura”. Esta última explicación pone de manifiesto la confusión prevaleciente entre los conceptos de calor y temperatura.

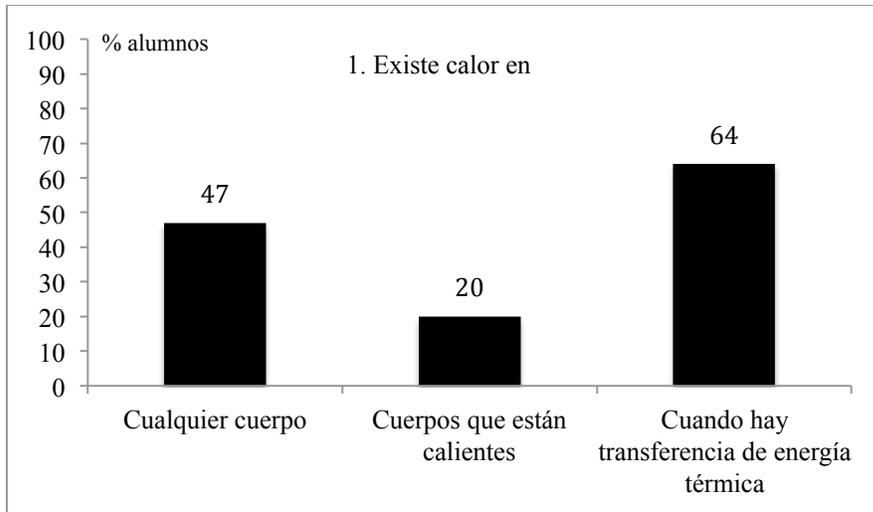


Figura 9. Respuestas a la pregunta 1 del Cuestionario de Ideas Previas.

Sobre la definición de calor (segundo reactivo), más de la mitad de los estudiantes (57%) optaron por definirle como la energía cinética de las moléculas (Figura 10). Sin embargo, en la mayoría de los casos la respuesta carecía de justificación, salvo algunos alumnos quienes explicaron que: “el movimiento produce calor”, o bien que: “la fricción que producen los choques entre moléculas producen calor”. 33% de los estudiantes optaron por definir al calor como la energía contenida en un cuerpo, argumentando en la mayoría de los casos que: “la energía produce calor,” y sólo el 27% definió correctamente al calor como la energía transmitida por medio de una diferencia de temperaturas. No obstante, la principal justificación a esta última respuesta aludía al

ejemplo empírico de que: “cuando sube la temperatura corporal hay calor,” denotando nuevamente la confusión conceptual entre calor y temperatura.

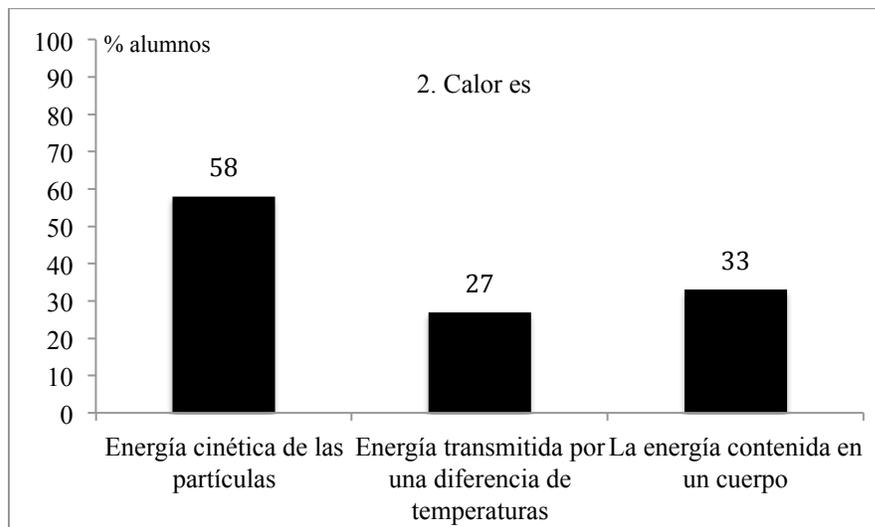


Figura 10. Respuestas a la pregunta 2 del Cuestionario de Ideas Previas.

A la tercera pregunta, definición del concepto de temperatura, prácticamente la mitad de los participantes (49%) contestaron que la temperatura es una medida del calor (Figura 11). Justificando esta definición mediante los argumentos de que: “a menor temperatura menos calor”, o bien, “cuándo hace frío hay menos temperatura, por lo tanto menos calor”, o “el termómetro mide cuánto calor tienes, y por lo tanto cuánta temperatura”. Así mismo, 29% de los alumnos contestaron que la temperatura es una medida equivalente al calor. La preferencia por esta respuesta y las justificaciones anteriores dan nuevamente testimonio de la ambigüedad reiterada entre los conceptos de calor y temperatura, y sobre todo de la creencia popular de que la temperatura mide la cantidad de calor, asignándole a éste último propiedades de objeto medible, y no de un proceso termodinámico. Sólo el 33% de estudiantes definieron correctamente la temperatura como el indicador de la cantidad de energía cinética, en su mayoría justificando su elección debido a lo complicado que sonaba la respuesta; salvo un

participante quien indicó que: “el movimiento genera calor y hay mayor temperatura cuando hay movimiento.”

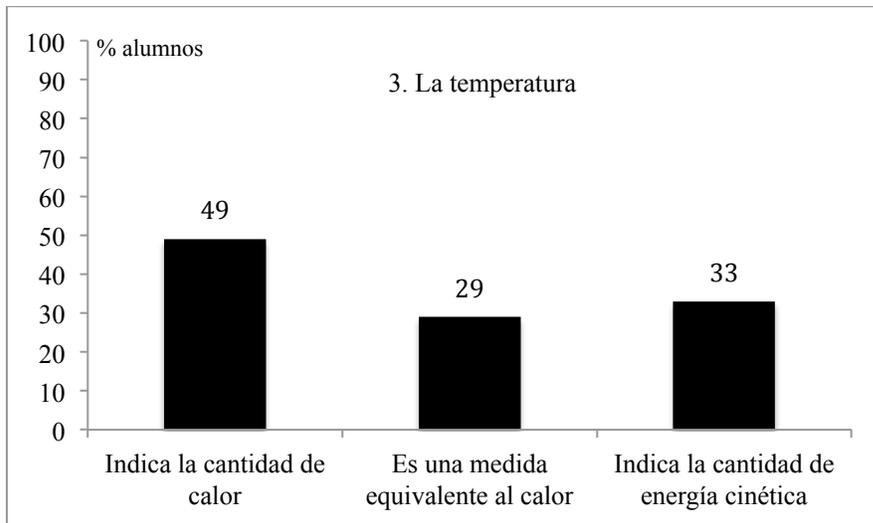


Figura 11. Respuestas a la pregunta 3 del Cuestionario de Ideas Previas.

La respuesta a la pregunta cuatro fue prácticamente unánime, 78% de los alumnos contestaron que en una habitación que no haya sido calentada o refrigerada durante varios días la temperatura de los objetos de metal será menor a la temperatura de los objetos de madera (Figura 12). Prácticamente ningún estudiante optó por decir que la temperatura de los objetos de metal es igual a la del resto de los objetos (sólo cinco estudiantes), o que ningún objeto presenta temperatura (cinco estudiantes también). Hubieron variadas explicaciones a la preferencia por la primera respuesta, pero la mayoría de ellas están relacionadas a la asignación intuitiva de propiedades a los materiales que se mencionan en la pregunta: “la madera guarda más calor que el metal”; “cada objeto tiene distinta textura y distintas moléculas y eso hace que cada objeto tenga su propia temperatura”; “la madera es buena conductora y se conecta con el calor”; “el metal guarda mejor el frío porque es duro y rígido”; “la madera tiene más energía cinética que el metal”. Así mismo,

una gran mayoría de las justificaciones se basaron en la experiencia empírica, o sensorial, que han tenido los participantes con los objetos de metal y las variaciones de temperatura: “el metal siempre ha sido frío y la madera caliente más”; “en mi cuarto los objetos de metal siempre están más fríos que los de madera”, etc.

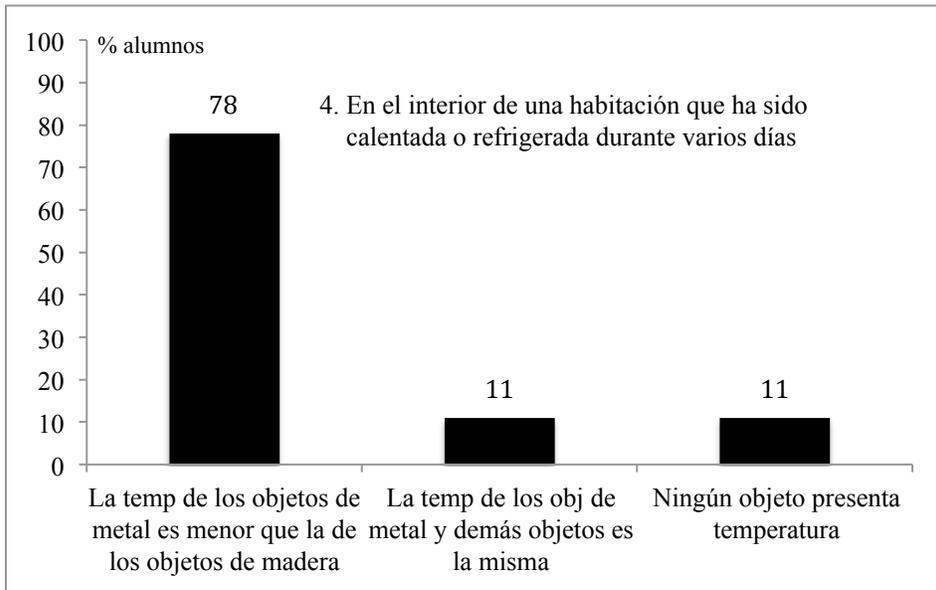


Figura 12. Respuesta a la pregunta 4 del Cuestionario de Ideas Previas.

De las justificaciones otorgadas a la primera respuesta, resulta interesante subrayar que a pesar de que se consideran como recurso argumentativo supuestas propiedades de los materiales, hay escasa referencia a las propiedades atómicas o microscópicas de la materia, aún cuando los estudiantes ya cuentan con algunos conocimientos en este dominio dado que es el tema inicial del curso. Lo anterior podría estar evidenciando una desconexión cognitiva entre los fenómenos microscópicos y los de orden sensorial (empírico), o macroscópicos, misma que podría estar ligada a las formas utilizadas para representar los fenómenos físicos durante su enseñanza.

A la pregunta cinco, 53% de participantes contestaron que ambos cuerpos tendrían, después de cierto tiempo, la misma temperatura que el ambiente circundante,

33% supusieron erróneamente que la temperatura final sería la suma de las temperaturas iniciales de ambos cuerpos, y 20% creyó que dado que el cuerpo B tenía menor temperatura esta última sería la temperatura final de ambos cuerpos (Figura 13). A la primera respuesta, las justificaciones sobresalientes fueron aquellas que predicen una pérdida inminente de calor por parte de ambos bloques, o bien un enfriamiento posterior de los mismos. En ambos casos, las explicaciones reflejan un conocimiento intuitivo de la primera ley de la termodinámica, pero sin llegar a utilizar correctamente los conceptos de calor y temperatura, pues se sostiene la creencia de que lo que se pierde es calor, o bien se gana frío. En tanto que las explicaciones en torno a la tercera respuesta recaen en la falsa suposición de que las temperaturas se suman, pero no consideran los efectos de las diferencias de temperatura entre los cuerpos y el ambiente.

