



UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES
EXPERIMENTALS

“Evolución de los modelos conceptuales de los estudiantes en la implementación de la práctica “disipación de energía por rozamiento” y sugerencias de refinamiento de ésta”

**Màster de Recerca en Didàctica de la
Matemàtica i de les Ciències Experimentals**

Autora:
Macarena Soto Alvarado

Tutora:
Doctora Digna Couso Lagarón

Fecha de presentación: 8 de Septiembre del 2013

Agradecimientos

Pensé que una vez terminada mi tesis de pregrado y titularme como profesora de física y matemática me dedicaría a trabajar en un colegio tratando de motivar a los estudiantes a aprender y disfrutar de la física, lo cual en primera instancia fue así.

La verdad es que no estaba en mis planes viajar a Barcelona, pero son esas oportunidades que te brinda la vida y que tienes que aprovechar si o si.

Gracias a esta gran locura de dejar mi país y a mi familia, he conseguido conocer a personas maravillosas, visitar lugares de ensueño y culminar este trabajo de máster que me ha permitido la oportunidad de reflexionar acerca de mi propia disciplina y descubrir que el camino de la investigación también puede ser un nuevo desafío en mi vida.

Quiero dar las gracias a mis padres: Mónica y Juan Carlos y a mi hermano Diego por su apoyo incondicional en este proceso, por cuidar de la Tesla y estar conmigo todos los días incluso a la distancia. Los adoro.

También quiero agradecer a mi Tutora, la Dra. Digna Couso, por todos sus consejos y su sabiduría. Muchas gracias por guiarme en este proceso y animarme a continuar siempre adelante.

Cuando comencé el máster tuve la oportunidad de tener dos tutoras y la Dra. Marissa Hernández fue muy importante en mi formación. Muchas gracias, por orientarme en esta nueva disciplina, desconocida para mi y brindarme siempre su ayuda.

Quiero agradecer a Víctor López por todo su apoyo y participación en el desarrollo de este trabajo y también a todos los estudiantes de las diversas escuelas de Catalunya, por ser parte de este estudio.

Quiero agradecer a todos los profesores del máster y de la Universidad Autónoma de Barcelona que contribuyeron en mi formación, en especial a la Dra. Roser Pintó, por dedicar parte de su tiempo en ayudarme a aclarar conceptos claves para el desarrollo de mi trabajo.

Finalmente muchas gracias a Conicyt, por ser mi soporte económico y otorgarme esta beca que cambio mi vida y también a Nicolás por ser mi compañero en este proceso.

Gracias a todos los que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

Macarena Soto Alvarado

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema y su justificación	6
1.1 Introducción	6
1.2 Planteamiento del problema y su justificación	6
1.3 Preguntas y objetivos de la investigación	8
2. Marco Teórico	9
2.1 Enseñanza de la energía	9
2.2 Modelos y modelización en el aula	11
2.3 Progresión del aprendizaje	13
2.4 Modelización basada en la indagación (MBI)	14
2.5 ¿Por qué el trabajo práctico es esencial para el desarrollo del conocimiento científico en los estudiantes?	15
2.6 Paradigma de la investigación basada en el diseño	16
3. Metodología	18
3.1 Marco metodológico: paradigma y enfoque de la investigación	18
3.2 Contexto y participantes	18
3.3 Estrategia e instrumento de recolección de datos	20
3.3.1 Descripción del dossier virtual	20
3.3.2 Preguntas del dossier que constituyen nuestro instrumento de recogida de datos	21
3.4 Metodología de análisis de datos	24
3.4.1 Proceso de refinamiento del diseño original	24
3.4.2 Análisis de las concepciones de los estudiantes sobre el modelo de energía	24
3.4.3 Análisis de los momentos 2 y 3 a través de las redes sistémicas	25
3.4.3 Análisis de la evolución de los estadios del modelo de energía de los estudiantes	25
3.5 Estrategia de recolección y análisis de datos	26
4. Resultados y discusión de resultados	27
4.1 Bloque 1: Resultados de los momentos 1 y 2	28
4.1.1 Resultados del refinamiento del diseño original	28
4.1.2 Las concepciones de los estudiantes al inicio y final de la práctica en el momento 2	32
4.1.3 La evolución de los modelos de los estudiantes a través de los estadios	42
4.1.4 Discusión de los resultados del momento 2	45

4.1.1 Resultados del refinamiento de la versión N°1	47
4.1.2 Las concepciones de los estudiantes al inicio y final de la práctica en el momento 3	51
4.1.3 La evolución de los modelos de los estudiantes a través de los estadios	62
4.1.4 Discusión de los resultados del momento 2.....	64
4.2 Bloque 2: Resultados globales: comparativa de los resultados en los diferentes momentos de implementación.....	65
4.2.1 Comparativa del refinamiento del material didáctico.....	65
4.2.2 Comparativa de la evolución de los estadios del modelo	67
4.2.3 Discusión de resultados globales.....	70
5.Conclusiones	71
5.1 Respecto a las modificaciones del material educativo	71
5.2 Respecto a la evolución de los estudiantes en los estadios del modelo de energía	72
Bibliografía.....	74
Anexo 1: Versión 0	76
Anexo 2: Versión 1	83
Anexo 3: Versión 2	92
Anexo 4: Versión 3	100

1. Planteamiento del problema y su justificación

1.1 Introducción

La energía es uno de los conceptos científicos más complejos y que presenta una gran dificultad tanto para ser enseñado como aprendido, sin embargo es uno de los más usados tanto en explicaciones científicas como cotidianas. Esta investigación pretende medir la evolución de los modelos que desarrollan tres grupos de estudiantes, con respecto a la energía, en el contexto del proyecto REVIR, con la finalidad de identificar puntos débiles de la práctica y refinarla. Basándonos en el paradigma de la investigación basada en el diseño, realizamos tres modificaciones; la primera a la práctica original a partir de un análisis teórico y las dos siguientes se refinaron de acuerdo a los resultados que encontramos de los análisis de los dossiers de los estudiantes, proponiendo un diseño final que, debido al tiempo limitado de este trabajo de máster, no se ha implementado. A partir de estos tres ciclos de diseño-implementación-análisis-refinamiento proponemos un material didáctico mejorado, el que esperamos que potencie el modelo de energía basado en las ideas de Ogborn y otros expertos en didáctica de las ciencias y expuesto por López y Pintó (2012), que enfatiza las ideas de conservación, transferencia y degradación de la energía. También aportamos con la creación de estadios de los modelos de energía, dónde identificamos aquellas fronteras más difíciles de cruzar por los estudiantes para llegar a un modelo más sofisticado y cercano al teórico.

1.2 Planteamiento del problema y su justificación

No es una exageración decir que la enseñanza de la energía es “un lío” (Millar, 2005) puesto que algunos autores del campo de la didáctica de las ciencias (por ejemplo López y Pintó, 2012), plantean que la energía es un concepto abstracto y complejo del cual no existe una definición única, ni un modelo científico en la comunidad educativa que muestre cómo enseñar este contenido en los establecimientos.

Además, el término “energía” es uno de los más utilizados en la vida cotidiana, tal como lo señala Mans (2008) “pocas palabras encontraríamos que usen al mismo tiempo el científico y la persona de la calle, el publicista y el esotérico, el psicólogo y el político, el dietista y el artista de circo, lo más interesante del caso es que en la mayor parte de usos

para que los que se emplea esta palabra sus significados son bastante similares y homologables. Pero quizás habría que ser un poco más precisos cuando la usamos” (cit. en López y Pintó, 2012). Es por esto, que al estudiar el concepto de energía en los establecimientos se generan muchas concepciones y definiciones, por parte de los estudiantes, muy distintas a las establecidas por la comunidad científica.

Pero, esta no es la única dificultad que tiene este concepto en la educación escolar, pues también existen algunas complejidades a la hora de explicar la transferencia, la transformación y la degradación de la energía, ¿cuántos tipos de energía existen?, y si realmente la energía se conserva.

Por todo lo anterior, nos surge el interés de investigar, analizar, criticar y sugerir en la práctica “disipación de la energía por rozamiento” del proyecto REVIR, en la que se pretende modelizar el concepto de energía y sus grandes ideas, a través de una práctica de corta duración.

Millar (2005) nos señala que la mayoría de alumnos terminan la escolarización científica con las mismas concepciones espontáneas en torno a la energía que las que tenían cuando empezaron. Esto nos hace cuestionar el modo de ejecución de las prácticas de aula para enseñar este contenido y nos motiva a tomar una actitud crítica ante el diseño de una práctica de aula que pretende superar los obstáculos recién mencionados.

Por lo tanto, nos interesa ofrecer un mecanismo para analizar innovaciones didácticas y a nivel práctico, nos interesa proponer un material educativo mejorado, que pueda ser utilizado en diversos contextos y en especial en el proyecto REVIR. Es por esto que refinaremos esta práctica dentro del paradigma de la investigación basada en el diseño (DBR), considerando la importancia que este proceso se realice en base a resultados y no por intuición (Hernández, 2012).

Esta investigación también pretende resaltar la importancia del trabajo en conjunto entre diseñadores e investigadores, ya que a partir del diálogo, se pueden tomar buenas decisiones de diseño que promuevan el aprendizaje de los estudiantes y los guíen a las ideas de transferencia, degradación y conservación de la energía.

Finalmente, con la creación de los estadios nos interesa identificar las fronteras de aprendizaje del modelo de energía, para que los docentes las tengan en cuenta y busquen estrategias para poder superarlas en futuras prácticas de aula.

1.3 Preguntas y objetivos de la investigación

1. ¿Cómo progresan los estudiantes desde sus modelos iniciales de energía hacia el modelo conceptual que se espera construir con la implementación de la práctica del Revir? y ¿cuáles son las fronteras más difíciles de cruzar?

2. ¿Qué aspectos, relativos al diseño de la práctica, no permiten a los estudiantes llegar a un modelo más sofisticado de energía? y ¿qué cambios podemos introducir a la práctica para superar los obstáculos identificados?

OBJETIVO 1: Describir la evolución de modelos conceptuales de los estudiantes en la implementación de la práctica “disipación de energía por rozamiento” del proyecto REVIR.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar el inventario de concepciones de los estudiantes, al inicio y al final de la práctica, a lo largo de los diferentes momentos de la investigación.
- Construir estadios que representen el nivel de conceptualización de los alumnos, con respecto al modelo de energía que queremos que aprendan, identificando las fronteras o pasos problemáticos entre cada uno de los estadios.

A partir de los resultados del objetivo 1, nos planteamos el objetivo 2.

OBJETIVO 2: Proponer mejoras, de forma iterativa, para el refinamiento sucesivo de la práctica que permitan a los alumnos llegar a un modelo conceptual de energía más sofisticado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar los problemas del diseño educativo y clasificarlos por tipología de modificaciones.
- Proponer y ejecutar nuevas versiones del material educativo.

2. Marco Teórico

En esta sección pretendemos abordar las principales temáticas implícitas en nuestra investigación, con la intención de dar a conocer lo que dice el campo de la didáctica de la ciencia con respecto a la enseñanza de la energía, a la modelización, a la modelización basada en la indagación, el paradigma de la investigación basada en el diseño y la importancia de los trabajos prácticos.

2.1 Enseñanza de la energía

Las investigaciones sobre las ideas de los estudiantes con respecto al concepto de energía, ha señalado la existencia de una gran cantidad de ideas alternativas de los estudiantes. Estas ideas, recurrentes y contradictorias, pueden constituir en algunos casos auténticos obstáculos para una enseñanza adecuada de la energía.

Algunas de estas ideas son:

- Asociar la energía con objetos animados, considerando que los cuerpos que se mueven poseen energía.
- Asociar la energía como un agente causal, como algo que los cuerpos poseen y que les permite realizar alguna acción o algún cambio en el entorno.
- La energía es una especie de sustancia que se almacena en los objetos, como por ejemplo en los alimentos.
- La energía es un combustible.
- La energía es un fluido que va de un cuerpo a otro.
- La energía es la capacidad para realizar un trabajo.

(Duit, 1984; Pintó, 1991 y Driver, 1999)

Estas ideas inadecuadas, son resistentes al cambio y podemos asociar su uso a la dificultad del concepto de energía.

Una de las principales dificultades reside en el concepto en sí mismo, ya que energía es un concepto que no tiene una clara definición, tal como nos señala Feynmann (1971): “en la física actual no sabemos qué es la energía. No existe un modelo de energía formada por pequeñas gotas de un tamaño definido, hay fórmulas que nos permiten calcular ciertas cantidades numéricas que al sumarlas todas nos dan un mismo número, pero si

se intenta buscar una definición de energía, nos daremos cuenta que no existe una única definición formal sino diferentes aproximaciones que parten de enfoques diferentes” (cit. en López y Pintó, 2012), por lo tanto es necesario fortalecer la enseñanza de la energía en el aula y evitar la transmisión de estas ideas que dificultan la comprensión de este concepto.

Millar (2005), Pintó, Couso y Gutiérrez (2005), comparten la necesidad de profundizar el concepto de energía en la educación secundaria y también en el profesorado pues estos últimos también pueden contribuir en la transmisión errónea de algunos conceptos, así como también lo realizan algunos medios de comunicación, como los libros escolares, la publicidad, entre otros.

La energía es un concepto de vital importancia para la comprensión de la ciencia (Neumann, Viering, Boone y Fischer, 2013), es fundamental para la comprensión del mundo biológico, químico, físico y tecnológico (Driver y Millar, 1986 cit en Neumann y otros, 2013) y es muy relevante en la física porque es una cantidad que se conserva (Feynman, 2011, cit en Neumann y otros, 2013).

Varios investigadores han manifestado la importancia de algunas ideas de energía que son claves para llegar a una verdadera comprensión del concepto (Duit, 1984; Salomon, 1986; Millar, 2005; López y Pintó, 2012; Neumann y otros, 2013).

Estas ideas se resumen a continuación:

1.- La energía está asociada a la configuración de un sistema, a su estado, a cómo éste se encuentra en determinadas circunstancias, por ejemplo: un resorte comprimido, un cuerpo que se encuentra a cierta altura, una fecha en un arco tensado, etc. Sólo podemos medir las variaciones de energía a partir de los cambios que experimente el estado del sistema por ejemplo: en como se mueven, si cambió su temperatura, etc. La energía se manifiesta a través de diversos observables.

2.-La energía puede ser transferida de un sistema a otro o bien en algunos casos puede transformarse de una forma a otra. En el caso de la transformación de energía es importante señalar que existen tres tipos de energía: cinética, potencial e interna, por lo tanto, hay que tener cuidado con la idea de transformación, porque puede asociarse a múltiples tipos de energía. En el caso de la transferencia de energía, esta ocurre a través de dos mecanismos que se denominan trabajo y calor.

3.- Cuando la energía se transforma o se transfiere, parte de ella se degrada, es decir, cada vez se vuelve menos útil y decrece la capacidad que tienen los sistemas de producir cambios en otros sistemas.

4.- La energía es una cantidad que se conserva.

A propósito de estas cuatro ideas fundamentales para la enseñanza de la energía, algunos autores como Solbes y Tarín (1998) nos mencionan que no todas ellas son trabajadas en el aula. El concepto de conservación de la energía se trabaja en general, no así los conceptos de transferencia y degradación de la energía, que son esenciales para la comprensión del modelo.

Es de suma relevancia no limitarse solamente a enseñar el principio de conservación de la energía, sino más bien dar a conocer a los estudiantes situaciones y ejemplos donde está presente la degradación de la energía (López y Pintó, 2012), como a su vez resaltar la idea de transferencia dejando de prestar atención a las formas de energía y las transformaciones que se producen.

En general podemos observar que en el aula de clases se utilizan múltiples expresiones matemáticas para calcular las variaciones de energía, sin embargo, cuando los estudiantes deben analizar aspectos conceptuales, se observan grandes dificultades. “Algunos estudios muestran que los estudiantes pueden resolver problemas de física con complicadas relaciones matemáticas, pero no son capaces de interpretar o predecir los acontecimientos reales en situaciones sencillas y prácticas” (Rozier, 1988, cit en Tiberghien, 1994). Por lo tanto, para que el aprendizaje de la energía sea significativo es necesario abarcarla también en términos cualitativos, para que los estudiantes puedan explicar los fenómenos físicos con sus palabras (Duit cit en Driver, 1999).

Una buena práctica, debe permitir a los estudiantes progresar de modelos simples a modelos complejos, sin que ellos memoricen ecuaciones y las utilicen sin sentido, sino que siendo capaces de asociar los fenómenos a situaciones de la vida diaria.

2.2 Modelos y modelización en el aula

Existe un amplio consenso en la comunidad de didáctas de las ciencias en considerar que los modelos son elementales en las prácticas científicas, sin embargo aun no se establece una definición única de lo que es un modelo (Oh y Oh, 2010).

El término más utilizado para definir la palabra modelo es representación y esta representación puede ser de una idea, objeto, proceso o sistema creado con un objetivo específico (Justi, 2006; Schwarz, Reiser, Davis, Kenyon, Achér, Fortus, Shwartz, Hug, Krajcik, 2009; Oh y Oh, 2010). Todo depende de que modelo estemos hablando, considerando que existen varios como los modelos científicos, conceptuales y mentales, que a continuación explicaremos brevemente.

Un modelo científico es una representación de un sistema real o hipotético, constituido por un conjunto de objetos con sus propiedades y leyes que explican los comportamientos de éstos (Bunge, 1973 cit en Hernández, 2012). Los modelos científicos se utilizan en general para predicciones y explicaciones.

Algunos ejemplos de modelos científicos son: el modelo de Bohr del átomo, el modelo de partículas de la materia, el modelo de ciclo del agua, etc. Creados para dar sentido a lo que se observa y para conectar una teoría y un fenómeno (Schwarz y otros, 2009).

Los modelos científicos, en general, se expresan a través de representaciones complejas (como expresiones matemáticas), lo que frecuentemente los hace parecer muy abstractos y difíciles de comprender.

En la enseñanza de las ciencias, un modelo conceptual es un modelo científico que ha sido transpuesto para facilitar la comprensión de un grupo específico de estudiantes (Acher, Arcà, y Sanmartí, 2007; Buty, Tiberghien, y Le Maréchal, 2004 cit en Hernández, 2012), ya que son utilizados para representar fenómenos científicos que son demasiado complejos o difíciles de observar directamente (Adúriz y Morales, 2002).

Y por último los modelos mentales son representaciones de las cosas que tenemos en la cabeza, los cuales pueden ser idénticos, similares o muy diferentes de los modelos conceptuales que se enseñan en la clase de ciencias (Hernández, 2012).

En esta investigación nos centraremos en los modelos conceptuales, ya que son los utilizados en el diseño de la práctica del REVIR para modelar el concepto de energía y en los modelos mentales, que son los que analizaremos para observar la evolución de éstos en distintos grupos de estudiantes.

El enfoque basado en modelos que hace hincapié que el proceso de modelización se puede desarrollar a través de diferentes actividades. Algunos autores describen estas actividades y entre ellas destacamos las que incorporan los modelos en la investigación científica de los estudiantes (Khan, 2007; Windschitl y Thompson, 2006 cit en Oh y Oh, 2010). En ellas los estudiantes construyen modelos que les permiten interpretar y predecir los resultados que surgen de una investigación científica, logrando sofisticar sus ideas anteriores.

Es esencial que los estudiantes aprendan a hacer ciencia, es decir que los estudiantes sean capaces de crear, expresar y comprobar sus propios modelos (Justi y Gilbert, 2002 cit en Justi 2006). Cuando los estudiantes expresan sus modelos a los demás, fijan la atención en aspectos destacados del modelo y pueden realizar interconexiones con otros argumentos (Oh y Oh, 2010). Es importante que el profesor presente múltiples representaciones de modelos a los estudiantes, ya que de esta forma, fomenta el

aprendizaje efectivo de ellos (Adadan, Irving, y Trundle, 2009; Ainsworth, 2008; Tsui y Treagust, 2003, cit en Oh y Oh 2010).

En resumen, nuestro objetivo educativo es diseñar una práctica de enseñanza basada en modelos, con una serie de actividades modelizadoras (predicción de un fenómeno, discusión entre pares, ejecución de un experimento, recogida de datos, interpretación del fenómeno y aplicación de éste), que le permita a los estudiantes reflexionar y mejorar progresivamente sus propios modelos mentales y conectarlos con los fenómenos observados a partir del mundo externo.

2.3 Progresión del aprendizaje

Cuando hablamos de progresiones de aprendizaje (LPs), hacemos referencia a que los estudiantes desarrollan razonamientos más complejos de un dominio de un contenido y su capacidad de usar conceptos científicos y explicaciones científicas se vuelve más sofisticada, con una instrucción adecuada.

Las LPs surgen para apoyar la enseñanza de conceptos científicos y proporciona a los docentes un marco de referencia para evaluar el nivel de comprensión de un concepto básico de sus estudiantes y para orientarlos hacia un nivel más sofisticado de comprensión (Neumann y otros, 2013).

Para crear una secuencia didáctica, que promueva una progresión de los aprendizajes de los estudiantes, es necesario que incluya conceptos fundamentales de la enseñanza de la ciencia, es decir que sean conceptos que tengan conexión con otros conceptos científicos (Duncan y Hmelo-Silver, 2009, cit en Zabel y Gropengiesser, 2011; Duschl, Schweingruber y Shouse, 2007, cit en Neumann y otros, 2013), ya que a partir de ellos los estudiantes podrán sofisticar su razonamiento en el dominio de un contenido.

Todos los estudiantes no manifiestan una misma progresión de aprendizaje, es por esto que deben existir entre el nivel más bajo de comprensión al nivel más alto, niveles intermedios de entendimiento (Duschl y otros, 2007 cit en Neumann y otros, 2013) que permitan situar a cada estudiante, para posteriormente buscar estrategias que les permitan ascender a un nivel superior.

Nos interesa dar a conocer las LPs, ya que la construcción del modelo de energía se genera poco a poco, con la adquisición de las ideas más simples a las más complejas y a través de los niveles de comprensión podremos identificar los aspectos que se deben resaltar del modelo, para introducirlos en la práctica y obtener mejores resultados.

2.4 Modelización basada en la indagación (MBI)

La construcción de modelos se puede generar en un contexto experimental, pero es importante que las actividades experimentales sean de naturaleza investigadora, ya que de esta manera proporcionan a los estudiantes la oportunidad de pensar, de utilizar sus conocimientos previos y destrezas en la solución de problemas de los que no tienen una respuesta evidente (Duggan y Gott cit en justí, 2006).

Por lo anterior, el rol de la experimentación en las prácticas no debe ser solamente de recolección de datos y su interpretación, sino que debe contribuir en la construcción de modelos y su posterior aplicación. Pero esto no se puede conseguir con el método científico tradicional, pues éste se centra en la actividad material en vez de la comprensión profunda de un tema (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008).

La mayoría de los maestros y muchos de sus estudiantes pueden recitar de memoria los pasos del método científico y en primera instancia este método ha permitido a muchos profesores motivar a sus estudiantes en clases de ciencias, sin embargo se tergiversa el trabajo intelectual fundamental realizado por las ciencias (Windschitl y otros, 2008).

Los científicos realizan múltiples actividades. Ellos observan a sus pares realizar demostraciones de nuevos equipos y técnicas, construyen procedimientos de laboratorio, tratan de replicar los estudios de otros científicos, inventan nuevas tecnologías, hacen investigaciones en la biblioteca, y utilizan el conocimiento para resolver problemas prácticos (Windschitl y otros, 2008), todo este conjunto de actividades entre muchas otras forman parte de la epistemología del mundo científico.

Sin embargo, el método científico no incluye elementos tan esenciales como los recién mencionados y a partir de este problema surge una nueva visión para la investigación que es la modelización basada en la indagación (MBI), la cual incorpora cinco características del conocimiento científico (modelos comprobables, revisables, explicativos, conjeturales, y generativos) e incluye el discurso dentro de ámbitos fundamentales en la práctica escolar.

La MBI enfatiza que los estudiantes articulen relaciones entre las ideas, las pruebas y explicaciones, en lugar de centrarse en las manipulaciones materiales, de modo que puedan dar explicaciones a fenómenos del mundo natural, dar ejemplos de su aplicación y limitaciones (Windschitl y otros, 2008).

La MBI surge para terminar con el problema de las prácticas indagativas, ya que éstas pueden llevar a los estudiantes a una visión limitada de las ciencias (Oh y Oh, 2010), al no tener conexión con la teoría científica que se quiere enseñar y aprender. Este tipo de

investigación educativa pretende conectar los conceptos científicos con las actividades de indagación con la finalidad de construir modelos que permitan a los estudiantes realizar predicciones y explicaciones (Windschitl y otros, 2008).

2.5 ¿Por qué el trabajo práctico es esencial para el desarrollo del conocimiento científico en los estudiantes?

El objetivo de la educación científica es ayudar a los estudiantes a desarrollar una comprensión del mundo natural: lo que contiene, cómo funciona, y cómo podemos explicar y predecir su comportamiento (Millar, Tiberghien y Le Maréchal, 2002).

Así, en la enseñanza de la ciencia, se construye el conocimiento científico en base a situaciones cotidianas y a través de actividades cuidadosamente diseñadas en las que los estudiantes observan e interactúan con objetos reales. A este tipo de actividades Millar (2004) las denomina "trabajo práctico".

El propósito fundamental de cualquier trabajo práctico, como el que se realiza en el laboratorio, es ayudar a los estudiantes a hacer conexiones entre los dos dominios de los objetos reales (cosas observables) con el dominio de las ideas (Millar y otros, 2002).



Figura 1. El propósito fundamental del trabajo de laboratorio es ayudar a los estudiantes a establecer vínculos entre dos dominios (Millar y otros, 2002)

Los trabajos prácticos son un componente necesario para las conexiones entre las observaciones y las ideas, ya que a medida que los estudiantes actúan sobre el mundo sus ideas se forman y desarrollan (Millar, 2004).

En los países con una tradición de trabajo práctico en la escuela como por ejemplo, Reino Unido, el trabajo práctico se ve como una actividad atractiva y eficaz para la educación científica porque ayuda a los estudiantes a comprender la ciencia, a apreciar que la ciencia se basa en la evidencia y a adquirir habilidades prácticas que son esenciales en el mundo científico (Millar, 2004).

Una actividad práctica puede formar parte de un proceso de modelización de un concepto y ante esto, cuando un fenómeno es poco probable de visualizar en la vida cotidiana de un estudiante o cuando se necesita acercar a los estudiantes a un concepto complejo o abstracto, en ambos casos la actividad experimental es esencial e insustituible (Millar, 2004).

Por lo anterior, al visualizar un fenómeno, en el que detrás de él hay conceptos científicos de alta complejidad, los estudiantes se sienten atraídos por el fenómeno (objetivo del trabajo práctico) y son capaces de vincular una observación con una manera de pensar, realizando diferentes representaciones mentales que se pueden consolidar a través de las interacciones con sus pares. A través de la interacción social, las representaciones mentales son modificadas y refinadas, generándose un modelo más sofisticado del fenómeno estudiado y todo esto se puede lograr bajo la mirada de los trabajos prácticos, pues un trabajo estimulado anima una discusión en clases (Millar, 2004).

Existen evidencias que demuestran que los estudiantes consideran que el trabajo práctico es relativamente útil y disfrutable en comparación con otras actividades de enseñanza de las ciencias (Millar, 2004).