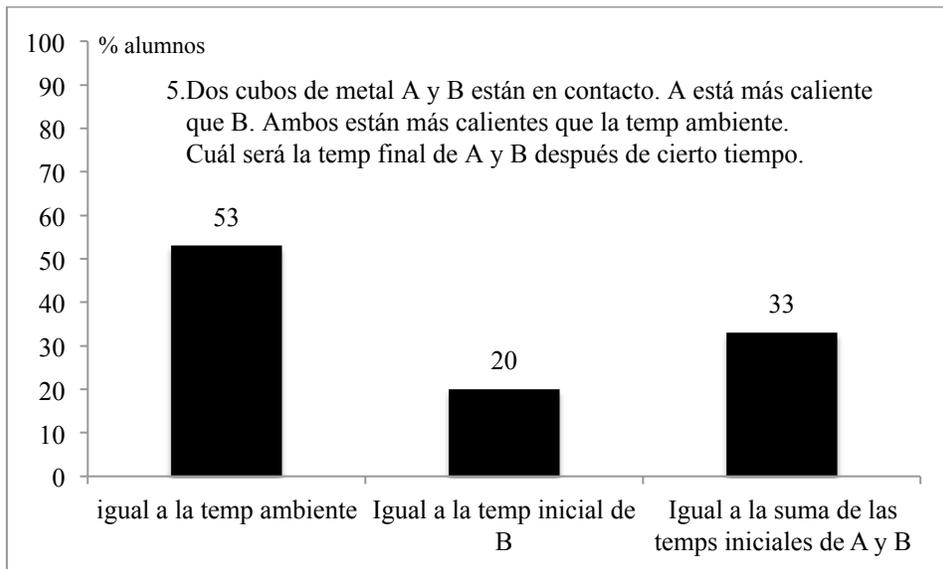


Figura 13. Respuestas a la pregunta 5 del Cuestionario de Ideas Previas.

La última pregunta de la sección de opción múltiple trataba nuevamente la relación entre la estructura molecular, atómica, de los cuerpos y la variación de temperatura. Ante la pregunta de por qué el mosaico se siente “frío” y la alfombra no en una misma habitación, la gran mayoría de los alumnos (78%) contestó que esto era debido a que la alfombra emite más calor que el mosaico (Figura 14). Cinco alumnos optaron por responder que el mosaico es frío y la alfombra no, mientras que el 20% contestó correctamente que el mosaico es mejor conductor de calor que la alfombra. En cuanto a las explicaciones sobre la respuesta reiterada, varios participantes aseveraron incorrectamente que “la alfombra es mejor conductor de calor que el mosaico”, o bien que “la alfombra produce más fricción y por lo tanto más calor”, “el mosaico está hecho de cerámica que es fría y la alfombra de tela que nos protege del frío”, “la alfombra produce más energía que el mosaico”; o sobre el material de la alfombra: “la alfombra tiene “algo” que hace que atrape el calor”, “los pelos de la alfombra guardan calor y la superficie plana del mosaico no lo hace”, “el material de la alfombra logra encapsular el calor, pero el del mosaico no”. Algunas de las justificaciones a la respuesta correcta fueron: “el mosaico conserva menos la temperatura”, “el material del mosaico no guarda tanto calor como la alfombra, tiene una temperatura más baja”, o bien “el mosaico tiene una superficie plana por eso no conserva calor”.

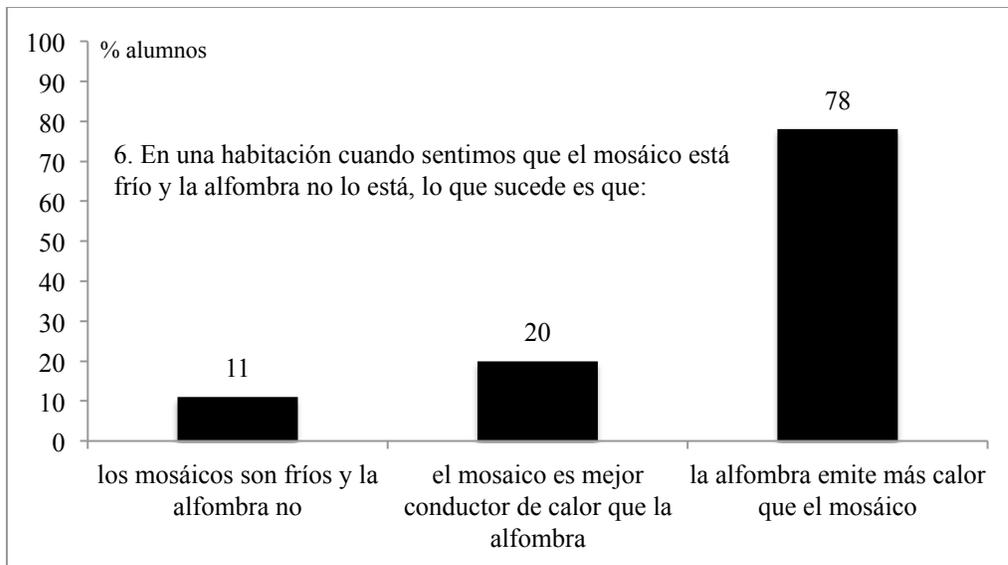


Figura 14. Respuestas a la pregunta 6 del Cuestionario de Ideas Previas.

Las justificaciones a las respuestas muestran una insistencia por atribuir propiedades de algún tipo a los materiales que componen tanto a la alfombra como al mosaico. Estas propiedades a su vez permiten la producción, conducción, liberación o aislamiento del calor. No hubo explicaciones que hicieran referencia a la temperatura en relación a la energía cinética de las partículas, y ninguna toma como referente la estructura microscópica de los materiales. Nuevamente, se constata una desconexión ontológica entre el acto sensorial y los conceptos científicos que describen a los sucesos físicos.

III. Problemas

Pregunta 7: Imagina que se tienen dos cubos del mismo tamaño, uno hecho de madera y otro hecho de metal. Ambos han estado en la misma habitación durante varias horas. ¿Cómo piensas que sería la temperatura del cubo de madera en comparación con el cubo del metal? Explica tu respuesta.

89% de los alumnos respondieron que el bloque de metal tendría menor temperatura que el bloque de madera. 11% contestaron lo contrario.

Las explicaciones en torno a ambas respuestas se apoyaron en argumentos relacionados a las experiencias empíricas, o sensoriales, que han tenido los participantes con estos materiales. En otros casos los alumnos aseguraron que la madera tiene la propiedad de “guardar” el calor, mientras que el metal la propiedad de “guardar” el frío. En esta misma línea de razonamiento, los participantes reportaron que el metal no “absorbe” el calor tan bien como la madera.

Únicamente dos estudiantes explicaron que la razón por la cual el metal estaría más frío es porque el metal es mejor conductor de calor.

Nuevamente, las referencias a los estados microscópicos de la materia y su relación con la variación de la temperatura fueron escasas o nulas. Por el contrario, las referencias en torno al calor, o en su caso al frío, como objetos o sustancias que los objetos guardan o absorben fueron repetidas, así como la sustitución del concepto de calor, o frío, por el concepto de temperatura como si se tratara de una misma entidad.

Pregunta 8: Imagina que se tienen dos ladrillos hechos del mismo barro, pero uno es grande y el otro es pequeño. Ambos ladrillos se colocan durante varias horas en el interior de un horno que está a 120°C. Pasado este tiempo, ¿cómo será la temperatura del ladrillo grande con respecto al pequeño? Explica tu respuesta.

53% de los estudiantes contestaron que la temperatura de los ladrillos sería diferente.

47% respondieron que sería igual.

La mayoría de los estudiantes que contestaron que la temperatura sería distinta, aclararon que la temperatura del ladrillo grande sería menor que la temperatura del ladrillo

pequeño. La razón principal de esta diferencia se adjudicó correctamente, según la mayoría de los adeptos a esta postura, a que le toma más tiempo al ladrillo grande calentarse (aumentar su temperatura) y al pequeño menos y por lo tanto se calienta “más” o bien “se concentra más el calor” en este último. Otra explicación común fue que el ladrillo grande tiene “más espacio”, o en su caso “más masa”, que debe calentarse, a diferencia del pequeño que calienta “menos espacio”, o “menos masa”. En realidad es justo decir que el ladrillo pequeño alcanzará primero la temperatura del horno debido a que precisamente tiene menos masa. Sin embargo, esto no implicaría que pasado un cierto tiempo ambos ladrillos siguieran difiriendo en sus temperaturas, eventualmente el ladrillo grande alcanzaría la misma temperatura.

Por su parte, aquellos que respondieron que sería igual la temperatura en ambos ladrillos, en todos los casos justificaron su respuesta afirmando que “el tamaño no importa, sólo la temperatura”. Sin embargo, tres alumnos elaboraron más allá de esta afirmación y justificaron su respuesta aludiendo al material de ambos ladrillos. Un ejemplo de lo anterior es el siguiente: “son iguales pues lo importante es que son del mismo material y han estado a la misma temperatura”. Esta suposición es correcta dado que no se especifica el tiempo que estarán en el horno, y por lo tanto pasado un cierto tiempo podrían ambos ladrillos tener la misma temperatura.

En el primer grupo de respuestas, es interesante observar cómo se concibe a la temperatura como un objeto discreto, además de compartir las mismas propiedades aditivas, extensivas, que los objetos materiales, o las demás unidades métricas (longitud, peso, etc.). La comprensión de la temperatura como una entidad con propiedades intensivas, no aditivas, no es común en estas edades, sobre todo si prevalece una

confusión entre los conceptos de calor y temperatura, y del concepto de calor como un objeto o sustancia material.

En el caso de los estudiantes que afirmaron que la temperatura sería la misma sin importar el tamaño, siempre y cuando se mantengan ambos a la misma temperatura por el mismo tiempo, son interesantes en particular las justificaciones en las cuales se introduce el rol que juega el material de ambos objetos, pues deja entrever una noción intuitiva de las propiedades microscópicas de la materia, y de cómo éstas podrían estar interactuando con la energía térmica y la temperatura.

Pregunta 9: En un día frío ¿porqué un suéter te proporciona calor? Explica tu respuesta.

9% de los alumnos asumen que el suéter es un buen conductor de calor y por eso proporciona calor.

11% de los estudiantes dicen que lo que genera calor es la fricción que se genera entre el suéter, la ropa y la piel del cuerpo.

20% dieron otro tipo explicación, incluyendo no dar explicación alguna.

53% de los alumnos identifican, intuitivamente, al suéter como un elemento aislante que impide la variación de la temperatura corporal con respecto a la temperatura ambiente.

Resulta muy interesante en este caso que la mayoría de los estudiantes tengan una noción, por lo menos intuitiva, empírica, del concepto de aislante asociado a la variación de temperaturas, al calor y a la energía térmica, a pesar de que se continúe considerando al calor como un objeto o sustancia material.

Dentro de las analogías más comunes de las propiedades aislantes del suéter se encontraron aquellas que refieren a la prenda como “una segunda piel”, o “segunda capa”, que protege a la piel original de no perder su calor, o en algunos casos su

temperatura corporal. O bien aquellas que explican cómo “el calor corporal se guarda entre la piel, la ropa y el suéter”. Muy abundantes también resultaron aquellas explicaciones que hacen referencia al material del que están hechos comúnmente los suéteres, y cómo estos materiales impiden el paso de la temperatura ambiente, frío, o viento al interior del cuerpo (“la tela [del suéter] protege del frío y permite que el cuerpo se caliente”).

A diferencia de esta última respuesta, las dos primeras muestran, en el primer caso, una confusión entre el concepto de conductividad y de aislante, ambos conceptos propios de la termodinámica; y en el segundo, da la impresión que se incorporan conceptos de la física mecánica a la explicación, como es el caso del concepto de fricción, a manera de paliativo ante la falta de conocimientos en termodinámica. Cabe subrayar que la física mecánica es la unidad de aprendizaje previa a la de termodinámica, de tal modo que los estudiantes ya cuentan con estos conceptos al llegar a los temas de calor y temperatura.

Pregunta 10: Considera un par de ollas con la misma cantidad de agua en cada una de ellas. La olla A contiene agua a 30°C y la olla B contiene agua a 30°C , ¿Cuál será la temperatura del agua al juntar el contenido de ambos recipientes en uno sólo? Explica tu respuesta.

75% de los estudiantes contestaron que la temperatura se mantendría a 30°C .