Otra ventaja de los trabajos prácticos es que provienen de un hecho real, por lo tanto entregan mucha más información que cualquier otra representación de un fenómeno como un video, fotografías u otros. A partir de un trabajo práctico se pueden obtener datos más completos de un fenómeno, mediante una observación real y los estudiantes prestan mucha más atención ya que los realizan por si mismos.

Los trabajos prácticos permiten a los estudiantes realizar predicciones de un fenómeno por adelantado y después a través de un experimento verificar, apoyar o refutar su predicción inicial. También Millar (2004), nos señala que enfocar las clases de ciencias a través de trabajos prácticos más abiertos y en periodos más prolongados de tiempo, puede alentar a los estudiantes a ser más independientes y autosuficientes como también en adquirir un interés por la ciencia y la motivación para continuar sus estudios en esta área (Jakeways, 1986; Woolnough, 1994).

Concluimos mencionando que los trabajos prácticos son esenciales en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia, como en el desarrollo de los estudiantes en cuando a conocimientos científicos y conocimientos acerca de la disciplina (Millar, 2004).

2.6 Paradigma de la investigación basada en el diseño

La investigación basada en el diseño¹ o DBR es un paradigma que nace por la necesidad de involucrar la investigación en el campo de las innovaciones didácticas, con la intención

¹ En inglés: Design-Based Research (DBR)

de estudiar el aprendizaje en diversos contextos y validar el funcionamiento de estas innovaciones, aportando a la teoría que hay detrás de ellas.

Los autores del grupo The Design-Based Research Collective (2003), argumentan que la investigación basada en el diseño combina la investigación empírica educativa con el diseño basado en la teoría de los ambientes de aprendizaje.

El colectivo de investigadores que llevan a cabo investigaciones basadas en el diseño considera que la necesidad de este tipo de investigaciones surge al constatar que las grandes teorías educativas (como el constructivismo, el socio-constructivismo, la teoría de la cognición situada, entre otras) son demasiado generales y poco eficaces a la hora de apoyar la toma de decisiones relacionadas con el diseño de innovaciones y con el ajuste o refinamiento de intervenciones que "no acaban de funcionar" (diSessa, 2006 cit en Hernández 2012).

La DBR puede ayudar a crear y ampliar los conocimientos sobre el desarrollo, generar conocimiento en buenos contextos y sostener entornos innovadores de aprendizaje.

Hernández (2012) en su tesis doctoral nos comenta algunas de las principales características de las DBR:

- En primer lugar son intervencionistas ya que exploran el mundo educativo actuando sobre él, partiendo del diseño de una innovación. La finalidad del diseño e implementación de intervenciones educativas es la de solucionar problemas de la práctica educativa.
- Son iterativas, ya que tanto el desarrollo de la innovación como la investigación sobre la misma tienen ciclos continuos de diseño, implementación, análisis, evaluación, refinamiento y rediseño, enriquecidos con resultados de investigación, con el objetivo de lograr un equilibrio adecuado entre objetivos esperados y resultados obtenidos.
- Son Interactivas, ya que implican la colaboración de investigadores, diseñadores y profesores para garantizar que la innovación diseñada alcance unos determinados objetivos a la práctica.
- Y finalmente son investigaciones que no se centran solo en documentar el éxito o el fracaso de una innovación sino que analizan elementos de la intervención, para luego refinarlos y ver su funcionamiento a lo largo de la intervención.

Según el grupo DBRC debemos prestar atención al contexto en particular donde una intervención tuvo éxito, pues no se puede generalizar a otros entornos. En el caso de querer generalizar que una práctica es buena en todos los contextos, es necesario estudiar la intervención en una amplia variedad de escenarios.

3. Metodología

3.1 Marco metodológico: paradigma y enfoque de la investigación

Esta investigación es de tipo cualitativo interpretativo y tiene una perspectiva de investigación transformadora (investigación que tiene voluntad e influir directamente en la práctica). Analizaremos los modelos iniciales y finales de los estudiantes, en distintos momentos, con la intención de situarlos dentro de un estadio del modelo de energía y analizar su evolución, identificando aspectos que potencian a los estudiantes a llegar a un modelo más sofisticado de energía e identificar aspectos débiles de la práctica para refinarlos y obtener nuevas versiones del diseño.

Por lo anterior esta investigación se inserta en el paradigma de la investigación basada en el diseño (DBR) planteada por The Design-Based Research Collective (2003) y expuesta en el marco teórico.

Debido a que el marco DBR se plantea como una investigación de corte iterativo que combina diseño de intervenciones y análisis de las mismas, en esta investigación presentamos tres momentos de análisis, refinamientos e implementaciones, para obtener como producto un buen diseño. Junto con el diseñador de la práctica, discutiremos y tomaremos las decisiones de refinamiento que permitan a los estudiantes acercarse a nuestro modelo teórico de energía.

3.2 Contexto y participantes

3.2.1 Contexto del REVIR

El escenario en el que se lleva a cabo este estudio es el proyecto REVIR, una iniciativa del Centro de Investigación para la Educación Científica y Matemática (CRECIM), en el que estudiantes de secundaria de Catalunya tienen acceso a un laboratorio de la Universidad Autónoma de Barcelona, en la Facultad de Educación.

En el laboratorio cada grupo de trabajo tiene a su disposición un ordenador conectado a una interfaz que recolecta la información, para ser analizada en forma gráfica a través de un software.

Frente a la clase hay una pizarra interactiva que se utiliza para la puesta en común de las predicciones gráficas de los grupos de trabajo y para los respectivos contrastes e intervenciones que realiza el docente para guiar el proceso.

Cada estudiante utiliza un dossier de trabajo, en el cual plasman sus concepciones iniciales, responden las preguntas sugeridas, interpretan animaciones o videos y también dibujan las gráficas de predicción.

A su vez la plataforma virtual del REVIR, permite que los estudiantes visualicen en el monitor del ordenador el dossier en formato digital, con las animaciones y videos insertos.

Un miembro de CRECIM, ejecuta la clase durante 4 horas pedagógicas. En el caso de la práctica “disipación de la energía por rozamiento”, el profesor que guió la sesión coincide con ser el diseñador de la práctica y las ejecutó en las tres fechas de implementación que analizamos en esta investigación.

El montaje experimental utilizado para representar el fenómeno, se presenta en la siguiente imagen.

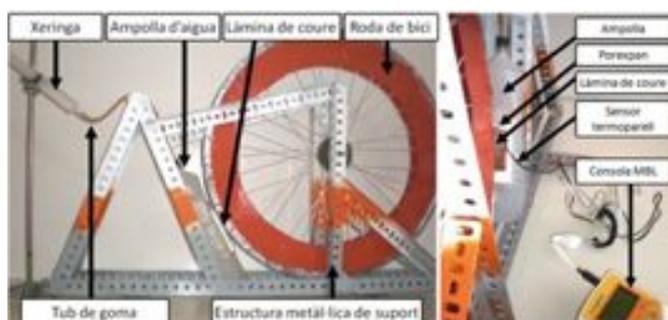


Figura 2. Montaje experimental

Consiste básicamente en una rueda que se hace girar libremente, al ser impulsada por nuestro brazo. Frente a ella se encuentra una botella rellena con agua y conectada a una jeringa. Sobre la botella está adherida una lámina de cobre, y se conecta un sensor de temperatura a ella.

El experimento consiste en hacer girar la rueda y de inmediato presionar la jeringa, de modo que se produzca un aumento del volumen de la botella y la placa de cobre roce a la rueda, frenándola bruscamente. Este montaje experimental simula el sistema de frenado de los automóviles.

3.2.2 Participantes y momentos de recogidas de datos

Usamos una muestra de conveniencia, la real de estudiantes que participan en las sesiones de energía del REVIR, y se omiten a aquellos estudiantes que no responden.

Antecedentes	Momento 1	Momento 2	Momento 3	
Fecha	Se realiza análisis teórico del dossier original (Versión 0), no se implementa la versión original.	28 de enero del 2013	30 de abril del 2013	5 de junio del 2013
Profesores		Profesor Monitor 1 Monitor 2 investigadora	Profesor Monitor 3 Monitor 4 investigadora	Profesor Monitor 1 investigadora
Nivel educativo		4ºESO	1ºBachillerato	4ºESO
Característica del establecimiento		Publico	Privado	Privado
Número total de estudiantes		25	23	18
Número de estudiantes que responden el dossier		24	22	18
Itinerario		-----	Ciencias y tecnología	-----

Tabla 1. Participantes en el estudio

3.3 Estrategia e instrumento de recolección de datos

Los datos se han recogido en tres momentos antes mencionados, el primero para un análisis teórico y los dos segundos para un análisis empírico.

El instrumento de recogida de datos han sido algunas preguntas planteadas en el dossier virtual de los estudiantes (ver todas las versiones en los anexos 1, 2, 3 y 4), cuyas respuestas fueron plasmadas en una versión impresa de éste. Seleccionamos algunas preguntas para recoger datos para los análisis empíricos de los momentos 2 y 3.

3.3.1 Descripción del dossier virtual

El dossier virtual versión 0 (ver anexo 1) fue diseñado siguiendo la lógica del ciclo de aprendizaje de Karplus, que está compuesto por tres etapas: exploración, introducción de conocimientos y aplicación, es decir, posee una estructura de actividades organizadas con la intención de que la secuencia promueva el aprendizaje y la construcción de modelos de los estudiantes.

La actividad potencia la modelización del concepto de energía a través de la indagación, tal como lo señala la MBI, y además permite la interacción entre pares, de modo que el dossier contiene preguntas de reflexión personal, que luego se deben compartir con los demás miembros del grupo y establecer conclusiones que posteriormente se pondrán en común con los demás compañeros de curso.

El dossier virtual original está formado por nueve ítems:

- 1.- Un descubrimiento sorprendente
- 2.- Las ruedas del coche de Rally
- 3.-Generalización del fenómeno
- 4.-Estudio del montaje experimental
- 5.- Toma de datos y discusión de las medidas
- 6.-Calentamiento por rozamiento
- 7.-Enfriamiento por equilibrio térmico
- 8.- Y si hablamos de energía
- 9.- Aplicaciones de ahora en adelante

- El primer ítem comienza con una contextualización, con la intención de acercar a los estudiantes al fenómeno a observar, que corresponde a la incandescencia de las ruedas de un coche rally.
- Se generaliza el fenómeno y se explica a grandes rasgos el funcionamiento del disco de frenos. Se presenta el montaje experimental, que simula el sistema de frenado de un automóvil, a través de imágenes y una breve descripción.
- Antes de experimentar, se solicita a los estudiantes realizar una gráfica de predicción que luego podrán contrastar con la gráfica experimental obtenida.
- Los siguientes ítem permiten analizar los fenómenos que ocurren e introducen el concepto de energía a través de actividades que promueven la idea de transferencia y degradación de la energía.
- La práctica finaliza con una pregunta de aplicación, que tiene relación con la conducción urbana y extraurbana.

3.3.2 Preguntas del dossier que constituyen nuestro instrumento de recogida de datos

Preguntas de la versión 1 seleccionadas para la recolección de datos

Para obtener datos de la evolución del modelo de energía de los estudiantes, seleccionamos las respuestas de las preguntas N°3 y N°20, del dossier de la versión 1, las cuales llamaremos pregunta inicial y final.

Pregunta inicial	Pregunta final
<i>Explica de dónde proviene y qué camino ha seguido la energía asociada a la luz de las ruedas. Puedes ayudarte con un dibujo o un esquema si lo prefieres.</i>	<i>Serías capaz de describir todos los fenómenos que han sucedido (desde que hemos puesto la rueda en funcionamiento hasta que el cobre ha enfriado por completo) hablando de la energía? Pruébalo!</i>

Tabla 2. Preguntas de recolección de datos de la versión 1

El motivo de la selección de estas preguntas es que son las más comparables entre si, ya que ambas hacen referencia al camino de la energía y nos permiten visualizar los

modelos iniciales de los estudiantes previos a la actividad experimental y la evolución de éstos luego de haber experimentado y desarrollado las actividades del dossier. Estas dos preguntas sintetizan toda la actividad, ya que al ser correctamente respondidas pueden darnos a conocer la cadena energética del proceso en forma completa, incluyendo los aspectos de transferencia, degradación y conservación de la energía.

Por motivos de fuerza mayor, la actividad no se alcanzó a terminar en la primera implementación, de modo que los ítem 8 y 9, se realizaron en conjunto con el docente. La actividad de aplicación no se alcanzó a realizar en clases, por lo tanto los estudiantes tuvieron el compromiso de realizarla en sus casas en forma individual. Por lo anterior, decidimos centrarnos sólo en la pregunta inicial y final y también tuvimos en consideración que en esta implementación los aspectos relacionados con la degradación de la energía, no se profundizaron como nosotros lo esperábamos.

Preguntas de la versión 2 seleccionadas para la recolección de datos

Los refinamientos realizados en la versión 2 del dossier fueron en base a los resultados obtenidos de las respuestas de los estudiantes, como también considerando aspectos teóricos. En general, se trató de enfatizar la transferencia de energía y la degradación de ésta, como también se incluyó una explicación adicional referente a la conservación de la energía, que en la versión N°1 no estuvo presente. Las respuestas de las preguntas inicial y final de la versión N°1, se vuelven a recolectar, pero en esta versión 2, presentan algunas modificaciones en su redacción, con la intención de guiar las respuestas de los estudiantes y que puedan describir el camino de la energía tanto al inicio como al término de la actividad.