En la mayoría de los casos se explicó que la temperatura se mantendría a 30°C debido a que ambas ollas tenían la misma cantidad de agua. Sólo algunos alumnos tomaron en cuenta que la invariabilidad de la temperatura se puede relacionar también al material que contenían ambas ollas (agua en los dos casos), o al hecho de que en ambos casos el agua estuviera a la misma temperatura. Muy similar a lo que se obtuvo en la pregunta 8, aquí

se observa una noción intuitiva de las propiedades aditivas de la temperatura (“las temperaturas no se suman”), a pesar de que el tamaño, o la cantidad, del material sigue siendo un factor importante para optar por esta explicación. Muy probablemente, la insistencia con el tamaño tiene su origen en los conceptos adquiridos previamente durante la unidad de física mecánica, en donde la masa, el peso y la longitud son elementos cruciales para entender el concepto de fuerza. De ser así, sería de esperar que en cuanto se consoliden los conocimientos de termodinámica esta noción de tamaño, o propiedad extensiva, se deje atrás y se considere a la temperatura como una medición con propiedades distintas.

Por su parte, 27% de los alumnos respondieron que la temperatura sería distinta, siendo la adición de ambas temperaturas la explicación más común (es decir que cambiaría a 60° C). En este caso se sostiene lo que ya se mencionara antes sobre la falta de conocimiento acerca de las propiedades intensivas de la temperatura, y la creencia de que las unidades de temperatura se suman igual que el resto de las unidades métricas.

Cabe aquí recordar que la construcción de las herramientas instruccionales (texto y simulación) se hizo tomando en consideración los resultados reportados arriba.

Dinámica de la Sesión Didáctica al usar las Herramientas Instruccionales

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 lo

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.

Durante las sesiones experimentales no hubo participación por parte del profesor encargado de la asignatura de física. A lo largo de la sesiones la mediación de los contenidos y el uso de las herramientas fue mínima, únicamente se aclararon dudas sobre el uso de las herramientas y la secuencia en que se debían de responder los materiales de trabajo. El papel del experimentador fue más de observador que de mediador o de instructor.

Resultados del Análisis Cuantitativo

A partir de los datos obtenidos en el Cuaderno de Trabajo, se efectuó una prueba de Levene con los puntajes obtenidos en cada sección del Cuaderno para determinar la homogeneidad de varianzas, lo cual permitió posteriormente llevar a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para grupos independientes de 2 X 2 factores [Grado Escolar (2 y 3 de Secundaria) X Herramienta (SML y TXT)]. Como variables independientes se consideraron el grado escolar o de instrucción académica y el tipo de herramienta; y como 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), problemas relacionados con el contacto y el equilibrio térmico (CT), o bien problemas sobre las propiedades aditivas de la temperatura (AT). La Tabla 1 muestra los rangos de puntaje (mínimo-máximo) para las variables dependientes.

VARIABLES DEPENDIENTES	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO
Definiciones Conceptuales (DC)	0	7
Respuestas Inferidas (RI)	0	11
Estados de la Materia (EM)	0	6
Contacto y Equilibrio Térmico (CT)	0	6
Propiedades Aditivas Temperatura(AT)	0	6

Tabla 1. Rangos de puntaje de las variables dependientes.

El análisis de varianza arrojó 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) (Figuras 15 y 16), siendo mejor el desempeño de los grupos que utilizaron el texto ilustrado, 70% de aciertos en promedio en ambos grados escolares ($M_{2SecTXT}=5.5$; $M_{3SecTXT}=4.25$), que aquellos que utilizaron el simulador ($M_{2SecSML}=3.25$; $M_{3SecSML}=3.25$) ($F(3,1)=16.2$; $p<.001$). 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. Las Tablas 2 y 3 muestran los datos obtenidos a partir del análisis de varianza y la estadística descriptiva correspondiente, respectivamente.

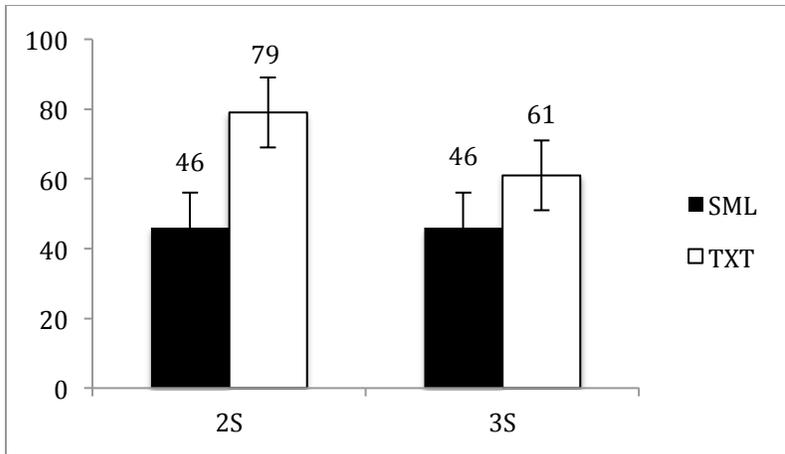


Figura 15. Porcentaje de aciertos a preguntas sobre definiciones conceptuales.

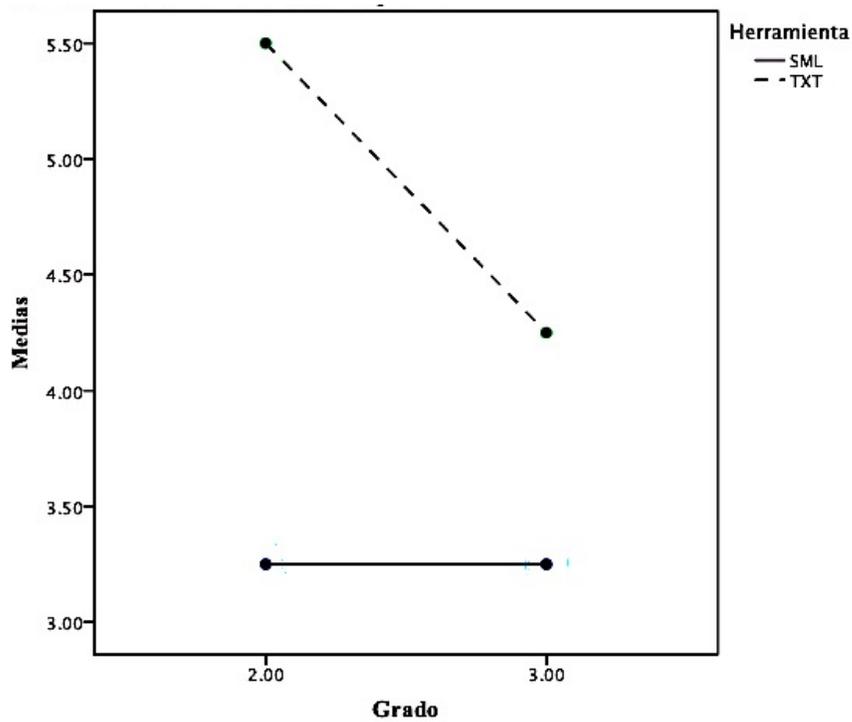


Figura 16. Medias de la variable dependiente Definiciones Conceptuales (CD).

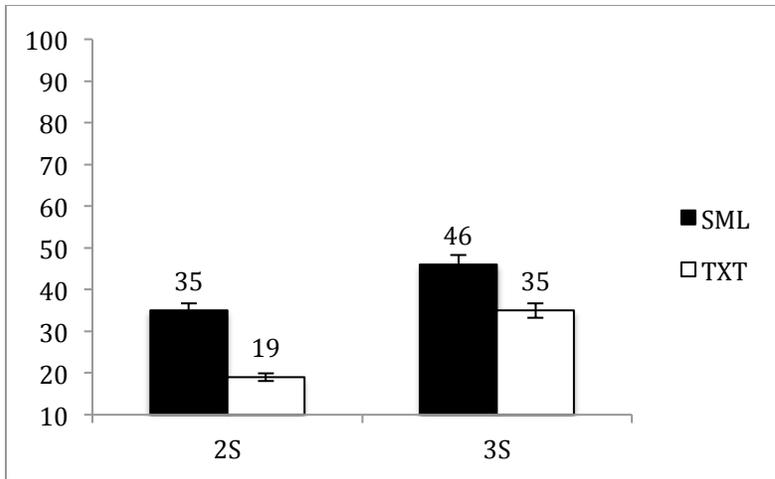


Figura 17. Porcentaje de respuestas inferidas.

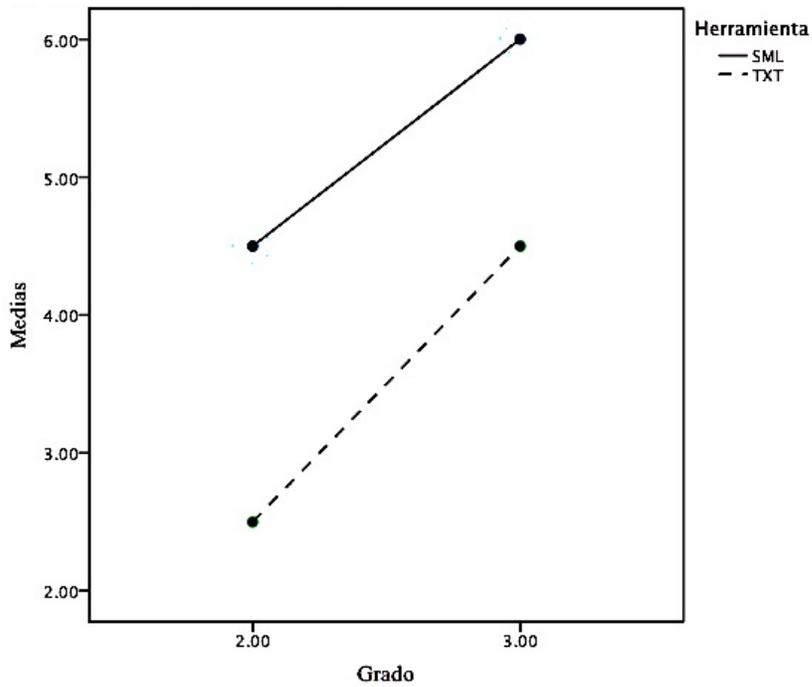


Figura 18. Medias de la variable dependiente Respuestas Inferidas (RI).

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
	Temperatura	11.125 ^e	3	3.708	1.682	.194
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
	Temperatura	435.125	1	435.125	197.304	.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
	Temperatura	3.125	1	3.125	1.417	.244
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 *
	Temperatura	.000	1	.000	.000	1.00
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
	Temperatura	8.000	1	8.000	3.628	.067
Error	DefinicionesC	36.500	28	1.304		
	RespInferidas	146.000	28	5.214		
	ContacTérmico	19.750	28	.705		
	EdosdelaMateria	68.250	28	2.438		
	Temperatura	61.750	28	2.205		
Total	DefinicionesC	592.000	32			
	RespInferidas	808.000	32			
	ContacTérmico	398.000	32			
	EdosdelaMateria	804.000	32			
	Temperatura	508.000	32			
Total Corregido	DefinicionesC	63.875	31			
	RespInferidas	195.500	31			
	ContacTérmico	33.500	31			
	EdosdelaMateria	82.000	31			
	Temperatura	72.875	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)

e. R Squared = .153 (Adjusted R Squared = .062)

Tabla 2. Efectos Principales del Análisis de Varianza.