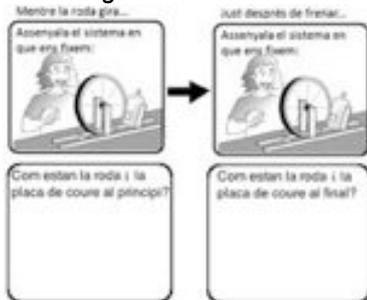
Pregunta inicial	Pregunta N°25 final
<i>Explica de dónde proviene y qué camino ha seguido la energía asociada a la luz del disco de frenos desde que la rueda está en movimiento hasta que el coche está parado y el disco deja de brillar. Menciona el origen de la energía, a dónde va y como se transfiere de un sistema a otro. Puedes ayudarte con un dibujo o un esquema si lo prefieres.</i>	<i>Serías capaz de describir el camino de la energía (desde que hemos puesto la rueda en funcionamiento hasta que el cobre se ha enfriado por completo) Pruébalo!</i>

Se recolectan datos de preguntas intermedias del dossier con la intención de ir analizando la evolución de los modelos y verificar una congruencia de esta evolución, con la respuesta dada en la pregunta final.

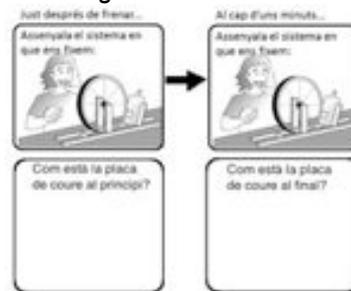
Preguntas N°12, 13 y 14 del dossier N°2

Preguntas N°18, 19 y 20 del dossier N°2

12. Completa el siguiente esquema, marcando o pintando en el dibujo desde que sistema se transfiere la energía.



18. Completa el siguiente esquema, marcando o pintando en el dibujo desde que sistema se transfiere la energía.



13.- Explica en términos de energía cómo se producen estos cambios.

14.-¿Crees que toda la energía del movimiento de la rueda se ha invertido en calentar el cobre?

19. ¿En que se ha invertido la energía que tenía la placa de cobre caliente?

20. ¿Dónde está ahora esa energía?

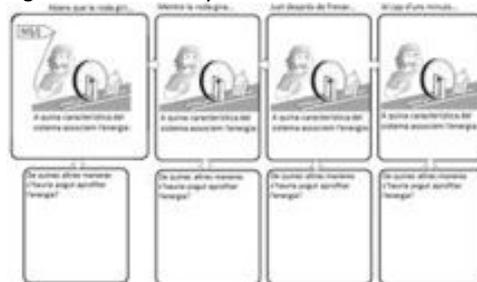
Preguntas N°21 del dossier N°2

Preguntas N°22, 23 y 24 del dossier N°2

21. Vamos a seguir el camino de la energía y ver cómo se producen estas transferencias de energía a cada cambio, completando el siguiente esquema:



22. Hemos visto que en el proceso estudiado en cada cambio hay una transferencia de energía. Este proceso parece tener un final, es decir, con la rueda parada y fría no suceden más cambios. ¿Cómo podemos aprovechar la energía en cada etapa?



23. Una persona dispone de 50 [J] de energía, que los asociamos a su brazo, tal como se muestra en la etiqueta de la figura anterior. Tú sabes que la energía se conserva, entonces:

- a) ¿Qué pasa con la energía en cada etapa?
- b) Marca en el dibujo anterior, utilizando etiquetas, cuánta energía asocias a cada parte del sistema.

24. Compara los cambios que puedes producir con la energía del inicio y del final del proceso.

- a) ¿En qué etapa disponemos de una mayor utilidad de la energía?
- b) ¿En qué etapa la energía es menos útil?
- c) ¿A qué conclusión podemos llegar respecto como de aprovechable es la energía en cada paso de esta cadena de cambios?

Tabla 3. Preguntas de recolección de datos de la versión 2

3.4 Metodología de análisis de datos

3.4.1 Proceso de refinamiento del diseño original

En base a las ideas de energía del modelo de Ogborn, consideradas por López y Pintó (2012) y explicadas en el marco teórico, identificamos que existían aspectos del modelo de energía que no se estaban potenciando en el diseño original (versión 0). Por este motivo nos basamos en las ideas de Pintó, Hernández y Constantinou (2013), referentes a la transferencia de materiales de un contexto a otro, para caracterizar los tipos de modificaciones que proponemos al diseño didáctico.

Según estos autores, se pueden realizar modificaciones en cuanto a los conocimientos científicos como también a los conocimientos de contenido pedagógico.

	Modificaciones	Justificación por cada cambio
Modificaciones de los conocimientos científicos	Respecto al contenido conceptual	
	Respecto a procedimientos del docente	
Modificaciones de los conocimientos de contenido pedagógico	Respecto a la investigación	
	Respecto a los modelos	
	Respecto a la contextualización	
	Respecto a otros aspectos de aprendizaje	

Tabla 4. Transferencia de materiales de Pintó et al. (2013)

Es importante resaltar que los análisis realizados son participativos, ya que las decisiones tomadas en cuanto a las modificaciones fueron realizadas luego de un consenso entre investigadoras y diseñador.

A partir de estas modificaciones se obtiene una versión 1 del dossier y se implementa.

3.4.2 Análisis de las concepciones de los estudiantes sobre el modelo de energía

Para analizar las respuestas de los estudiantes utilizamos redes sistémicas. Este método fue propuesto por Bliss y Ogborn (1983; 1985) con la finalidad de poder averiguar qué entendemos de las respuestas de un estudiante que surgen a partir de una entrevista o cuestionario abierto (Jorba y Sanmartí, 1996), en nuestro caso de preguntas abiertas pertenecientes a un dossier.

Nuestro análisis surge de la combinación de un análisis inductivo y deductivo, ya que las grandes dimensiones y categorías de nuestra red sistémica, surgen de las respuestas de los estudiantes y también sugeridas del modelo de energía expuesto en el marco teórico.

En primer lugar se elaboró una tabla de análisis personal del momento 2 y 3, en la cual destacamos frases significativas de las concepciones de los estudiantes, para tener una visión global de sus respuestas y utilizarlas para la construcción de las dimensiones y categorías de la red.

3.4.3 Análisis de los momentos 2 y 3 a través de las redes sistémicas

Analizamos el momento 2 y 3 cualitativa y cuantitativamente, describiendo la red de cada momento y presentando gráficos de frecuencias para el conjunto de estudiantes y tener una visión global del inventario de respuestas.

Al encontrar aspectos débiles del diseño didáctico, en el momento 2, planteamos modificaciones nuevamente en cuanto a los conocimientos científicos como también a los conocimientos de contenido pedagógico, en base a Pintó et al (2013).

Dentro del momento 3 se realizaron dos fases de análisis, con la intención de observar el funcionamiento de la versión 2 en un curso de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. Dentro del inventario de respuestas se dividen con la letra A a los estudiantes de ESO y con la letra B a los de bachillerato.

3.4.3 Análisis de la evolución de los estadios del modelo de energía de los estudiantes

A partir de las respuestas de los estudiantes, construimos estadios del modelo de energía en los momentos 2 y 3, basándonos en las ideas de progresión de aprendizaje, expuestas en el marco teórico, en el que podemos visualizar las fronteras existentes para pasar de un modelo de energía a otro y también realizamos una representación gráfica, en base a Zabel y Gropengiesser (2011), que nos representa la trayectoria de la evolución de cada uno de los estudiantes, con la intención de comparar los tres momentos y observar si las modificaciones realizadas al diseño didáctico fueron incidentes en la evolución de los modelos de los estudiantes.

Es importante mencionar que hay estudiantes que responden en base a varios aspectos, pero dentro de los estadios se situarán sólo en uno, donde éste será el de mayor representación de sus respuestas.

Al finalizar el momento 3 y teniendo una visión global de los modelos de energía de los estudiantes, durante cada uno de los momentos, realizamos un análisis general de los tres momentos para validar los aspectos positivos del material didáctico y para identificar los aspectos débiles que nos permitirán proponer una versión 3 del dossier.

3.5 Estrategia de recolección y análisis de datos

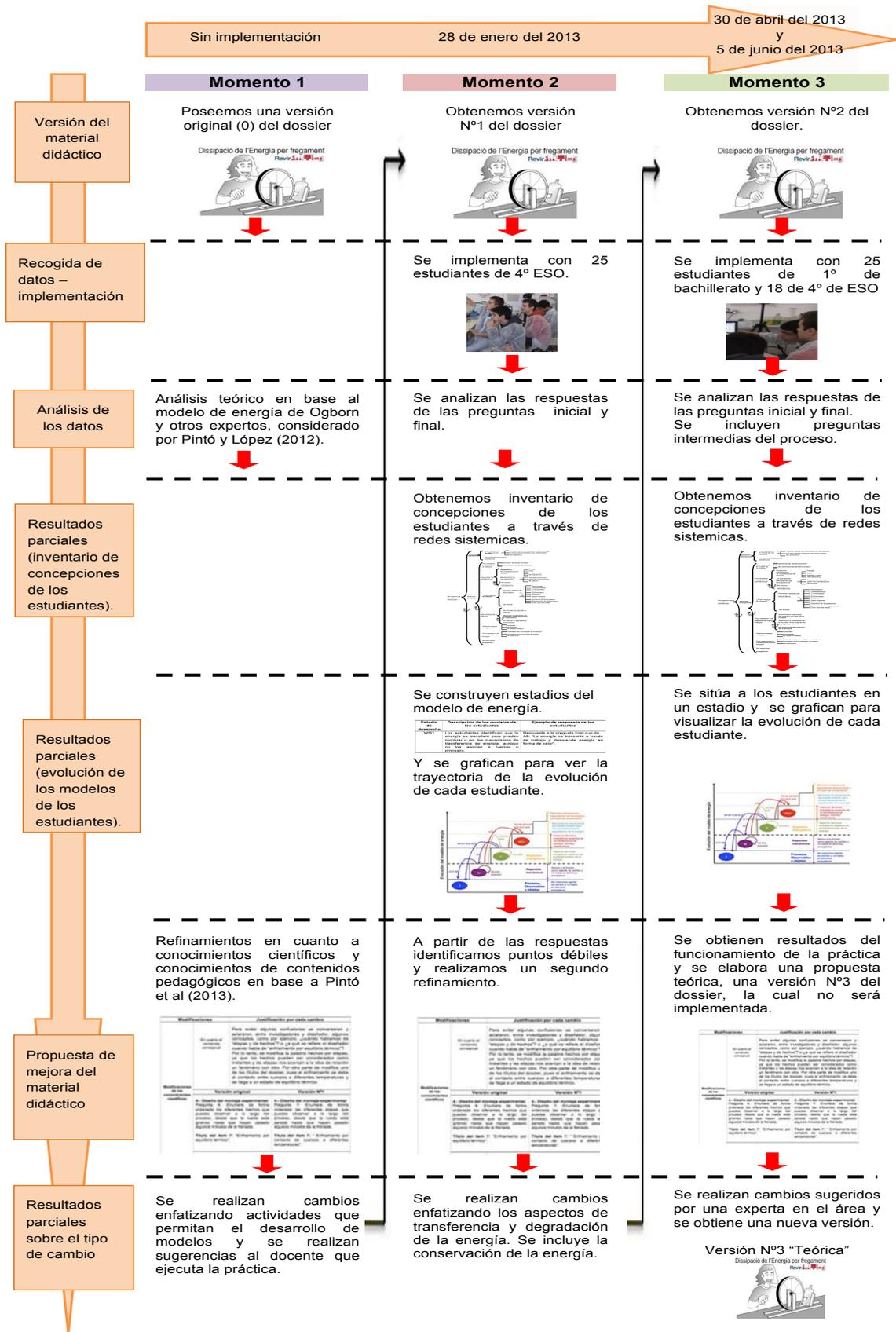


Figura 3 . Estrategia de recolección y análisis de datos

4. Resultados y discusión de resultados

Los resultados de esta investigación se presentan en dos grandes bloques. El primer bloque presenta los resultados para cada momento de implementación.

4.1 Resultados para cada momento de implementación.

4.1.1 Refinamiento del material didáctico

4.1.2 Las concepciones de los estudiantes al inicio y final de la práctica

4.1.3 La evolución de los modelos de los estudiantes a través de los estadios

4.1.4 Discusión de resultados para cada momento

En el segundo bloque presentaremos los resultados globales de la investigación en el que compararemos los diferentes momentos de implementación.

4.2 Resultados globales: comparativa de los resultados en los diferentes momentos de la implementación

4.2.1 Comparativa del refinamiento del material didáctico

4.2.3 Comparativa de la evolución de los estadios del modelo

4.2.4 Discusión de resultados globales

4.1 Bloque 1: Resultados de los momentos 1 y 2

4.1.1 Resultados del refinamiento del diseño original

La siguiente tabla resume las modificaciones teóricas realizadas a la versión 0, en cuanto a conocimientos científicos y conocimientos de contenidos pedagógicos. Para cada modificación se presenta un ejemplo de contraste entre la versión 0 y la versión 1. Para visualizar todas las modificaciones realizadas ver anexo 2.

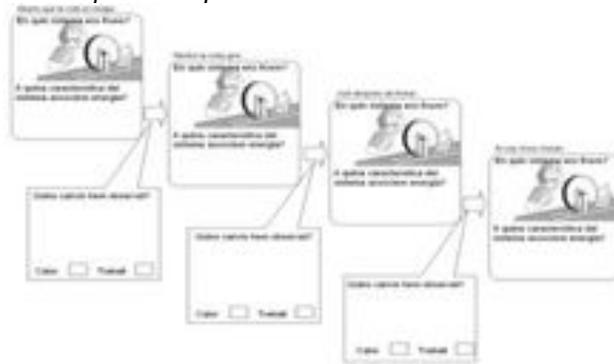
Modificaciones		Justificación por cada cambio																				
Modificaciones de los conocimientos científicos	Respecto al contenido conceptual	<p>Para evitar algunas confusiones se conversaron y aclararon, entre investigadores y diseñador, algunos conceptos, como por ejemplo, ¿cuándo hablamos de “etapas y de hechos”? o ¿a qué se refiere el diseñador cuando habla de “enfriamiento por equilibrio térmico”?</p> <p>Por lo tanto, se modifica la palabra hechos por etapas, ya que los hechos pueden ser considerados como instantes y las etapas nos acercan a la idea de relación un fenómeno con otro. Por otra parte de modifica uno de los títulos del dossier, pues el enfriamiento se debe al contacto entre cuerpos a diferentes temperaturas y se llega a un estado de equilibrio térmico.</p>																				
		Versión original	Versión N°1																			
		<p>Pregunta 6: Enumera de forma ordenada los diferentes "hechos" que puedes observar a lo largo del proceso, desde que la rueda está girando hasta que hayan pasado algunos minutos de la frenada.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Hecho 1</td><td></td></tr> <tr><td>Hecho 2</td><td></td></tr> <tr><td>Hecho 3</td><td></td></tr> <tr><td>Hecho 4</td><td></td></tr> <tr><td>Hecho 5</td><td></td></tr> </table>	Hecho 1		Hecho 2		Hecho 3		Hecho 4		Hecho 5		<p>Pregunta 7: Enumera de forma ordenada las diferentes etapas que puedes observar a lo largo del proceso, desde que la rueda está parada hasta que hayan pasado algunos minutos de la frenada.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>Etapas 1</td><td></td></tr> <tr><td>Etapas 2</td><td></td></tr> <tr><td>Etapas 3</td><td></td></tr> <tr><td>Etapas 4</td><td></td></tr> <tr><td>Etapas 5</td><td></td></tr> </table>	Etapas 1		Etapas 2		Etapas 3		Etapas 4		Etapas 5
Hecho 1																						
Hecho 2																						
Hecho 3																						
Hecho 4																						
Hecho 5																						
Etapas 1																						
Etapas 2																						
Etapas 3																						
Etapas 4																						
Etapas 5																						
	Título del ítem 7: “Enfriamiento por equilibrio térmico”.	Título del ítem 7: “Enfriamiento por contacto de cuerpos a diferentes temperaturas”.																				
	Respecto a procedimientos del docente	Se sugieren al docente en el ítem 3, correspondiente a la generalización del fenómeno, realizar una puesta en común de la pregunta número 5, agregada en la versión N°1, clasificando en dos columnas las respuestas de los estudiantes, de modo que se puedan diferenciar los tipos de calentamientos que los estudiantes conozcan y posteriormente los asocien a los mecanismos de transferencia de energía. En la versión original no se diferencian los tipos de calentamiento.																				

Versión original		Versión N°1
<p>Pregunta 4: ¿Se te ocurre alguna otra situación donde haya un calentamiento producido por frotamiento? Piensa en algún ejemplo y ponlos en común con el resto de la clase. Si quieres, cuando hayas pensado en algún fenómeno, puedes buscar algún vídeo en Youtube.</p>		<p>Pregunta 4: ¿Se te ocurre alguna otra situación donde haya un calentamiento? Pregunta 5: ¿En todos los ejemplos que has mencionado, los objetos se calientan de la misma manera?, ¿Cómo puedes clasificar estas formas de calentamiento?</p>
Respecto a la investigación	<p>Se introduce un pequeño párrafo en el ítem 6 “calentamiento por rozamiento”, con la intención de conectar la actividad con el fenómeno y que los estudiantes indaguen junto a sus pares identificando como afectan distintas variables, como por ejemplo: el radio de la rueda y la masa de ésta, en el aumento de temperatura de la placa de cobre. Después de intercambiar ruedas con sus pares, deben discutir y elaborar una conclusión.</p>	
Versión original		Versión N°1
Modificaciones de los conocimientos de contenido pedagógico	<p>Pregunta 11: Si quieres, puedes intentar conseguir un dy muy, muy grande. ¿Cómo podrías hacerlo para conseguir que la temperatura suba mucho? Hazlo, ya continuación, compara tu valor de dy con el resto de grupos que hayan hecho el mismo experimento y di porque os ha dado semejante o diferente. ¿A qué conclusión llegas?</p>	
	<p>Pregunta 12: a) Si quieres, puedes intentar conseguir un dy muy, muy grande. ¿Cómo podrías hacerlo para conseguir que la temperatura suba mucho? Todos los grupos disponen de diferentes dispositivos experimentales que se diferencian entre sí por el tamaño de las ruedas. A continuación intenta conseguir el dy más grande posible y compáralo con el resto de grupos, para que identifiques en que afecta a esta variable. b) ¿A qué conclusión puedes llegar?</p>	
	Respecto a los modelos	<ul style="list-style-type: none"> -Se incluyen nuevas preguntas para guiar a los estudiantes a la comprensión de los fenómenos (ejemplo 1). -Se cambia el título del ítem 8 “ Y si hablamos de energía” ya que energía está presente en todo el proceso y el título original hace pensar que recién en este instante aparece. Por otra parte este ítem se divide y en dos, con la intención de enfatizar los aspectos de degradación de la energía en un nuevo apartado (ejemplo 2). - Se comienza a incluir el concepto de energía desde los inicios de la práctica y no desde el ítem 8 como lo era en la práctica original, ya que el foco es modelizar el concepto de energía. -Se incluyen párrafos explicativos en el ítem 8 referentes a los mecanismos de transferencia de energía: trabajo y calor. Se incluye una explicación referente a la degradación de la energía en el ítem 9, en ambos casos con la intención de enfatizar dos aspectos claves del modelo de energía (ver en anexo 2). -Se cambia el orden de algunas preguntas ya que ubicadas en otro ítem o posición permiten observar o interpretar los fenómenos desde otro punto de vista. - Se complementan enunciados de algunas preguntas y se refinan algunos esquemas para facilitar la construcción de los estudiantes del modelo de energía (ejemplo 3).
Versión original		Versión N°1
<p>(Ejemplo 1) No existen preguntas que hagan referencia directa</p>		<p>(Ejemplo 1) Pregunta 23: Compara los cambios que puedes producir</p>

a identificar etapas de la cadena energética, donde podemos aprovechar de energía útil.

(Ejemplo 2) Título del ítem 8: Y si hablamos de energía
Título del ítem 9: No existe este apartado

(Ejemplo 3) Pregunta 20: A partir de estas indicaciones, completa el siguiente esquema donde aparece la cadena energética del proceso que hemos estudiado.



Pregunta 21: Completa el siguiente diagrama respondiendo a esta pregunta para cada uno de los casos.



con la energía del inicio y del final del proceso.

- a) ¿En qué etapa disponemos de una mayor utilidad de la energía?
- b) ¿En qué etapa la energía es menos útil?
- c) ¿A qué conclusión podemos llegar respecto como de aprovechable es la energía en cada paso de esta cadena de cambios?

(Ejemplo 2) Título del ítem 8: Las transferencias de energías
Título del ítem 9: La degradación de la energía

(Ejemplo 3) Pregunta 21: Vamos a seguir el camino de la energía y ver cómo se producen estas transferencias de energía en cada cambio, completando el siguiente esquema.



Pregunta 22: Hemos visto que en el proceso estudiado en cada cambio hay una transferencia de energía. Este proceso parece tener un final, es decir, con la rueda parada y fría no suceden más cambios. ¿Cómo podemos aprovechar la energía en cada etapa?



Respecto a la contextualización	Se propone una pregunta contextualizadora para identificar las ideas previas de los estudiantes respecto del modelo de energía.		
<table border="1" style="width: 100%; background-color: #e0ffe0;"> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Versión original</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Versión N°1</th> </tr> </table>		Versión original	Versión N°1
Versión original	Versión N°1		
<p>3. <i>¿Qué pregunta te harías para llegar a entender qué ha pasado en los dos videos anteriores? Elige alguna pregunta que encuentres interesante y ponla en común con el resto de la clase!</i></p>			
Respecto a otros aspectos de aprendizaje	Se modifica la aplicación, ya que aplicación original es interesante, sin embargo no es simple de responder, se aleja del contexto de la actividad y no nos permite analizar el avance de los modelos conceptuales de los estudiantes. (ver nueva aplicación completa en anexo 2)		
<table border="1" style="width: 100%; background-color: #e0ffe0;"> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Versión original</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Versión N°1</th> </tr> </table>		Versión original	Versión N°1
Versión original	Versión N°1		
<p>Aplicación del consumo urbano y extra-urbano, alejada del contexto experimental.</p>	<p>La aplicación “El ahorro energético en la frenada” permite comparar la cadena energética de un automóvil tradicional y uno con freno regenerativo, introduciendo los conceptos de energía.</p>		
	<p>Pregunta 24: A partir de todo lo que has aprendido hoy, explica qué diferencias hay entre la cadena de transferencia de energía en el freno convencional y en el freno regenerador. Puedes dibujar uno o varios esquemas, si quieres.</p>		
<p>Pregunta 23: Utiliza todo lo que has aprendido hoy para explicar qué diferencia hay entre la conducción dentro y fuera de la ciudad.</p>	<p>Pregunta 25: ¿Cómo relacionas las diferencias entre las dos cadenas energéticas con la degradación de la energía?</p>		
			

Tabla 4 . Refinamiento de la práctica original

4.1.2 Las concepciones de los estudiantes al inicio y final de la práctica en el momento 2

Al analizar las respuestas de los estudiantes hemos identificado tres categorías a las que hacen referencia en su descripción del camino de la energía asociado a la luz de las ruedas. Hemos denominado a estas tres categorías como: procesos, observables u objetos, aspectos mecánicos y aspectos energéticos

1.- Procesos, observables u objetos: Esta categoría surge de las respuestas de los estudiantes que sólo nombran los procesos ocurridos, los observables o bien los objetos presentes, sin nombrar aspectos mecánicos que generen cambios y sin asociar la energía a los procesos descritos. Un ejemplo de esta dimensión es la respuesta a la pregunta final de A16: “Movimiento, fricción del freno, aumenta la temperatura (calentamiento), disminución de la temperatura (enfriamiento) para llegar a la temperatura ambiente (T_0)”.

2.- Aspectos mecánicos: Esta categoría surge de las respuestas de los estudiantes que incluyen conceptos cinemáticos y los atribuyen a algunos de los cambios observados. Un ejemplo de esta dimensión es la respuesta inicial de A3: “La fuerza de fricción de los frenos hace que se caliente el disco”.

De esta categoría, surgen dos dimensiones: “Respecto a la causa de los cambios” y “describe fricción a nivel”.

La primera dimensión surge de las respuestas de los estudiantes que asocian a la fuerza de fricción como la causante de algunos cambios, como: la aparición o generación de energía, la aparición de observables, por ejemplo: que el disco de frenos se caliente, o bien como la causante de que la energía se transforme.

La segunda dimensión surge para clasificar las respuestas de los estudiantes que describen la fricción a nivel microscópico o macroscópico.

2.- Aspectos energéticos: Esta categoría surge de las respuestas de los estudiantes que mencionan aspectos en relación con la energía. Un ejemplo es la respuesta del estudiante A2: “La energía de rotación de las ruedas (energía cinemática) se ha transformado en energía calorífica por acción de la fricción de los discos de frenos, ésta se transforma en energía lumínica y la pone roja.”

Dentro de esta dimensión encontramos respuestas que hacen referencia al origen, a la transformación, transferencia y degradación de la energía.

También hay estudiantes que asocian la energía a algún proceso u observable y finalmente algunos realizan cadenas energéticas.

En la categoría “transformación de la energía”, hay estudiantes que nombran los tipos de energía, realizando distintas combinaciones de cómo se transforma de una a otra. Para simplificar la lectura de la red, asociamos una letra a cada tipo de energía: K con energía cinética, C con energía calorífica, L con energía lumínica, E con energía y M con energía mecánica. A otros tipos de energía, como energía del motor del automóvil, lo simplificamos con la letra E de energía acompañado de la palabra clave, en este caso motor.

Dentro de los aspectos de transferencia, hay estudiantes que identifican los mecanismos de transferencia de energía: trabajo y calor, mientras que otros además de identificarlos lo relacionan con un fenómeno o proceso, por ejemplo: trabajo con fricción y calor con enfriamiento.

Dentro de la dimensión ¿a qué asocian la energía?, hay estudiantes que asocian tipos de energía a procesos o a observables, por ejemplo: energía cinética con movimiento, o con rotación de las ruedas, sin embargo no especificamos a que asocia cada energía, ya que nos interesa conocer el número de estudiantes que asocia la energía al estado del sistema, más que el detalle en sí.

Finalmente dentro de la dimensión “realiza cadena energética” hay estudiantes que la realizan completa, incompleta o bien no realizan cadena energética.

Presentamos dos redes sistémicas, una para la pregunta inicial y para la final. Ambas poseen las mismas dimensiones y categorías, pero debido a que las respuestas de cada estudiante pueden cambiar del inicio al fin de la práctica, en algunas redes se pueden observar dimensiones vacías.

Dentro de la red, hay estudiantes que hacen referencia tanto a aspectos mecánicos como energéticos y dentro de la red se incluirán todos los aspectos que cada uno de los estudiantes considera, como una especie de inventario de respuestas, es por esto que hay dimensiones y categorías de la red en las que está presente el símbolo de recursividad que nos representa la posibilidad de que algunos estudiantes pueden estar presentes en más de una categoría o dimensión.