	Grado	Herramienta	Media	Desviación Est.	N
Definiciones	2.00	SML	3.2500	.88641	8
		TXT	5.5000	1.19523	8
		Total	4.3750	1.54380	16
	3.00	SML	3.2500	1.03510	8
		TXT	4.2500	1.38873	8
		Total	3.7500	1.29099	16
	Total	SML	3.2500	.93095	16
		TXT	4.8750	1.40831	16
		Total	4.0625	1.43544	32
	RespInferidas	2.00	SML	4.5000	2.50713
TXT			2.5000	2.50713	8
Total			3.5000	2.63312	16
3.00		SML	6.0000	2.39046	8
		TXT	4.5000	1.60357	8
		Total	5.2500	2.11345	16
Total		SML	5.2500	2.48998	16
		TXT	3.5000	2.28035	16
		Total	4.3750	2.51126	32
ContacTérmico		2.00	SML	3.7500	.70711
	TXT		2.2500	1.16496	8
	Total		3.0000	1.21106	16
	3.00	SML	3.8750	.64087	8
		TXT	3.6250	.74402	8
		Total	3.7500	.68313	16
	Total	SML	3.8125	.65511	16
		TXT	2.9375	1.18145	16
		Total	3.3750	1.03954	32
	EdosdelaMateria	2.00	SML	5.7500	.46291
TXT			4.0000	2.07020	8
Total			4.8750	1.70783	16
3.00		SML	4.8750	1.55265	8
		TXT	4.3750	1.68502	8
		Total	4.6250	1.58640	16
Total		SML	5.3125	1.19548	16
		TXT	4.1875	1.83371	16
		Total	4.7500	1.62640	32
Temperatura		2.00	SML	3.8750	1.12599
	TXT		2.8750	2.16712	8
	Total		3.3750	1.74642	16
	3.00	SML	3.5000	1.51186	8
		TXT	4.5000	.75593	8
		Total	4.0000	1.26491	16
	Total	SML	3.6875	1.30224	16
		TXT	3.6875	1.77834	16
		Total	3.6875	1.53323	32

Tabla 3. 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 (Figuras 17 y 18). Siendo significativamente mayor el número de RI proporcionadas por el grupo que utilizó la simulación digital ($M_{2SecSML}=4.5$; $M_{2SecTXT}=2.5$) ($F(3,1)=4.69$; $p=.03$), y con mayor proporción para el grado de tercero de secundaria ($M_{3SecSML}=6.0$; $M_{3SecTXT}=4.5$) ($F(3,1)=4.69$; $p=.03$).

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. En general los grupos de tercero de secundaria sobrepasaron significativamente a los de segundo $F(3,1)=6.38$; $p=.01$). Adicionalmente, hubo diferencias significativas en el número de aciertos asociados al tipo de herramienta instruccional utilizada durante el aprendizaje, los grupos SML obtuvieron significativamente mayor número de aciertos que los grupos TXT ($M_{2SecSML}=3.75$ $M_{3SecSML}=3.87$; $M_{2SecTXT}=2.25$; $M_{3SecTXT}=3.62$) ($F(3,1)=8.68$; $p=.006$) (Figuras 19 y 20). Finalmente, también se encontraron diferencias en la interacción entre ambos factores ($F(3,1)=4.43$; $p=.04$).

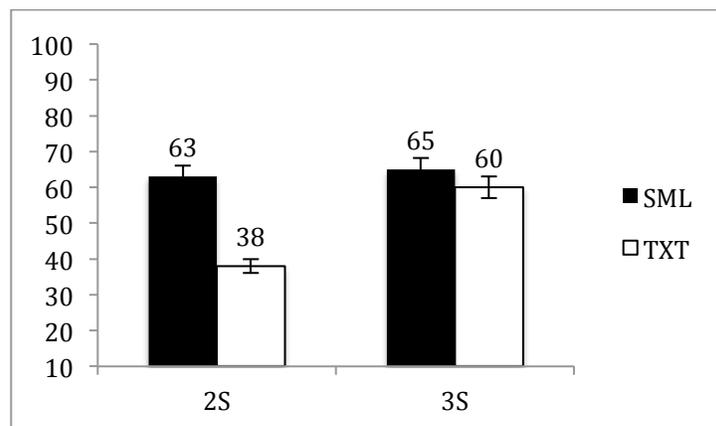


Figura 19. Porcentaje de aciertos de problemas abiertos asociados al contacto y equilibrio térmico.

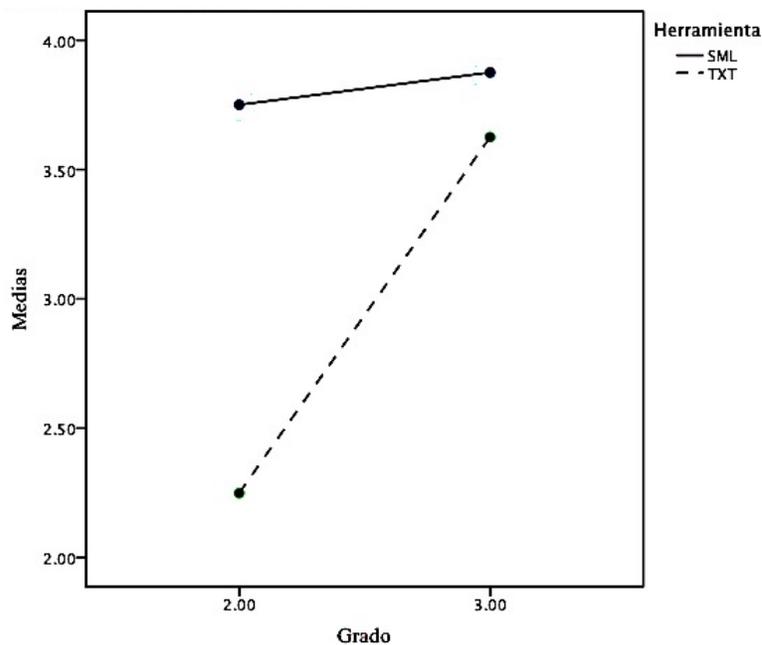


Figura 20. Medias de la variable dependiente Contacto y Equilibrio Térmico (CT).

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 ($M_{SMLTotal}=5.31$ $M_{TXTTotal}=4.18$) que los grupos TXT ($F(3,1)=4.15$; $p=.051$). No se obtuvieron diferencias significativas entre grados escolares (Figuras 21 y 22). Del mismo modo, no se encontraron diferencias significativas en el desempeño de problemas acerca de las propiedades aditivas de la temperatura (Figura 23).

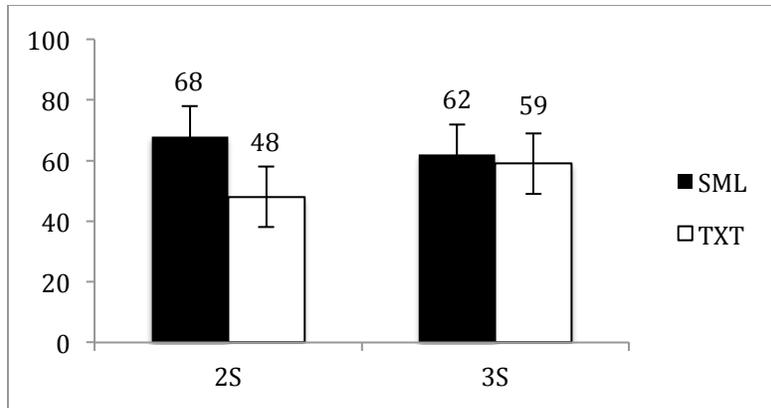


Figura 21. Porcentaje de aciertos de problemas asociados a cambios en la estructura microscópica de la materia.

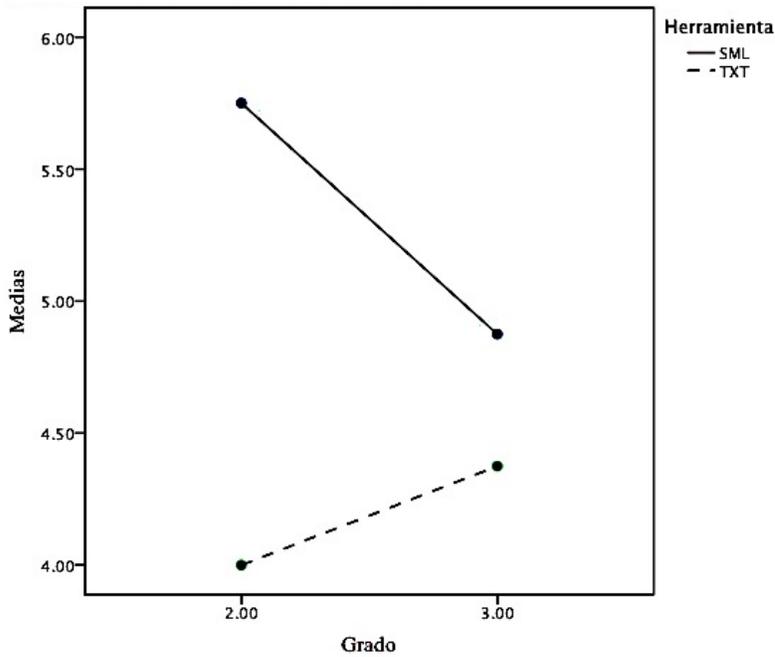


Figura 22. Medias de la variable dependiente Estados de la Materia (EM).

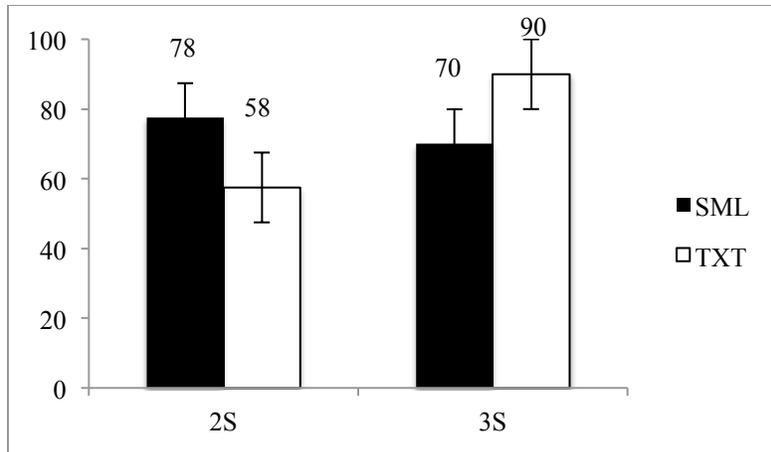


Figura 23. Porcentaje de aciertos de problemas asociados a las propiedades aditivas de la temperatura.

En general se observa que los problemas abiertos y las respuestas que deben ser inferidas se ven beneficiadas por el uso de la simulación en ambos grados escolares, a diferencia de las preguntas en que bastaba proveer una definición verbatim de los conceptos. Así mismo, se puede ver que los alumnos de segundo de secundaria se apegan mejor a las definiciones del texto (DC) que los alumnos de tercero. No obstante, los alumnos de tercero muestran mayor capacidad para inferir respuestas que no se encuentran explicitada en el texto (Figura 24).

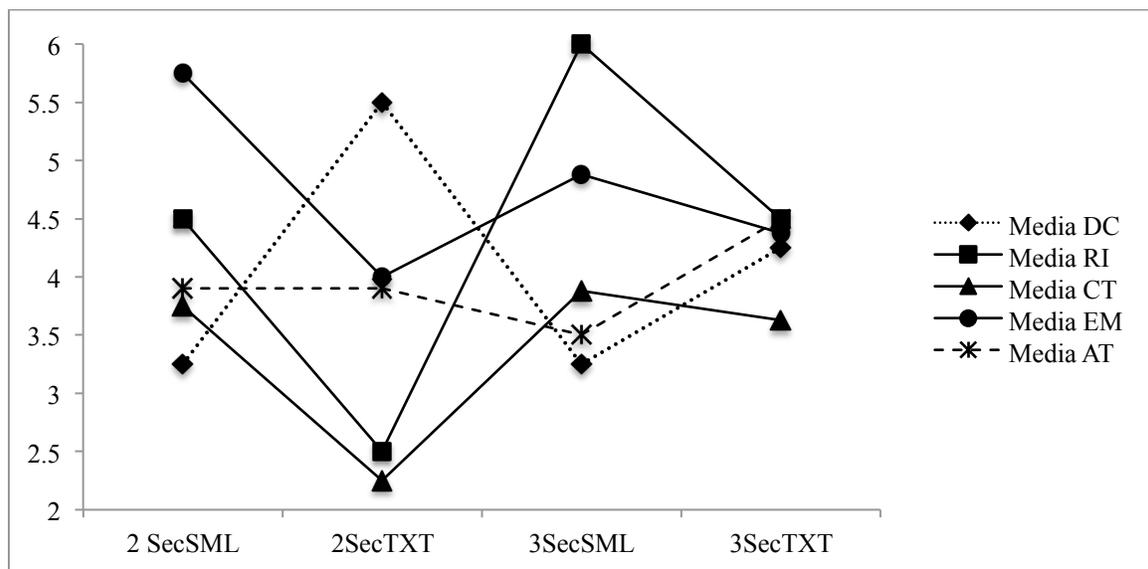


Figura 24. Resumen de medias sobre el puntaje obtenido por el tipo de reactivo, grado escolar y herramienta instruccional.

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.

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 la pregunta 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.

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 para responder a este cuestionamiento. El resto de los equipos

TXT, se refirieron al fenómeno cuestionado recurriendo a concepciones erróneas o 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”. Al llevar este cuestionamiento a su aplicación en una situación cotidiana que consistía en explicar “¿Por qué una chamarra gruesa te protege del frío exterior?” 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 realizaron correctamente la transferencia conceptual a la aplicación que planteaba la pregunta. En su mayoría, los participantes TXT explicaron 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 este material como uno que: “no deja 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*?”. Los resultados a esta pregunta ponen de manifiesto una vez más la superioridad en desempeño del grupo SML en el uso de los conceptos estudiados, y la capacidad para transferir los aprendizajes de forma adecuada a situaciones no descritas o presentadas explícitamente en la simulación digital, o en su caso en el texto ilustrado. 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 utilizar 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 tranferencia 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 genral los grupos SML en comparación con los equipos TXT, y en particular 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 integran 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.

Resultados de la Memoria de Trabajo

La Memoria de Trabajo se contestó de manera individual al término de los ejercicios del Cuaderno de Trabajo. Este instrumento tuvo como objetivo recuperar los usos particulares de las herramientas instruccionales, y la valoración utilitaria que se le asignó a los componentes específicos de estos instrumentos durante la resolución de los ejercicios del Cuaderno de Trabajo.

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

- La animación y movimientos de los elementos.
- La visualización de los fenómenos.
- La manipulación y control de los botones que activan las variables asociadas.

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

- La sección *más información* (textos breves con las definiciones de los fenómenos estudiados).
- El imaginar en la mente los problemas planteados en el Cuaderno.

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.
- El imaginar en la mente los ejercicios planteados en el Cuaderno.

Los elementos que contribuyeron menos para estos mismos grupos al resolver los ejercicios del Cuaderno 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 dijeron 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 los participantes del grupo TXT expresaron que resultaría más fácil resolver los ejercicios utilizando la simulación digital. Mientras que el 65% de los participantes del grupo SML expresó que resultaría más difícil resolver los ejercicios utilizando un libro o texto ilustrado.

CONCLUSIONES

En México, el empleo de simulaciones digitales para la enseñanza de la ciencia es todavía escaso y limitado, particularmente en la educación de nivel básico. Así mismo, el cuerpo de investigaciones, a nivel nacional, en torno a la implementación, pertinencia o eficacia de este tipo de instrumentos de enseñanza y aprendizaje no es hasta la fecha abundante (OCE, 2005). En general, y a nivel mundial, este tipo de tecnologías no llevan mucho tiempo de haberse implementando en la didáctica escolar de nivel básico, quizá debido a que los primeros diseños de este tipo de herramienta fueron hechos principalmente para la educación superior (Wiser y Amin, 2002; Díaz-Barriga, 2005; Torres Montealban y Ruiz Chavarria, 2006). No obstante, de acuerdo con en el Plan de Estudios para la Educación Básica-2006, propuesto por la Secretaria de Educación Pública (SEP), se espera que los alumnos de secundaria al cursar las asignaturas del área de ciencias naturales desarrollen la capacidad de: (1) profundizar en las ideas y conceptos científicos básicos y establecer relaciones entre ellos de modo que puedan construir explicaciones coherentes basadas en el razonamiento lógico, el lenguaje simbólico y las representaciones gráficas, y (2) comprender las características, propiedades y transformaciones de la materia a partir de su estructura interna; entre otras de las metas que se proponen en este plan de estudios. Tomando en cuenta los objetivos anteriores, investigaciones como esta ponen de manifiesto la necesidad de replantear las estrategias y metodologías de enseñanza de las ciencias naturales, en función del aprovechamiento cognitivo y la motivación durante el aprendizaje que pueden proporcionar nuevos tipos de herramientas instruccionales, versus las metodologías e instrumentaciones didácticas tradicionales.

Los resultados detallados a lo largo de este estudio nos demuestran que las carencias perceptuales o cognitivas y las deficiencias motivacionales pueden ser hasta cierto grado enmendadas si el proceso de enseñanza y aprendizaje se da bajo la mediación de instrumentos y herramientas didácticas adecuadas, con ello se favorece el proceso de conceptualización y por lo tanto de comprensión y apropiación de los fenómenos estudiados.

Lo anterior se constata en los resultados presentados arriba, en donde 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, éstos lograron inferir las definiciones conceptuales a través del uso y la manipulación de la simulación digital, incluso cuando la mayoría de estos participantes atestigüó no haber utilizado el recurso descriptivo provisto en la sección de *más información* del programa. Por otro lado, si bien es cierto que los grupos TXT aventajaron a los grupos SML en el número de aciertos sobre definiciones conceptuales (DC) literales, 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. De este modo podríamos entonces argumentar que el desempeño de los grupos TXT apunta sobretodo a una comprensión y uso superficial y verbatim del contenido del texto, que le permite a los participantes transcribir las definiciones que allí se anotan en el Cuaderno de Trabajo, más no permite generar un modelo completo del fenómeno estudiado (Kintsch y vanDijk, 1978). Más aún, si retomamos los resultados obtenidos primero en el Cuestionario de Ideas Previas, y posteriormente en la resolución de los ejercicios del Cuaderno de Trabajo, podríamos proponer incluso que la simulación digital interactiva permitió a sus

usuarios redescubrir las representaciones y por tanto las concepciones previamente sostenidas, pues logró representar fielmente los fenómenos estudiados al tiempo que permitió evaluar en tiempo real las hipótesis e ideas previamente formuladas. Lo anterior se vio reflejado en el uso que hacen estos participante de los conceptos y de las terminologías asociadas a los mismos durante la resolución de los problemas planteados en el Cuaderno de Trabajo.

Tomando en cuenta lo anterior podríamos afirmar que el desempeño de los grupos SML 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 llevar a cabo una abstracción reflexiva y comprender, desde el punto de vista de la definición conceptual, los fenómenos estudiados. A diferencia del texto y de las ilustraciones estáticas, la simulación digital permitió mediante la visualización y manipulación interactiva, operar las variables que describen a los fenómenos estudiados y construir representaciones perceptuales que al ser posteriormente verbalizadas, o inscritas como representaciones semánticas, favorecieron la creación de modelos mentales más eficientes, o al menos más efectivos para llevar los conocimientos fuera del contexto mismo de la simulación. Lo anterior se pudo constatar en la transferencia de los conceptos estudiados al campo de la resolución de problemas, situación que no ocurrió con el texto a pesar de que éste contenía ilustraciones representando a los mismos fenómenos, y de que éstas estaban acompañadas de su descripción verbal explícita.

Los resultados obtenidos en esta tesis 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 al guardar mayor fidelidad con el fenómeno real generan modelos mentales que permiten formular teorías más cercanas a las definiciones científicamente aceptadas (Aldrich, 2003; Mayer y Sims, 1994; Taylor y Chi, 2006; Torres Montealban y Ruiz Chavarria, 2006; Wiser y Amin, 2002). Retomando las ideas de Johnson Laird (1996), se requiere de la modelación perceptual 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 encuentra incompleto o es erróneo el modelo mental probablemente será deficiente, y por lo tanto se dificultará su uso fuera del contexto de aprendizaje, y/o durante la resolución de problemas. De ahí que el posibilitar al alumno con un medio veraz y efectivo de representación sensorial pueda favorecer la construcción de un modelo mental más eficaz, que permita incluso construir un mejor vínculo con la representación 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), ambos temas ligados con las propiedades y relaciones microscópicas de la materia.

Así, podríamos resumir algunos aspectos que no fueron asequibles en el proceso de aprendizaje a través de las representaciones presentadas en el texto ilustrado, pero sí a través de la simulación digital interactiva: (1) la simulación digital permitió interactuar en

tiempo real con los parámetros o variables que intervienen en la conformación y descripción del fenómeno estudiado lo cual pudo haber facilitado la comprobación de las ideas que se tenían previamente sobre dichos fenómenos; (2) la simulación comprendió elementos de representación que permitieron observar las características microscópicas y espacio-temporales del fenómeno en cuestión; por ejemplo, se pudo observar que el cambio en la energía cinética implica necesariamente una modificación en la temperatura lo cual pudo haber ayudado a clarificar las diferencias entre los conceptos de calor y temperatura; y (3) dado que la simulación incluyó escenarios o contextos distintos (se podían cambiar, por ejemplo, el estado inicial de la materia o la temperatura), se favoreció la comprensión de los conceptos de calor y temperatura en su contexto microscópico y en relación a los posibles cambios de las variables asociadas dentro de un contexto específico, posibilitando el generar un vínculo entre los conocimientos previos y el contexto actual de aprendizaje.

Del mismo modo, las apreciaciones sobre el uso de las herramientas instruccionales inscritas en la Memoria de Trabajo son un buen indicador de la mediación sensorial provista por la simulación digital en el proceso de aprendizaje, ya que ésta hizo las veces de la “imagen mental” que buscaba ser imaginada por los lectores del texto, pero que en este último caso pareciera no haber sido del todo representada. Así mismo, la posibilidad de interactuar y manipular las variables que describen el fenómeno estudiado facilitó la recreación de las relaciones de orden causal entre variables, lo que facilitó la comprensión y uso de los conceptos en la resolución de problemas. Lo anterior no sucedió con el texto, lo cual parece indicar que la construcción de un modelo mental, o modelo del fenómeno o situación estudiada, a partir únicamente del lenguaje o de

imágenes estáticas no es suficiente para conceptualizar correctamente ciertos fenómenos físicos, y posteriormente llevar estos aprendizajes a la práctica y a la resolución de problemas. Esta situación conlleva obligadamente a la necesidad de un cambio o redescipción representacional *a posteriori*, en vista de las carencias que se suscitaron durante la representación original (Pozo, 2002). Por lo tanto, tal y como se muestra en esta investigación, al mediar el aprendizaje utilizando sistemas de representación eficientes se pueden llegar a construir modelos mentales, y por lo tanto concepciones, más veraces desde un inicio, aún cuando los estudiantes no hayan tenido contacto previo con información académica relacionada con los fenómenos estudiados.

Sobre las diferencias encontradas entre grados escolares, éstas podrían indicar que además de la mediación representacional 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 durante la resolución de problemas, y muy probablemente también para el manejo y aprovechamiento mismo de las herramientas instruccionales.

Las diferencias encontradas entre herramientas y grado escolar, nos obligan a reflexionar sobre la efectividad de las herramientas instruccionales en función de la preferencia por ciertas modalidades de aprendizaje por parte de los alumnos (visual, gráfico o verbal) a lo largo de su proceso formativo. En este sentido, podríamos suponer que una simulación interactiva sería bien recibida como vehículo para el aprendizaje por alumnos que requieren apoyar dicho proceso con recursos visuales. Así mismo, las distintas herramientas instruccionales podrían identificarse como vehículos diferenciados de mediación para apoyar y dinamizar el desarrollo y la maduración de los aprendizajes.

Así, una simulación digital interactiva podría ser de gran utilidad durante las fases iniciales del aprendizaje, o fases concretas, durante las cuales los alumnos requieren de mayor capacidad de visualización e interactividad cinestésica para poder apropiarse y abstraer de manera reflexiva la información estudiada. En la medida en que se prefieran las descripciones verbales, o se transite a una comprensión lectora que permita generar un modelo de la situación, el texto ilustrado puede entonces convertirse en un recurso didáctico valioso que apoye el proceso de generalización y abstracción de los aprendizajes.