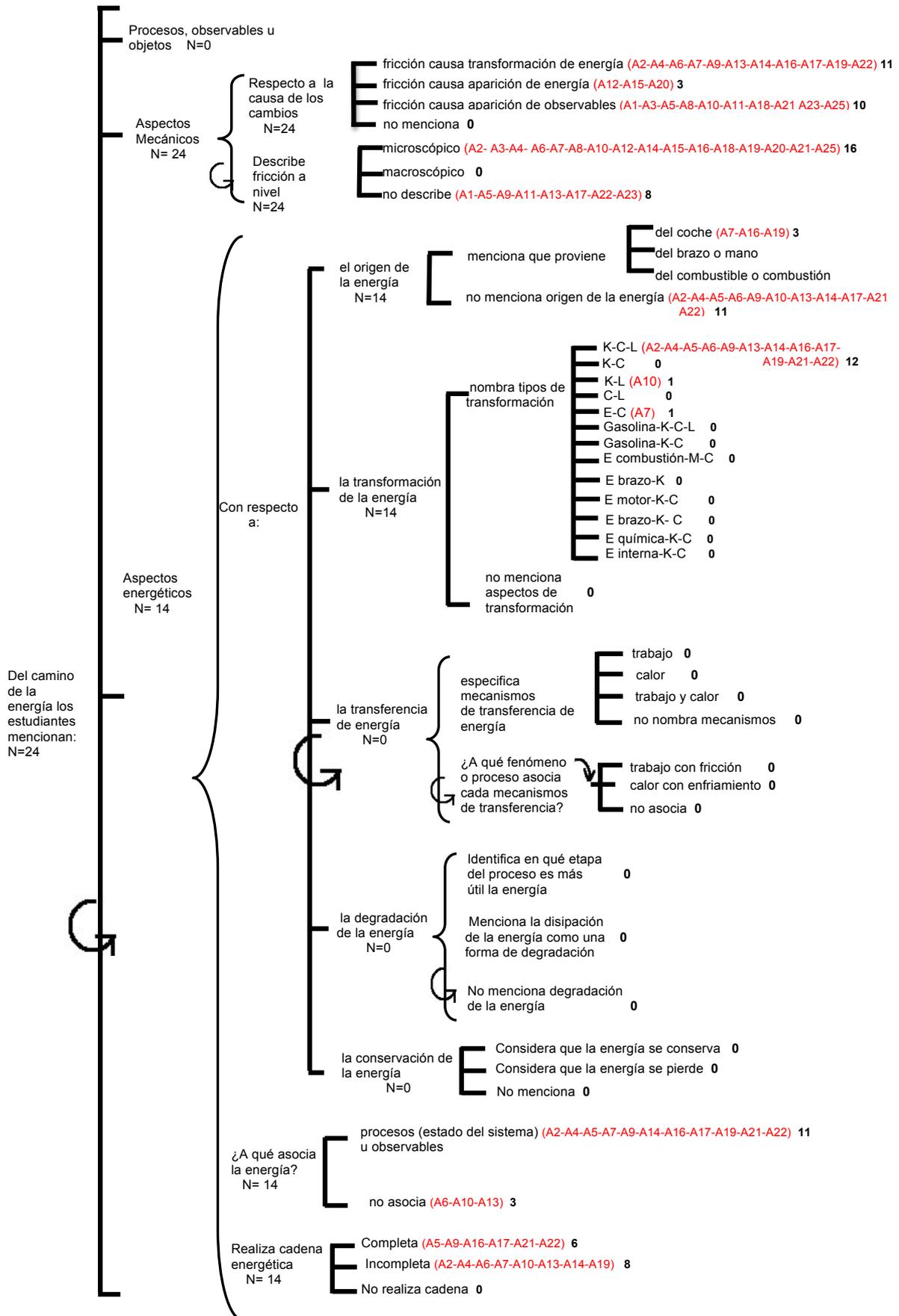


Figura 4. Concepciones de los estudiantes en el inicio del momento 2

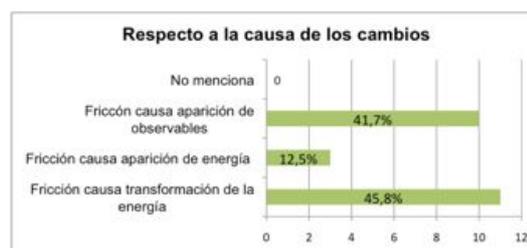
Gráficas de frecuencias de las concepciones de los estudiantes al inicio del momento 2

1.-Procesos, observables u objetos

- Ningún estudiante responde sólo nombrando procesos, observables u objetos lo cual es bueno ya que esperamos que cuando los mencionen, sea asociándolos a la energía en un determinado sistema.

2.-Aspectos mecánicos: “Respecto a la causa de los cambios”

- En primer lugar, podemos observar que los 24 estudiantes responden mencionando aspectos mecánicos y consideran que la causa de los cambios, desde que el auto comienza a moverse, hasta que frena y el disco de frenos se ilumina, se debe a la fricción.
- Un 41,7% considera que debido a la fricción aparecen observables, un ejemplo de este tipo de respuestas es la del alumno A25: “De la fricción con el disco de frenos, se calienta y se ilumina”. Los estudiantes que responden a través de esta lógica están en lo correcto al identificar observables dentro del proceso, pero no asocian estos cambios a una transferencia de energía.
- Un 12,5% de los estudiantes considera que a partir de la fricción se genera energía, tal como lo señala A12: “Al frenar, el freno hace fricción con el disco y hace que se caliente y que produzca energía calorífica”. Este tipo de resultados es preocupante, pues los estudiantes no consideran la existencia de la energía hasta el momento en que el auto frena.
- Finalmente un 45,8% asocia que la fricción es la que genera la transformación de una energía a otra. Los estudiantes que responden utilizando este criterio mencionan a la vez aspectos energéticos, identificando los tipos de energía dentro del proceso. Un ejemplo de este tipo de respuestas es la del alumno A4: “Cuando el coche frena, la energía se transforma en calor y calienta y se transforma en energía calorífica por efecto de la fricción de la acción del disco de freno y vemos la luces. Energía cinética → calorífica → luminosa”. Estas respuestas permiten identificar que el pensamiento de los estudiantes se dirige al modelo de energía que pretendemos conseguir, ya que la fricción es la fuerza que actúa en el mecanismo de trabajo y en este instante se produce una transferencia de energía de un sistema a otro, aunque esperamos que en vez de



hablar de transformación, los estudiantes incluyan en su vocabulario la transferencia de energía.

“Describe fricción a nivel”

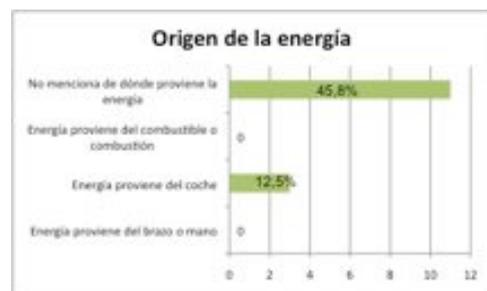
- Un 66,7% nombra la fricción a nivel macroscópico, describiendo las superficies que interactúan durante la fricción, mientras que un 33,3% sólo menciona la presencia de la fricción, pero sin describir nada del proceso. Ningún



estudiante describe la fricción a nivel microscópico. La práctica no pretende que los estudiantes describan la fricción, si no que pretende que la identifiquen en su rol dentro de la transferencia de energía a través del mecanismo de trabajo.

2.-Aspectos energéticos: “Respecto a el origen de la energía”

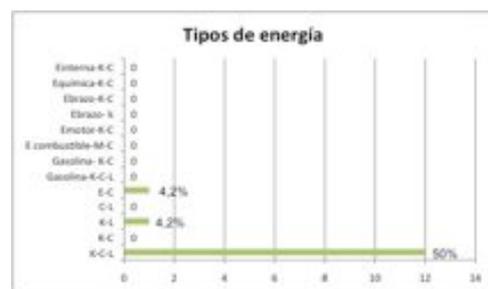
- Dentro del grupo, sólo 14 estudiantes mencionan aspectos energéticos, lo que corresponde a un 58,3% de la muestra.
- Con respecto al origen de la energía, es importante que los estudiantes señalen de dónde proviene, para poder explicar su camino. Sin embargo ninguno de los estudiantes menciona como origen el combustible, dónde a través del proceso de combustión se comienza a transmitir la energía a los mecanismos del automóvil.



- Un 12,5% de los estudiantes menciona que la energía proviene del coche, donde éstos son los que más se aproximan al origen de la energía, mientras que un 45,8% no menciona el origen. En la pregunta inicial no se explicita nombrar el origen de la energía, lo cual puede ser un cambio a considerar para la siguiente versión.

Respecto a la transformación de la energía

- Los 14 estudiantes que mencionan aspectos energéticos, nombran tipos de energía. Un 50% considera que la energía se transforma de cinética a calorífica y lumínica. Un 4,2% nombra la transformación de energía a energía calorífica y el otro 4,2% nombra la transformación de energía cinética a lumínica.



Los estudiantes tienen incorporados en sus estructuras mentales los tipos de energía, ya que es probable que en los establecimientos los docentes no expliquen que sólo existen la energía cinética, potencial e interna. Sin duda esta es una de las ideas más difíciles de modificar en una práctica de tan corta duración.

Transferencia, degradación de la energía y conservación de la energía

- Ninguno de los 14 estudiantes que mencionan aspectos energéticos hace referencia a aspectos de transferencia de la energía, esto puede ocurrir porque esta pregunta es introductoria y los estudiantes pueden que no conozcan los mecanismos de transferencia de energía o bien pueden haberlos olvidado al no utilizar estas ideas en forma constante en la clase de física. Lo mismo ocurre con la degradación y la conservación de la energía, aunque sin duda estas son ideas complejas y es necesaria alguna actividad que las trate con profundidad.

¿A qué asocia la energía?

- 11 de los estudiantes asocian la energía al estado del sistema o a observables. Los estudiantes relacionan la energía cinética al movimiento y la energía calorífica al calentamiento, al color rojo del metal, al disco de frenos caliente y al enfriamiento de éste último.
- Los estudiantes que asocian la energía a un proceso u observable nos manifiestan que tienen una idea del estado del sistema, siendo capaces de identificar la presencia de la energía y cómo está el sistema en este instante.

Cadena energética

- Un 25% de los estudiantes menciona la cadena energética de forma completa, es decir llegando al enfriamiento del cuerpo, lo correcto hubiese sido mencionar el equilibrio térmico, sin embargo en esta primera pregunta nadie lo nombra, quizás esto se debe a que es un concepto que no han estudiado últimamente. Un 33,3% no completa la cadena energética y responden nombrando sólo algunos pasos de ella.
- La cadena energética fue considerada como una dimensión aparte ya que tanto estudiantes que se encuentran en la lógica de transformación como de transferencia intentan completarla a su manera, aunque de todos modos es importante mencionar que la cadena energética ideal proviene de la transferencia de energía, identificando desde que sistema a otro se va transfiriendo la energía.



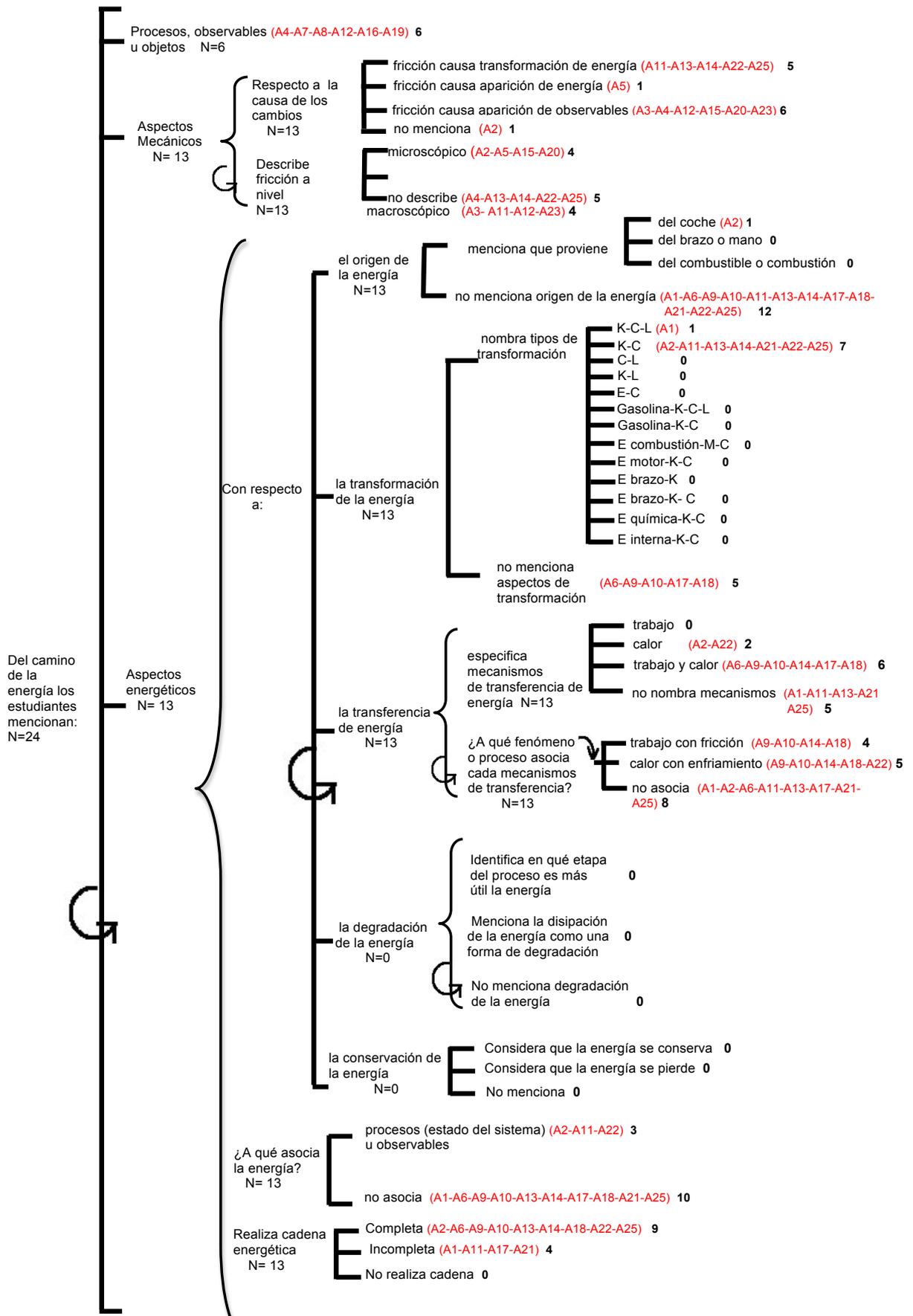


Figura 5. Concepciones de los estudiantes en el fin del momento 2

Gráficas de frecuencias de las concepciones de los estudiantes al fin del momento 2

1.-Procesos u observables

- Con respecto a la categoría procesos u observables, en la pregunta inicial ningún estudiante responde a través de esta lógica, sin embargo, en la pregunta final, 6 de los estudiantes, que corresponden a un 25%, nombran todos los procesos, sin relacionarlos con la energía, lo que significa un retroceso de sus modelos iniciales a un modelo más básico y lejano al que pretendemos formar. Es importante señalar que estos seis estudiantes son los únicos que nombran todas las etapas incluyendo el equilibrio térmico. Esto pudo ocurrir debido a la redacción de la pregunta final en la que se les pide nombrar todos los fenómenos ocurridos, lo que nos hace considerar un cambio en su redacción.