Igualmente importante resulta señalar que la simulación favoreció en mayor medida que el texto ilustrado el trabajo colaborativo, así como el intercambio, la discusión y la construcción conjunta de ideas, y por lo tanto de conocimientos, tal y como lo demuestran los resultados obtenidos en la Memoria de Trabajo y como se reporta durante el desarrollo general de la sesión didáctica. Investigaciones previas señalan dichos atributos como competencias necesarias, y de suma importancia, no sólo durante la enseñanza de las asignaturas de ciencias, sino también como parte de las habilidades que caracterizan el trabajo y la labor profesional científica (Domínguez y Stipcich, 2009; Roschelle, 1992). Un escenario similar ocurrió con la motivación que incita el trabajar con una herramienta digital interactiva. Ambos grupos (TXT y SML) reportaron como mucho más motivante el trabajar con la simulación digital que con el texto; y de forma contraria, la mayoría de los participantes reportaron que el trabajar con un texto le resta motivación al trabajo. Estos resultados coinciden con investigaciones anteriores en donde se observa cómo los ambientes digitales interactivos fomentan la motivación por el trabajo a realizar, y por lo tanto favorecen el aprendizaje (Aldrich, 2003; Rieber, 1996).

Finalmente, podríamos concluir que la enseñanza de ciertos fenómenos físicos, en particular de aquellos en donde las limitaciones perceptuales puedan llegar a generar dificultades en la conceptualización, se verá beneficiada al introducir herramientas de representación que permitan una mejor visualización, manipulación y por lo tanto un mejor entendimiento de dichos fenómenos. Ello favorecerá la construcción de modelos mentales que permitan una mejor articulación entre las representaciones perceptuales y las verbales, beneficiando así el aprendizaje en su conjunto.

REFERENCIAS

- Albert, E. (1978). Development of the concept of heat in children. *Sci. Educ.* 62, 389–99.
- Aldrich, C. (2003). *Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy in e-Learning and Other Educational Experiences*. San Francisco, CA: Pfeifer-John Wiley & Sons.
- Anderson, J.R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85, 249-277.
- 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.
- Carey, S. (1999). Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change? En E. Margolis y S. Laurence (Eds.) *Concepts: core readings* (pp.459-488). Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. y Spelke, E. (2002). Conocimiento y dominio-específico y cambio conceptual. En Hirschfeld, L.A. y Gelman S.A. (eds). *Cartografía de la Mente Volumen I*, pp, 243-284. Barcelo, España: Editorial Gedisa.
- 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 en termodinámica y su enseñanza. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Termodinámica*, México D.F. Septiembre de 2001, pp.558- 565.
- 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, 27-43.
- Clark, A. (2001). *Mindware: An introduction to the philosophy of cognitive science*. New York: Oxford University Press.
- 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.

Craik, K. (1943). *The Nature of Explanation*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales... ¿distinta terminología y un mismo significado? *Investigación en la Escuela*, 23, 33-42.

Lozano de Swaan, N. (2006). *Ciencias 2: Física*. México: Editorial Santillana.

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*, 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.

Domínguez, J.M. y García-Rodeja, E. (1998). “Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual calor y temperatura.” *Enseñanza de las Ciencias* 16, 16.

Domínguez, M.A. y Stipcich, M.S. (2009). Buscando indicadores de la negociación de significados en clases de Ciencias Naturales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 539-551.

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.

Flores, F. (2009). *Ideas Previas*. Recuperado el 7 de Julio del 2009 de: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>

Flores, F. y Gallegos, L. (1998). Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation. *Science Education*, 82, 15-29.

García-Colín, L. (1986). *Introducción a la Termodinámica Clásica* (3a. Edición). México: Editorial Trillas.

García Barneto, A. y Bolívar Raya, J.P. (2008). Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 7 (3), 681-703.

Glenberg, A.M. y Langston, W.E. (1992). Comprehension of illustrated text: pictures help build mental models. *Journal of Memory and Language*, 31, 129-151.

Hernández, G. (2009). Las TIC como herramientas para pensar e interpensar: Un análisis conceptual y reflexiones sobre su empleo. En F. Díaz 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.

Holding, D.H. (1985). *The Psychology of Chess Skill*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.

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. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.

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.

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.

Kintsch, W. y van Dijk, T.A. (1978). Towards a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, vol. 85 (5), 363-394.

Kirby, K.N. y Kosslyn, S.M. (1990). Thinking visually. *Mind and Language*, vol. 5 (4), 324-341.

Kosslyn, S.M. y Pomerantz, J.R. (1977). Imagery, propositions and the form of internal representations. *Cognitive Psychology*, 9, 52-76.

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.

Moreira, M.A. y Greca, I.M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência e Educação, Bauru*. 9(2): p. 301-315.

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

Observatorio Ciudadano de la Educación (OCE) (2005). Enciclomedia. *Comunicados OCE sobre Políticas y Programas*, Diciembre 2005.

Piaget, J. (1969). *Biología y Conocimiento*. México: Siglo XXI Editores.

Paivio, A. (1975). Coding distinctions and repetition effects in memory. En, Bower, G.H. (ed.): *The psychology of learning and motivation*. Vol. 9. New York, NY: Academic Press.

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

Pintrich, P. R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31 (6), 459-470.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, p.211-227.

Pozo, J.J. (2002). La adquisición del conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 245-270.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.

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.

Rogoff, B. (2003). *The Cultural Nature of Human Development*. Cambridge, MA: Oxford University Press.

Roschelle, J. (1992). Learning by collaborating: Convergent conceptual change. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(3), 235-276.

Salinas, J. y Urbina, S. (2007). Bases para el diseño, la producción y la evaluación de procesos de enseñanza-aprendizaje mediante nuevas tecnologías. En: Cabero, J. (Coord.), *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación*, Cap.3, pp. 41-61. México: McGraw Hill.

Slotta, J. D., Chi, M.T.H., y Joram, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13: 373-400.

Soussan, G. (2003). *Enseñar las Ciencias Experimentales: Didáctica y Formación*. Informe de la Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe, UNESCO/Santiago.

Strike, K. y Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. En L. H. T. Pines y A. L. West (Eds.), *Cognitive Structures and Conceptual Change* (pp. 211-232). Orlando, FL: Academic Press.

Taber, K. (2000). Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education* 22, 399 – 417.

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.

Thelen, E. y Smith, L.B. (1994). *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge, MA: MIT Press.

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.

Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., Papademetriou, F. (2001). Designing Learning Environments to Promote Conceptual Change in Science. *Learning and Instruction*, 11: 381- 419.

Vosniadou, S. (2002). On the Nature of Naive Physics. En M. Limon y L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 61-76). London: Kluwer Academic Publishers.

Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wertsch, J. (1998). *Mind as Action*. New York, NY: Oxford 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 Publishers.

ANEXO I: CUESTIONARIO DE IDEAS PREVIAS

MOTIVACIÓN POR LA ASIGNATURA	me desmotiva	me motiva medianamente	me motiva mucho
El estudio de la Física			
Las clases de ciencias en general			

CONOCIMIENTOS PREVIOS SOBRE LA ASIGNATURA	SI	NO
Es la primera vez que llevo clases de Física en la escuela. <i>En caso negativo indicar en qué otro grado llevaste clases de Física:</i>		
Tomo clases de Física fuera de la escuela. <i>En caso afirmativo indicar en qué otro contexto estudias Física (clases particulares, trabajo, etc.):</i>		
Tengo conocimiento sobre la física del calor y sobre el concepto de temperatura. <i>En caso afirmativo indicar la fuente de estos conocimientos (escuela, casa, libros, internet, etc.):</i>		
Considero que la Física es una asignatura difícil.		

LEE LAS PREGUNTAS 1 A LA 5 Y ELIGE TODAS LAS RESPUESTAS QUE CREAS QUE CONTESTAN DE MANERA ADECUADA A CADA PREGUNTA (PUEDES ELEGIR MÁS DE UNA RESPUESTA). EN TODOS LOS CASOS JUSTIFICA TU ELECCIÓN.

1. Existe calor en:
- a) cualquier cuerpo, pues todo cuerpo posee calor.
 - b) aquellos cuerpos que están calientes.
 - c) situaciones en las que hay transferencia de energía.

Justificación:

2. Calor es:
- a) energía cinética de las moléculas.
 - b) energía transmitida sólo por medio de una diferencia de temperaturas.
 - c) la energía contenida en un cuerpo.

Justificación:

3. La Temperatura
- a) indica la cantidad de calor
 - b) es una medida equivalente al calor
 - c) indica la cantidad de energía cinética

Justificación:

4. En el interior de una habitación que no haya sido calentada o refrigerada durante varios días:

- a) la temperatura de los objetos de metal es inferior a la temperatura de los objetos de madera.
- b) la temperatura de los objetos de metal, de las mantas y de los demás objetos es la misma.
- c) ningún objeto presenta temperatura.

Justificación:

5. Dos cubos metálicos A y B son colocados en contacto. A está más caliente que B. Ambos están más calientes que el ambiente. Al cabo de un cierto tiempo la temperatura final de A y B será:

- a) igual a la temperatura ambiente.
- b) igual a la temperatura inicial de B.
- c) igual a la suma de las temperaturas iniciales de A y B.

Justificación:

6. Estando en una misma habitación, cuando sentimos que un piso de mosaico “está frío” y uno alfombrado no lo está, lo que sucede es que:

- a) Los mosaicos son fríos y la alfombra no.
- b) El mosaico es mejor conductor de calor que la alfombra.
- c) La alfombra emite más calor que el mosaico.

Justificación:

CONTESTA LIBREMENTE LAS PREGUNTAS 7 A LA 10 EXPLICANDO TU RESPUESTA EN CADA CASO.

7. Imagina que se tienen dos cubos del mismo tamaño, uno hecho de madera y otro hecho de metal. Ambos han estado en la misma habitación durante varias horas. ¿Cómo piensas que sería la temperatura del cubo de madera en comparación con el cubo del metal? Explica tu respuesta.

8. Imagina que se tienen dos ladrillos hechos del mismo barro, pero uno es grande y el otro es pequeño. Ambos ladrillos se colocan durante varias horas en el interior de un horno que está a 120°C . Pasado este tiempo, ¿cómo será la temperatura del ladrillo grande con respecto al pequeño? Explica tu respuesta.

9. En un día frío ¿porqué un suéter te proporciona calor? Explica tu respuesta

10. Considera un par de ollas con la misma cantidad de agua en cada una de ellas. La olla A contiene agua a 30°C y la olla B contiene agua a 30°C , ¿Cuál será la temperatura del agua al juntar el contenido de ambos recipientes en uno sólo? Explica tu respuesta.

ANEXO II: CUADERNO DE TRABAJO SIMULADOR

INSTRUCCIONES:

1. LEAN CUIDADOSAMENTE CADA PREGUNTA Y RESUELVAN CADA EJERCICIO UTILIZANDO LA SECCIÓN DEL PROGRAMA DE CÓMPUTO QUE SE INDICA EN CADA CASO.
2. ELIJAN TODAS LAS RESPUESTAS QUE CONSIDEREN ADECUADAS PARA CADA PREGUNTA (PUEDEN ELEGIR MÁS DE UNA RESPUESTA SI ASÍ LO CREEN PERTINENTE Y NECESARIO).
3. EN LAS PREGUNTAS QUE REQUIRAN JUSTIFICACIÓN, POR FAVOR ESCRIBANLA EN EL RECUADRO CORRESPONDIENTE.
4. TRABAJA PREFERENTEMENTE CON LA SECCIÓN DEL PROGRAMA QUE SE SUGIERE EN CADA SECCIÓN DE EJERCICIOS. PUEDES REGRESAR A OTRAS SECCIONES DEL PROGRAMA SI LO CONSIDERAS NECESARIO.
5. RECUERDEN QUE ESTE CUESTIONARIO NO ES UNA EVALUACIÓN ACADÉMICA, SU CALIFICACIÓN NO SE VERÁ AFECTADA. SIN EMBARGO, SU PARTICIPACIÓN ES MUY VALIOSA PUES AYUDARÁN A MEJORAR LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.

¡MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

Num. EQUIPO _____

Num. Mujeres _____

Num. Hombres _____

Sección 1: Relación entre flujo de calor, energía térmica, energía cinética y temperatura.

En la pantalla se muestra un recipiente con una sustancia. El control de Energía Térmica puede incrementar o disminuir la intensidad de energía térmica. El indicador de Energía Cinética mide si aumenta o disminuye la energía cinética de las partículas. El termómetro mide la temperatura a la que se encuentra la sustancia en el recipiente.

Observa y analiza que sucede al aumentar o disminuir la energía térmica, después contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué relación hay entre la energía térmica y la temperatura?

Conforme la energía térmica aumenta, la temperatura no cambia.	La temperatura aumenta conforme aumenta la energía térmica.	La energía térmica aumenta la energía cinética	No existe ninguna relación
--	---	--	----------------------------

2. ¿Qué relación hay entre la energía térmica y la energía cinética?

La energía térmica aumenta o disminuye la energía cinética de las partículas	Conforme aumenta la energía térmica aumenta la temperatura	La energía cinética es independiente de la energía térmica	No existe ninguna relación
--	--	--	----------------------------

3. ¿Qué genera la aparición de un flujo de calor?

La energía cinética promedio de las partículas	La diferencia de temperatura entre dos objetos	La transmisión de energía térmica	Es un proceso espontáneo
--	--	-----------------------------------	--------------------------

4. ¿Cómo se relaciona el flujo de calor con la temperatura?

La temperatura mide la energía cinética promedio producida por un flujo de calor	Un flujo de calor se origina al haber una diferencia de temperaturas	La temperatura mide la intensidad de un flujo de calor	Son lo mismo
--	--	--	--------------

5. Un flujo de calor es:

Una propiedad de un objeto caliente	Un proceso que se da a partir de una diferencia de temperaturas	Un proceso originado por la transferencia de energía térmica	Una propiedad que se origina ante la ausencia de frío
-------------------------------------	---	--	---

6. ¿Qué quiere decir que un objeto se “caliente”?

Que se le transfiera energía térmica	Que aumente su temperatura	Que absorba calor	Que mantenga su temperatura estable
--------------------------------------	----------------------------	-------------------	-------------------------------------

7. ¿Qué quiere decir que un objeto se “enfrie”?

Que transfiera energía térmica	Que pierda calor	Que disminuya su temperatura	Que mantenga su temperatura estable
--------------------------------	------------------	------------------------------	-------------------------------------

Sección 2: Estados de la materia y su relación con la energía térmica, la energía cinética y la temperatura.

En la pantalla se muestra un recipiente con una sustancia. La sustancia puede estar en Estado Sólido, Líquido o Gaseoso. El control de Energía Térmica puede incrementar o disminuir la intensidad de energía térmica. El indicador de Energía Cinética mide si aumenta o disminuye la energía cinética de las partículas. El termómetro mide la temperatura a la que se encuentra la sustancia en el recipiente.

Observa y analiza que sucede al variar el estado de la materia y la energía térmica, después contesta las siguientes preguntas:

- 1. ¿Cuál estado de la materia consideras que requiere mayor intensidad de energía térmica para aumentar la energía cinética de sus partículas?**

SÓLIDO	LÍQUIDO	GAS
¿Por qué?		

- 2. ¿Qué estado de la materia consideras que requiera menor intensidad de energía térmica para aumentar la energía cinética de sus partículas?**

SÓLIDO	LÍQUIDO	GAS
¿Por qué?		

- 3. A) ¿Qué le sucede a la estructura molecular de un objeto conforme aumenta la transmisión de energía térmica?**

No hay cambios	Las partículas se separan	Las partículas se agrupan entre sí	Las partículas se desplazan de su posición inicial
----------------	---------------------------	------------------------------------	--

- B) ¿Qué le sucede a la estructura atómica de la materia conforme disminuye la transmisión de energía térmica?**

No hay cambios	Las partículas se separan	Las partículas se agrupan entre sí	Las partículas se desplazan de su posición inicial
----------------	---------------------------	------------------------------------	--

4. Considera el siguiente escenario:

En una olla hay un hielo que fue hecho con 1Lt de agua, en otra olla hay un 1Lt de agua líquida, las dos ollas son idénticas y se encuentran sobre la misma parrilla. ¿En cuál de los dos objetos (hielo o agua) se elevará primero la energía cinética de sus partículas? ¿En cuál de los dos se elevará primero la temperatura?

En los dos objetos aumentará la energía cinética al mismo tiempo	Se elevará primero la energía cinética de las partículas del agua	Se elevará primero la energía cinética de las partículas del hielo
¿Por qué?		
En los dos objetos se elevará la temperatura al mismo tiempo	El agua aumentará primero su temperatura	El hielo elevará primero su temperatura
¿Por qué?		

Sección 3: Contacto y Equilibrio Térmico.

Se presentan dos objetos con diferentes temperaturas, 50°C y 75°C respectivamente, según lo indican los dos termómetros, ambos se encuentran separados por una barrera aislante.

Observa lo que sucede al retirar la barrera aislante, y contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué cambio se produce en la temperatura de ambos objetos al retirar el aislante

2. ¿Qué función cumplía el aislante?

3. ¿Por qué se produce un flujo de calor al retirar la barrera aislante?

Debido a la energía cinética promedio de las partículas	Debido a la diferencia de temperatura que hay entre ambos objetos	Debido a una transferencia de energía térmica de un objeto a otro	Es un proceso espontáneo independiente de la temperatura
---	---	---	--

4. ¿Por qué al cabo de un cierto tiempo ambos objetos tienen la misma temperatura? ¿Dirías que se llega a un *Equilibrio térmico*? ¿Cómo estaría caracterizado este estado de equilibrio?

5. Considera el siguiente escenario:

La temperatura promedio del cuerpo humano es $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. En un día con baja temperatura (temperatura ambiente = 5°C) si no te pones una chamarra, o suéter, sientes “frío”. ¿Por qué la chamarra te ayuda a no sentir frío?

6. Considera el siguiente escenario:

Al tocar con la mano una taza que contiene una bebida caliente (té, café, etc.), se produce una sensación de “calor” ¿Por qué? ¿Qué sucede al entrar en contacto la mano y la taza?

Sección 4: Propiedades aditivas de la temperatura.

En la pantalla se presentan dos recipientes A y B que contienen la misma cantidad de la misma sustancia. La sustancia de ambos recipientes puede tener la misma temperatura, o puede ser diferente en cada recipiente.

Vierte la sustancia del recipiente A en el recipiente B, observa y analiza que sucede, después contesta las siguientes preguntas:

1. Cuando las sustancias se encuentran a temperaturas distintas ¿qué temperatura resulta de la mezcla de ambas sustancias?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la temperatura de la sustancia que tenía la temperatura más alta
¿Por qué?			

2. Cuando las sustancias se encuentran a la misma temperatura ¿qué temperatura resulta de la mezcla de ambas sustancias?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la misma que la temperatura inicial de ambas sustancias
¿Por qué?			

3. Qué sucedería si A y B están a la misma temperatura, pero hay mayor cantidad de sustancia en A que en B, ¿cuál será la temperatura final al juntar ambos contenidos en un sólo recipiente?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es la misma que la temperatura inicial de A y B
---	---	---	---

4. Qué sucedería si A tiene mayor temperatura que B, y A tiene mayor cantidad de sustancia que B, ¿cuál será la temperatura final al juntar ambos contenidos en un sólo recipiente?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es igual a la temperatura de A	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas de A y B
¿Por qué?			

5. Qué sucedería si A y B son sustancias diferentes por ejemplo, leche y café pero hay la misma cantidad de ambas y están a la misma temperatura, ¿cuál será la temperatura final al juntar ambas sustancias en un sólo recipiente?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas de la leche y el café	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas de la leche y el café	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas de la leche y el café	La temperatura resultante es la misma que la temperatura inicial de la leche y el café
¿Por qué?			

6. Puedes utilizar las secciones del programa que consideres necesarias para contestar las siguientes preguntas.

A. Desde su punto de vista el calor, o flujo de calor, es:

Una propiedad que caracteriza a todos los objetos, o materia.	Una cosa que pueden contener o absorber los objetos.	Un proceso de transferencia de energía térmica	La temperatura de un cierto objeto
¿Por qué?			

B. Desde su punto de vista la temperatura representa:

Una propiedad que caracteriza a todos los objetos, o materia.	La energía térmica de las partículas que conforman a un cierto objeto.	La energía cinética promedio de las partículas que conforman a un cierto objeto.	La cantidad de calor que contiene un cierto objeto
¿Por qué?			

ANEXO III: CUADERNO DE TRABAJO TEXTO ILUSTRADO

INSTRUCCIONES:

- 1. LEAN CUIDADOSAMENTE CADA PREGUNTA Y RESUELVAN CADA EJERCICIO UTILIZANDO EL CAPÍTULO DEL TEXTO QUE SE INDICA PARA CADA CASO.**

- 2. ELIJAN TODAS LAS RESPUESTAS QUE CONSIDEREN ADECUADAS PARA CADA PREGUNTA (PUEDEN ELEGIR MÁS DE UNA RESPUESTA SI ASÍ LO CREEN PERTINENTE Y NECESARIO).**

- 3. EN LAS PREGUNTAS QUE REQUIRAN JUSTIFICACIÓN, POR FAVOR ESCRIBANLA EN EL RECUADRO CORRESPONDIENTE.**

- 4. TRABAJEN CON EL CAPÍTULO DEL TEXTO QUE SE SUGIERE EN CADA SECCIÓN DE EJERCICIOS. ADICIONALMENTE PUEDEN REGRESAR A CUALQUIER SECCIÓN DEL LIBRO SI ASÍ LO CONSIDERAN NECESARIO EN CUALQUIER MOMENTO DURANTE LA RESOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS.**

- 5. RECUERDEN QUE ESTE CUESTIONARIO NO ES UNA EVALUACIÓN ACADÉMICA, SU CALIFICACIÓN NO SE VERÁ AFECTADA. SIN EMBARGO, SU PARTICIPACIÓN ES MUY VALIOSA PUES AYUDARÁN A MEJORAR LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.**

¡MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

Num. EQUIPO_____
Hombres_____

Num. Mujeres_____

Num.

Capítulos 1 y 2: *Relación entre flujo de calor, energía térmica, energía cinética y temperatura.*

Lee los capítulos indicados y contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué relación hay entre la energía térmica y la temperatura?

Conforme la energía térmica aumenta, la temperatura no cambia.	La temperatura aumenta conforme aumenta la energía térmica.	La energía térmica aumenta la energía cinética	No existe ninguna relación
--	---	--	----------------------------

2. ¿Qué relación hay entre la energía térmica y la energía cinética?

La energía térmica aumenta o disminuye la energía cinética de las partículas	Conforme aumenta la energía térmica aumenta la temperatura	La energía cinética es independiente de la energía térmica	No existe ninguna relación
--	--	--	----------------------------

3. ¿Qué genera la aparición de un flujo de calor?

La energía cinética promedio de las partículas	La diferencia de temperatura entre dos objetos	La transmisión de energía térmica	Es un proceso espontáneo
--	--	-----------------------------------	--------------------------

4. ¿Cómo se relaciona el flujo de calor con la temperatura?

La temperatura mide la energía cinética promedio producida por un flujo de calor	Un flujo de calor se origina al haber una diferencia de temperaturas	La temperatura mide la intensidad de un flujo de calor	Son lo mismo
--	--	--	--------------

5. Un flujo de calor es:

Una propiedad de un objeto caliente	Un proceso que se da a partir de una diferencia de temperaturas	Un proceso originado por la transferencia de energía térmica	Una propiedad que se origina ante la ausencia de frío
-------------------------------------	---	--	---

6. ¿Qué quiere decir que un objeto se “caliente”?

Que se le transfiera energía térmica	Que aumente su temperatura	Que absorba calor	Que mantenga su temperatura estable
--------------------------------------	----------------------------	-------------------	-------------------------------------

7. ¿Qué quiere decir que un objeto se “enfríe”?

Que transfiera energía térmica	Que pierda calor	Que disminuya su temperatura	Que mantenga su temperatura estable
--------------------------------	------------------	------------------------------	-------------------------------------

Capítulo 3: Relación entre Energía Térmica y Estados de la Materia.

Lee el capítulo indicado y contesta las siguientes preguntas:

- 1. ¿Cuál estado de la materia consideras que requiere mayor intensidad de energía térmica para aumentar la energía cinética de sus partículas?**

SÓLIDO	LÍQUIDO	GAS
¿Por qué?		

- 2. ¿Qué estado de la materia consideras que requiera menor intensidad de energía térmica para aumentar la energía cinética de sus partículas?**

SÓLIDO	LÍQUIDO	GAS
¿Por qué?		