2.-Aspectos mecánicos: “Respecto a la causa de los cambios”

- 13 estudiantes responden mencionando aspectos mecánicos, lo que corresponde a un 54,2% de la población total. Predominan los estudiantes que asocian la aparición de observables a la fricción con un 25%, mientras que la segunda mayoría, con un 20,8% considera que la fricción causa la transformación de la energía. Sólo un estudiante piensa que la fricción genera aparición de energía, por lo tanto hubo una mejora en este aspecto, ya que los estudiantes que anteriormente consideraron esta opción, en la pregunta final optaron por otras alternativas más correctas.
- 11 estudiantes dejaron de mencionar aspectos mecánicos.



“Describe fricción a nivel”

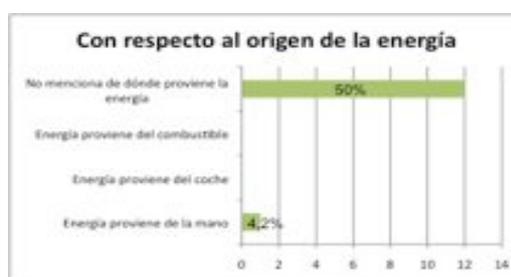
- La misma cantidad de estudiantes describe la fricción a nivel microscópico y macroscópico con un 16,7% cada uno, mientras que un 20,8% la nombra pero no la describe.
- En la pregunta inicial ningún estudiante describe la fricción a nivel microscópico, mientras que en la pregunta final, 4 estudiantes si lo hacen, esto se puede deber a que en el ítem 6 de la práctica, se expone una animación en la cual se muestra



cómo es el movimiento de las partículas cuando dos superficies rozan y algunos estudiantes consideraron importante mencionarlo en sus respuestas, tal como lo hizo A15 “La rueda al fregar con el cobre hace que las partículas choquen y se muevan haciendo que la temperatura aumente y pero cuando la rueda para, el cobre se nivela con la temperatura ambiente”. Es importante que los estudiantes comprendan la fricción a nivel microscópico, tal como ocurre en el calentamiento de la placa de cobre al momento de experimentar, sin embargo la práctica no pretende que los estudiantes en su respuesta final la enfatizen, más bien esperamos que la nombren en relación con el mecanismo de trabajo.

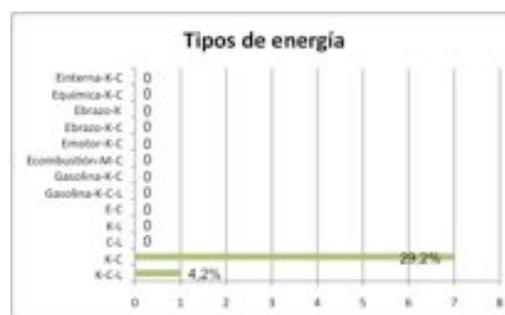
2.-Aspectos energéticos: “Respecto a el origen de la energía”

- 13 estudiantes responden mencionando aspectos energéticos. Con respecto al origen de la energía sólo el estudiante A2 menciona que la energía proviene de la mano y que con esta energía se hace girar la rueda. El resto de los estudiantes no menciona de dónde proviene la energía.
- En la pregunta inicial, 3 estudiantes consideraron que la energía proviene del coche, pero al cambiar el contexto inicial a una situación experimental, no realizaron la analogía.



Respecto a la transformación de la energía

- De los 13 estudiantes que mencionan aspectos energéticos, 8 de ellos nombran tipos de energía. Un 4,2% considera que la energía se transforma de cinética a calorífica y luego lumínica, mientras que un 29,2% considera que de energía cinética se transforma en calorífica.
- Con respecto a la pregunta inicial, los estudiantes dejan de nombrar la energía lumínica, ya que en la situación contextualizadora observaron a la través de un video, el disco de frenos iluminado y al realizar el experimento, la placa de cobre no brilla al rozar con la botella de agua, debido a esto es que visualizan sólo la transformación de energía cinética a calorífica debido a los observables que son la rueda girando y el aumento de la temperatura. Sólo A1 menciona la transformación de energía cinética a calorífica y luego lumínica, quizás tratando



de responder nuevamente a la situación contextualizadora y no al experimento práctico.

Respecto a aspectos de transferencia

- Dentro de los estudiantes que mencionan aspectos de la transferencia un 25% identifica los mecanismos de trabajo y calor, mientras que un 8,3% identifica sólo el mecanismo de calor. Un 16,7% de los estudiantes asocian el mecanismo de



- trabajo con fricción y el de calor con enfriamiento. Un estudiante sólo asocia calor con enfriamiento, mientras que un 12,5% identifican los mecanismos, pero no los asocian a la fricción ni al proceso de enfriamiento.
- En las respuestas iniciales, ningún estudiante nombra esta categoría de la red, por lo tanto, luego de desarrollar las actividades del dossier, hubo 8 estudiantes que fueron capaces de evolucionar de sus modelos iniciales a un modelo de transferencia. Que los estudiantes hayan incluido en su vocabulario los mecanismos de transferencia y que además algunos sean capaces de relacionarlos con procesos y fenómenos refleja que la práctica influyó en sus respuestas.

Degradación y conservación de la energía

- Ningún estudiante menciona aspectos de degradación ni de conservación de la energía, ya que como hemos nombrado anteriormente por motivos de fuerza mayor, las actividades en relación con la degradación de la energía no se alcanzaron a desarrollar con profundidad. El docente realizó las actividades de degradación en conjunto con los estudiantes, en el pizarrón y esto afectó en la respuesta final de los estudiantes ya que no lograron internalizar estos nuevos conceptos, en tan poco tiempo. Por otra parte la idea de conservación de la energía está implícita en la práctica y no existe ninguna pregunta que la abarque explícitamente, de modo que es muy difícil que los estudiantes la nombren sin ser analizada en la actividad.

¿A qué asocia la energía?

- Solo 3 estudiantes asociaron la energía a algún proceso u observable. Hubo una disminución de estudiantes dentro de esta dimensión y esto se puede deber a que hay 8 estudiantes en la lógica de transferencia, que se centraron en los mecanismos y dejaron de mencionar tipos de energía.

Cadena energética

- Un 37,5% de los estudiantes menciona la cadena energética de forma completa, es decir llegando al enfriamiento del cuerpo, lo correcto hubiese sido mencionar el equilibrio térmico, sin embargo los únicos que



responden de ese modo son los de la lógica de procesos, observables u objetos. Un 16,7% no completa la cadena energética. Con respecto a la pregunta inicial, en esta ocasión más estudiantes completaron la cadena, esto se puede deber a que después de haber realizado la actividad experimental fueron capaces de visualizar todos los procesos que ocurren y de que modo se va transfiriendo la energía de un sistema a otro.

4.1.3 La evolución de los modelos de los estudiantes a través de los estadios

A través de las respuestas de los estudiantes visualizadas en las redes sistémicas, identificamos las tres grandes maneras de describir que éstos tienen, tanto para explicar de dónde proviene y que camino ha seguido la energía asociada a la luz de las ruedas del coche, como para explicar todos los fenómenos ocurridos desde que la rueda del montaje experimental se ha puesto en movimiento, hasta que se ha enfriado por completo.

A estos tres tipos de descripciones las denominamos fronteras, ya que se deben ir cruzando una a una, para acercarse a una explicación más sofisticada en términos de energía.

Las tres grandes fronteras identificadas son:

Frontera 1: Nombra procesos, observables u objetos sin relacionarlos con energía (P)

Frontera 2: Menciona aspectos mecánicos sin relacionarlos con aspectos energéticos (M)

Frontera 3: Menciona aspectos energéticos como la transformación, transferencia, degradación o conservación de la energía (E)

Dentro de cada frontera, identificamos estadios, en los que se describe el tipo de respuesta que dan los estudiantes.

A continuación se presentan los estadios del modelo de energía que identificamos y además presentamos algunos ejemplos para cada uno de ellos. Es importante mencionar

que los estudiantes dentro de los estadios se situarán sólo en uno y éste será el de mayor predominancia en sus respuestas.

Por otra parte, no pretendemos jerarquizar los estadios en cuanto a cual es superior o inferior en calidad de respuestas, ya que todas las respuestas de los estudiantes son válidas, pero sí jerarquizamos en cuanto a cuál de ellas habla más o menos en términos de energía, ya que uno de los objetivos del diseñador es que al finalizar la práctica ellos sean capaces de explicar los fenómenos en términos energéticos.

Frontera 1: Nombra procesos, observables u objetos sin relacionarlos con energía

Estadio de desarrollo	Descripción del modelo de los estudiantes	Ejemplo de respuesta de los estudiantes en este modelo
P	Los estudiantes describen el camino de la energía en términos predominantemente de procesos, observables u objetos. Enumeran todos los procesos, observables u objetos que se identifican, desde que la rueda se comienza a mover hasta que el cobre se ha enfriado por completo, sin asociarlos a energía ni a una causalidad.	<i>Respuesta de la pregunta final que da</i> A16: “Movimiento, fricción del freno, aumenta la temperatura (calentamiento), disminución de la temperatura (enfriamiento) para llegar a la temperatura ambiente (To)”.

Tabla 5. Estadio de procesos u observables

Frontera 2: Menciona aspectos mecánicos sin relacionarlos con aspectos energéticos (M)

Estadio de desarrollo	Descripción del modelo de los estudiantes	Tipos de respuestas que se incluyen	Ejemplos
M	Los estudiantes describen el fenómeno en términos predominantemente mecánicos, identificando el agente de cambio (la fricción) como causa de los cambios observados. En este estadio los estudiantes pueden o no identificar observables, explicar a niveles microscópico o macroscópico e incluso hacer referencia a la energía, pero como generada por el agente de cambio.	Los estudiantes mencionan, que debido a la fricción, entre las pastillas y el disco de frenos, se genera energía.	A12: “Al frenar, el freno hace fricción con el disco y hace que se caliente y que se produzca energía calorífica”.
		Los estudiantes asocian a la fricción, la aparición de algunos observables.	A25: “De la fricción con el disco de frenos, se calienta y se ilumina”.
		Los estudiantes asocian a la fricción, la aparición de algunos observables, pero describen la fricción a nivel microscópico.	A15: “La rueda al fregar con el cobre hace que las partículas choquen y se muevan haciendo que la temperatura aumente y pero cuando la rueda para, el cobre se nivela con la temperatura ambiente”.

Tabla 6. Estadio de aspectos mecánicos

Frontera 3: Menciona aspectos energéticos como la transformación, transferencia, degradación o conservación de la energía (E)

Dentro de los aspectos energéticos encontramos dos subfronteras: aspectos de la transformación de la energía (T) y aspectos de la transferencia de energía (WQ), de dónde en esta última a su vez encontramos otras subfronteras: mecanismos de transferencia, degradación y conservación de la energía.

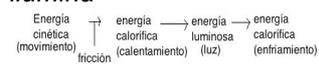
Estadio de desarrollo	Descripción del modelo de los estudiantes	Tipos de respuestas que se incluyen	Ejemplos
T	Los estudiantes describen el fenómeno en términos predominantemente energéticos. En este estadio los estudiantes mencionan tipos de transformaciones de energía, asociándoles un nombre. En algunos casos pueden asociar la energía a procesos u observables, pero no identifican transferencias de energía de un sistema a otro, ni mecanismos.	Los estudiantes nombran tipos de transformaciones de energía, pero no las describen, no las asocian a observables ni al estado del sistema.	A1: “Energía cinética, energía calorífica, energía luminosa”.
		Los estudiantes nombran tipos de transformaciones de energía y las asocian a observables o al estado del sistema.	A16: “La energía proviene del coche, el coche al frenar hace una fuerza de fricción la que afecta al disco de frenos, la energía pasa a ser calorífica y luminosa, el disco de frenos se calienta y se ilumina
			
E	Los estudiantes describen el fenómeno en términos predominantemente energéticos. En este estadio los estudiantes mencionan aspectos de la transferencia de energía. Pueden o no seguir nombrando tipos de energía, pero reconocen mecanismos de transferencia de la energía; mencionan aspectos de la degradación de la energía, como la pérdida de utilidad de ésta a lo largo de una cadena energética, o la disipación de la energía al entorno; y por último tienen noción de la conservación de la energía.	Sub estadios del sub estadio de transferencia	Ejemplos
		WQ0: Los estudiantes no nombran los mecanismos, pero demuestran tener una idea de transferencia de energía de un sistema a otro. (Ningún estudiante nombra este estadio).	
		WQ1: Los estudiantes nombran uno o los dos mecanismos de transferencia de energía, algunos lo relacionan con una fuerza (en el trabajo) o un con un proceso (enfriamiento) en el calor.	A14: “Fuerza, energía cinética provoca calentamiento, energía calorífica es transferida por trabajo se enfría: energía es transmitida al ambiente por calor”.
		WQ2: Los estudiantes nombran los dos mecanismos de transferencia de energía, algunos lo relacionan con una fuerza o un proceso e identifican aspectos de la degradación de la energía como la disipación, utilidad y calidad dentro de una cadena energética. (Ningún estudiante llega a este estadio).	
		WQ3: Los estudiantes nombran los dos mecanismos de transferencia de energía, algunos lo relacionan con una fuerza o un proceso e identifican aspectos de la degradación de la energía como la disipación, utilidad y calidad dentro de una cadena energética, pero identificando que la energía se conserva. (Ningún estudiante llega a este estadio).	