- 3. A) ¿Qué le sucede a la estructura molecular de un objeto conforme aumenta la transmisión de energía térmica?**

No hay cambios	Las partículas se separan	Las partículas se agrupan entre sí	Las partículas se desplazan de su posición inicial
----------------	---------------------------	------------------------------------	--

- B) ¿Qué le sucede a la estructura atómica de la materia conforme disminuye la transmisión de energía térmica?**

No hay cambios	Las partículas se separan	Las partículas se agrupan entre sí	Las partículas se desplazan de su posición inicial
----------------	---------------------------	------------------------------------	--

- 4. Considera el siguiente escenario:**

En una olla hay un hielo que fue hecho con 1Lt de agua, en otra olla hay un 1Lt de agua líquida, las dos ollas son idénticas y se encuentran sobre la misma parrilla. ¿En cuál de los dos objetos (hielo o agua) se elevará primero la energía cinética de sus partículas? ¿En cuál de los dos se elevará primero la temperatura?

En los dos objetos aumentará la energía cinética al mismo tiempo	Se elevará primero la energía cinética de las partículas del agua	Se elevará primero la energía cinética de las partículas del hielo
¿Por qué?		
En los dos objetos se elevará la temperatura al mismo tiempo	El agua aumentará primero su temperatura	El hielo elevará primero su temperatura
¿Por qué?		

Capítulo 4: Contacto y Equilibrio Térmico.

Lee el capítulo indicado, analiza la información y después imagina el siguiente escenario:

Imagina dos objetos con diferentes temperaturas, uno a 50°C y otro a 75°C. Los dos objetos se encuentran separados por una barrera aislante que impide que entren en contacto ambos objetos.

Imagina que sucedería si retiraras la barrera aislante, y contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué cambio se produciría en la temperatura de ambos objetos al retirar el aislante

--

2. ¿Qué función cumplía el aislante?

--

3. ¿Por qué podría originarse un flujo de calor al retirar la barrera aislante?

Debido a la energía cinética promedio de las partículas	Debido a la diferencia de temperatura que hay entre ambos objetos	Debido a una transferencia de energía térmica de un objeto a otro	Es un proceso espontáneo independiente de la temperatura	No se originaría un flujo de calor al retirar la barrera aislante
---	---	---	--	---

4. Una vez retirada la barrera aislante:

A) ¿Qué sucedería con la temperatura de ambos objetos después de transcurrido un cierto tiempo?

Se quedaría igual, no cambiaría en ninguno de los dos objetos	La temperatura final sería de 75°C para ambos objetos	La temperatura final sería de 50°C para ambos objetos	La temperatura final sería de 62°C para ambos objetos
---	---	---	---

¿Por qué?

--

B) ¿Podrían ambos objetos alcanzar un *Equilibrio Térmico*?

SÍ	NO
¿Cómo estaría caracterizado este estado de equilibrio?	

5. Resuelve el ejercicio:

La temperatura promedio del cuerpo humano es 36.5 °C. En un día con baja temperatura (temperatura ambiente = 5°C) si no te pones una chamarra, o suéter, sientes “frío”. ¿Por qué la chamarra te ayuda a no sentir frío?

6. Resuelve el ejercicio:

Al tocar con la mano una taza que contiene una bebida caliente (té, café, etc.), se produce una sensación de “calor” ¿Por qué? ¿Qué sucede al entrar en contacto la mano y la taza?

Capítulo 5: Propiedades Aditivas de la Temperatura.

Imagina dos recipientes A y B que contienen la misma cantidad de la misma sustancia. La temperatura de la sustancia de ambos recipientes puede ser la misma (temperatura de A = temperatura de B), o puede ser diferente (temperatura de A mayor que la temperatura de B).

Imagina que viertes la sustancia del recipiente A en el recipiente B. Contesta las siguientes preguntas:

1. Cuando las sustancias se encuentran a temperaturas distintas ¿qué temperatura resulta de la mezcla de ambas sustancias?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la temperatura de la sustancia que tenía la temperatura más alta
¿Por qué?			

2. Cuando las sustancias se encuentran a la misma temperatura ¿qué temperatura resulta de la mezcla de ambas sustancias?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas iniciales	La temperatura resultante es la misma que la temperatura inicial de ambas sustancias
¿Por qué?			

3. Qué sucedería si A y B están a la misma temperatura, pero hay mayor cantidad de sustancia en A que en B, ¿cuál será la temperatura final al juntar ambos contenidos en un sólo recipiente?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es la misma que la temperatura inicial de A y B
---	---	---	---

4. Qué sucedería si A tiene mayor temperatura que B, y A tiene mayor cantidad de sustancia que B, ¿cuál será la temperatura final al juntar ambos contenidos en un sólo recipiente?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es igual a la temperatura de A	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas de A y B	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas de A y B
¿Por qué?			

5. Qué sucedería si A y B son sustancias diferentes por ejemplo, leche y café pero hay la misma cantidad de ambas y están a la misma temperatura, ¿cuál será la temperatura final al juntar ambas sustancias en un sólo recipiente?

La temperatura resultante es la suma de las temperaturas de la leche y el café	La temperatura resultante es la diferencia de las temperaturas de la leche y el café	La temperatura resultante es el promedio de las temperaturas de la leche y el café	La temperatura resultante es la misma que la temperatura inicial de la leche y el café
¿Por qué?			

6. Puedes utilizar las secciones del libro que consideres necesarias para contestar las siguientes preguntas.

A. Desde su punto de vista el calor, o flujo de calor, es:

Una propiedad que caracteriza a todos los objetos, o materia.	Una cosa que pueden contener o absorber los objetos.	Un proceso de transferencia de energía térmica	La temperatura de un cierto objeto
¿Por qué?			

B. Desde su punto de vista la temperatura representa:

Una propiedad que caracteriza a todos los objetos, o materia.	La energía térmica de las partículas que conforman a un cierto objeto.	La energía cinética promedio de las partículas que conforman a un cierto objeto.	La cantidad de calor que contiene un cierto objeto
¿Por qué?			

ANEXO IV: MEMORIA DE TRABAJO SIMULADOR

Num. Equipo _____

1. Indica: ¿qué elementos del programa de cómputo te ayudaron o no te ayudaron a comprender y a resolver los ejercicios?

Elementos del Programa	Me ayudaron		No me ayudaron
	Mucho	Poco	
Imágenes			
La sección: <i>Más Información</i> (Definiciones sobre los elementos mostrados en pantalla)			
Animación y movimiento de elementos en la pantalla			
Botones y/o controladores del programa			
Motivación (me gusta trabajar con programas de cómputo)			
Otro			

2. Indica: ¿cuáles de los siguientes aspectos intervinieron mucho, poco o nada, en la comprensión y solución de los ejercicios al utilizar el programa de cómputo?

Aspectos	Intervino en la comprensión y solución de los ejercicios		
	Mucho	Poco	Nada
Poder ver lo que está sucediendo			
Poder manipular y controlar con la mano la información presentada en la pantalla			
El parecido que tiene el programa con situaciones reales			
Leer las definiciones de la sección: <i>Más Información</i>			
Imaginar en mi mente los eventos que aparecen en la pantalla			
Imaginar en mi mente los eventos que se			

presentan en los ejercicios			
Hacer un dibujo o diagrama de las definiciones y eventos que se muestran en la pantalla			
Hacer un dibujo o diagrama de los problemas que aparecen en los ejercicios			
Conocimientos previos sobre el tema que trataban los ejercicios			

3. ¿Te faltó información para resolver los ejercicios?

Tipo de Información	Faltó	
	SI	NO
Más Imágenes		
Animaciones		
Mayor manipulación de elementos		
Conceptual (más definiciones)		
Más conocimiento previo sobre los temas presentados		
Más instrucciones		
Otro		

4. ¿Resolviste alguno de los ejercicios sin utilizar el programa de cómputo?

		En caso afirmativo, indica la sección y el número de ejercicio que resolviste sin utilizar el programa
SI	NO	

5. ¿Cuáles de las siguientes situaciones fueron posibles o imposibles al utilizar el programa de cómputo para resolver los ejercicios?

Situaciones	Posible	Imposible
Trabajo en conjunto con los compañeros de mi equipo		
Discusión e intercambio de información entre compañeros del equipo		
Llegar a una conclusión en conjunto y consensuada con mi equipo		
Igual participación de todos los miembros del equipo en la resolución de los ejercicios		
Motivación de todos los miembros del equipo para resolver los ejercicios		

6. ¿Cuáles de los siguientes aspectos crees que resultarían más fáciles, difíciles o igual al utilizar un libro de física en lugar de un programa de cómputo para resolver los ejercicios que realizaste?

Aspectos	Con un libro resultaría		
	Más Fácil	Más Difícil	Igual
Visualizar las situaciones que se presentan en los ejercicios			
Comprender las situaciones que se presentan en los ejercicios			
Comprender las definiciones sobre los temas que se presentan en los ejercicios			
Describir los eventos que se presentan en los ejercicios			
Conocer más sobre los temas que se presentan en los ejercicios			
Discutir e intercambiar ideas con los compañeros			
Trabajar en equipo			
Motivación para resolver los ejercicios			
Otro			

ANEXO V: MEMORIA DE TRABAJO TEXTO ILUSTRADO

Num. Equipo _____

1. ¿Cuáles elementos del texto te ayudaron o no te ayudaron a comprender y a resolver los ejercicios?

Elementos del Texto	Me ayudaron		No me ayudaron
	Mucho	Poco	
Imágenes			
Contenido y definiciones			
Longitud del texto			
Formato (tipo y tamaño de letra)			
Motivación (me gusta leer)			
Otro			

2. ¿Cuáles de los siguientes aspectos intervinieron mucho, poco o nada, en la comprensión y solución de los ejercicios?

Aspectos	Intervino en la comprensión y solución de los ejercicios		
	Mucho	Poco	Nada
Imágenes			
Leer las definiciones			
Imaginar en mi mente los eventos que aparecen en el texto			
Imaginar en mi mente los eventos que aparecen en los ejercicios			
Hacer un dibujo o diagrama de las definiciones que aparecen en el texto			
Hacer un dibujo o diagrama de los problemas que aparecen en los ejercicios			
El parecido que tienen las definiciones que se presentan en el texto con situaciones reales			
El parecido que tienen las imágenes que acompañan el texto con situaciones reales			
Conocimientos previos sobre el tema que trataban los ejercicios			

3. ¿Te faltó información para resolver los ejercicios?

Tipo de Información	Faltó	
	SI	NO
Más Imágenes		
Conceptual (más definiciones)		
Más conocimiento previo sobre los temas presentados		
Más instrucciones		
Otro		

4. ¿Resolviste alguno de los ejercicios sin recurrir al texto?

		En caso afirmativo, indica la sección y el número de ejercicio que resolviste sin recurrir al texto
SI	NO	

5. ¿Cuáles de las siguientes situaciones fueron posibles o imposibles al utilizar el texto para resolver los ejercicios?

Situaciones	Posible	Imposible
Trabajo en conjunto con los compañeros de mi equipo		
Discusión e intercambio de información entre compañeros del equipo		
Llegar a una conclusión en conjunto y consensuada con mi equipo		
Igual participación de todos los miembros del equipo en la resolución de los ejercicios		
Motivación de todos los miembros del equipo para resolver los ejercicios		

6. ¿Cuáles de los siguientes aspectos crees que resultarían más fáciles, difíciles o igual al utilizar un programa de cómputo que simulara los fenómenos estudiados en lugar de un texto para resolver los ejercicios que realizaste?

Aspectos	Con un programa de cómputo resultaría		
	Más Fácil	Más Difícil	Igual
Visualizar las situaciones que se presentan en los ejercicios			
Comprender las situaciones que se presentan en los ejercicios			
Comprender las definiciones sobre los temas que se presentan en los ejercicios			
Describir los eventos que se presentan en los ejercicios			
Conocer más sobre los temas que se presentan en los ejercicios			
Discutir e intercambiar ideas con los compañeros			
Trabajar en equipo			
Motivación para resolver los ejercicios			
Otro			

ANEXO VI: TEXTO ILUSTRADO