Tabla 7. Estadio de aspectos energéticos

Para poder representar los estadios recién señalados, nos basamos en las ideas de Zabel y Gropengiesser (2011). Las líneas punteadas representan las fronteras para pasar de un estadio a otro y la frontera de línea más gruesa representa la frontera más importante de cruzar, que corresponde a la de los estudiantes que comienzan a mencionar aspectos energéticos. Las flechas curvas de colores indican la trayectoria de la evolución de los modelos de cada uno de los estudiantes. El color de cada fecha representa el estadio al que llega. Los estadios WQ0, WQ2 y WQ3 no los situamos en esta representación, ya que ningún estudiante, en esta primera implementación, nombró aspectos en relación con ellos.

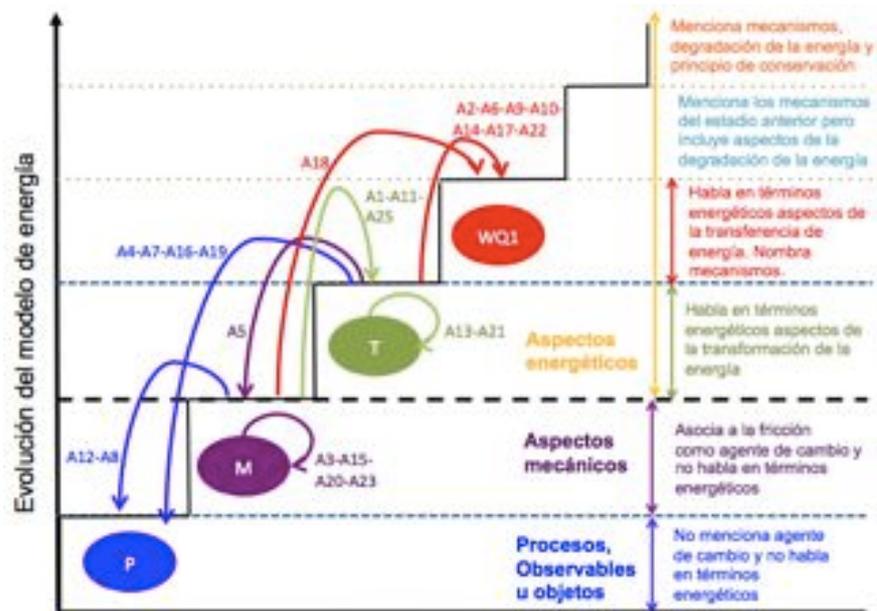


Figura 6. Representación gráfica de los estadios del modelo de energía del momento 2

4.1.4 Discusión de los resultados del momento 2

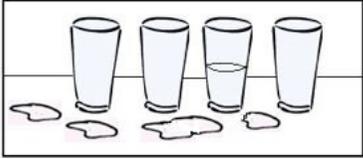
- Al comparar las respuestas inicial y final de los estudiantes, podemos observar que los aspectos de degradación y conservación de la energía no están presentes. Por lo tanto se deben incluir preguntas de estos conceptos, desde los inicios de la práctica, de modo que al finalizarla, ellos los expliciten en sus respuestas.
- También se pudo observar que después de la implementación de la actividad experimental, algunos estudiantes se introducen en la lógica de la transferencia de energía, identificando los mecanismos de transferencia y en algunos casos asociándolos a procesos, lo cual muestra una evolución de sus modelos iniciales a modelos más sofisticado en términos energéticos.
- Los estadios del modelo de energía, fueron contruidos con la intención de situar a los estudiantes en uno ellos, según como predominan sus respuestas,

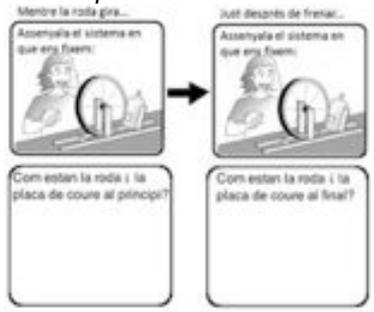
independientemente de que nombren algunos aspectos de otros modelos y se pudo observar que la frontera más relevante de superar es la que separa a los estudiantes que no mencionan aspectos energéticos con los que si los mencionan, ya que uno de los objetivos de la práctica es que los estudiantes incorporen en su vocabulario aspectos de los estadios del modelo energético.

- Por otra parte, se observan múltiples respuestas que mencionan transformaciones de energía. Ante esto consideramos que suprimir este tipo de respuestas, es muy complejo, ya que los estudiantes vienen desde la escuela con estos conocimientos y al reconocer un observable, de inmediato lo asocian a un tipo de energía, como por ejemplo luz con energía lumínica. Sin embargo se evidencian respuestas con una lógica de transferencia mezcladas con tipos de energía, pero una respuesta de este tipo es satisfactoria, pues demuestra que con un reforzamiento adicional, los estudiantes puede dejar de mencionar tipos de energía y hablar en términos de transferencia.
- En esta implementación, el estadio más alto al que los estudiantes llegaron fue el WQ1, dónde en él se sitúan aquellos estudiantes que reconocen los mecanismos de transferencia de la energía. En esta implementación los estudiantes no nombraron aspectos de los estadios WQ2 ni WQ3 y esto lo asociamos al poco tiempo del que se dispuso para el desarrollo de las actividades asociadas a la degradación y a la carencia de una actividad que acerque al principio de conservación de la energía.
- Al observar los modelos podemos evidenciar que 11 estudiantes avanzan de sus modelos iniciales a un modelo más sofisticado de energía, 6 estudiantes se mantienen en el modelo en el que empezaron y 7 retroceden, estos últimos quedan en el modelo más básico (P), esto lo asociamos a la formulación de la pregunta, ya que los lleva a enfatizar los procesos ocurridos en vez del camino de la energía. Por lo anterior, pensamos que la idea de describir el camino de la energía, no quedó clara ya que los estudiantes no supieron reconocer los elementos que debían describir para completarlo. Por lo tanto este es un aspecto débil que debemos modificar. El estudiante A18 es el que muestra un mayor progreso, ya que pasa de un estadio de aspectos mecánicos a hablar de transferencia de energía.
- Para evitar que algunos estudiantes centren sus respuestas en el agente de cambio, debemos quitar relevancia a la fricción a nivel microscópico, ya que nos interesa que comprendan el papel de ésta en el mecanismo de trabajo.
- Finalmente, a partir de los resultados ya expuestos proponemos a continuación una serie de refinamientos para obtener una versión 2 de la práctica.

4.1.1 Resultados del refinamiento de la versión N°1

La siguiente tabla resume las modificaciones realizadas a la versión 1, en base a los resultados anteriores, en cuanto a conocimientos científicos y conocimientos de contenidos pedagógicos. Para cada modificación se presenta un ejemplo de contraste entre la versión 1 y la versión 2. Para visualizar todas las modificaciones realizadas ver anexo 3.

Modificaciones		Justificación por cada cambio
Modificaciones de los conocimientos científicos	En cuanto al contenido conceptual	En la versión original y en la versión N°1, no se incluye la conservación de la energía, ya que considerábamos que los estudiantes la conocían, sin embargo al analizar las respuestas de los estudiantes y no encontrar este conocimiento explícitamente, decidimos incluirlo a través de una situación ejemplificadora.
	Versión N°1	Versión N°2
	<p>9.- La degradación de la energía <i>En este ítem no se incluye ninguna explicación o pregunta referente a la conservación de la energía.</i></p>	<p>9.- La degradación de la energía <i>“Para comprender el principio de conservación de la energía, puedes analizar la siguiente situación.</i> <i>Disponemos de cuatro vasos, el primero con una cantidad inicial de agua que iremos depositando en cada uno de los demás vasos, a medida que se vierte en el vaso siguiente cae una cierta cantidad de agua al suelo. Fíjate que al llegar al último, disponemos de menos agua en el vaso, pero la cantidad inicial de agua sigue siendo la misma, solo que está distribuida en varias partes. Lo mismo sucede con la energía, disponemos de una cantidad inicial y medida que se transfiere de un sistema a otro disponemos de menos energía útil, pero el resto de energía no se ha perdido, solo se ha transmitido a otros sistemas, como por ejemplo al entorno.</i> <i>La energía se conserva, pero se degrada a medida que se transfiere, es decir, cada vez disponemos de menor energía útil”.</i></p> <div style="text-align: center;">  </div>
Respecto a procedimientos del docente	Se sugieren al docente momentos específicos para realizar la puesta en común, de modo que las preguntas que nos interesa analizar no se modifiquen, después de comentar las respuestas en conjunto.	

		Versión N°1	Versión N°2
		Pregunta 3: En la implementación de la versión N°1, se realizó una breve puesta en común de esta pregunta.	Pregunta 5: Se sugiere al docente que en la implementación de esta versión no se realice una puesta en común de esta pregunta, para evitar modificaciones de las respuestas.
Modificaciones de los conocimientos de contenido pedagógico	En cuanto a la investigación	No hubo modificaciones de este aspecto, sin embargo se enfatiza al docente que en el ítem 6 de la práctica, los estudiantes intercambien sus ruedas con otros grupos para que evidencien las variables que inciden en un mayor aumento de la temperatura de la placa de cobre.	
	En cuanto a modelos	<p>-Se comienza a incluir el concepto de degradación de la energía desde el ítem 6 “calentamiento por rozamiento”, de modo que los estudiantes comiencen a visualizar las disipaciones de energía al entorno y como varía la utilidad de la energía en cada etapa del proceso. Por lo tanto, se agregan nuevas preguntas para enfatizar estos aspectos. (Ejemplo 1)</p> <p>-El párrafo explicativo de ítem 8, incluido en la versión N°1 se divide y modifica, incluyéndolo en el ítem 6 y 7, con la intención de enfatizar los mecanismos de transferencia de energía en cada etapa del proceso y además enfatizar los aspectos de degradación de la energía. (Ejemplo 2)</p> <p>-Se realizan modificaciones en algunas preguntas, para dirigir a los estudiantes a un modelo de energía más sofisticado y que les permita describir el camino de la energía. (Ejemplo 3)</p>	
			Versión N°1
		(Ejemplo 1): No existen preguntas referentes a la transferencia ni degradación de la energía, hasta el ítem 8.	(Ejemplo 1) Pregunta 12: Completa el siguiente esquema, marcando o pintando en el dibujo desde que sistema se transfiere la energía.
			
		<p>Pregunta 13: Explica en términos de energía cómo se producen estos cambios.</p> <p>Pregunta 14: ¿Crees que toda la energía del movimiento de la rueda se ha invertido en calentar el cobre?</p> <p>Pregunta 18: Completa el siguiente esquema, marcando o pintando en</p>	

(Ejemplo 2): Explicación expuesta en el ítem 8: Hoy hemos estudiado dos fenómenos, que son el calentamiento que se produce por rozamiento y el enfriamiento que se produce por interacción con el entorno. El primero lo pudiste observar cuando la botella con agua aumenta su volumen y roza con la placa de cobre, en cambio el segundo el vaso observar cuando la placa de cobre se empezó a enfriar al estar en contacto con el ambiente, llegando a un estadio de equilibrio térmico.

Lo interesante es que en ambos fenómenos los cambios que se producen (que la rueda frene y aumente la temperatura de la placa, que la placa se enfríe y aumente la temperatura del entorno) nos indica que existe una transferencia de energía de un sistema a otro: de la rueda en la placa de la placa en el entorno.

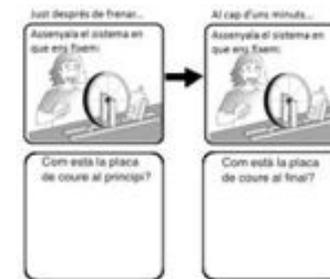
Estas transferencias de energía se producen por diferentes mecanismos.

En el caso del calentamiento que se produce por rozamiento, hubo una interacción entre la rueda y la placa de cobre, asociada a la fuerza de rozamiento entre las dos. Podemos pensar que la rueda hizo un trabajo sobre la placa de cobre (la rozó). Cuando existen fuerzas que actúen sobre sistemas hablaremos de una transferencia de energía a través del trabajo.

Por otra parte, la placa de cobre caliente que estaba en contacto con el ambiente empezó a enfriarse y transferir energía al entorno, ya que existía entre ambos una diferencia de energía. Cuando dos cuerpos a diferente temperatura están en contacto hablaremos de transferencia de energía a través de calor.

(Ejemplo 3) Pregunta 20: Serías capaz de describir todos los fenómenos que han sucedido (desde que hemos puesto la rueda en funcionamiento hasta que el cobre ha enfriado por completo) hablando de la energía? Pruébalo!

el dibujo desde que sistema se transfiere la energía.



Pregunta 19: ¿En que se ha invertido la energía que tenía la placa de cobre caliente?

Pregunta 20: ¿Dónde está ahora esa energía?

(Ejemplo 2) Explicación expuesta en el ítem 6: “La transferencia de energía que se da entre la situación inicial (la rueda en movimiento) y final (cobre caliente) se ha producido porque la rueda ha rozado contra el cobre, es decir, la rueda hizo un **trabajo** sobre la placa de cobre.

Cuando existen fuerzas que actúen sobre sistemas hablaremos de una transferencia de energía a través de **trabajo**”.

Explicación expuesta en el ítem 7: La transferencia de energía que se da de la situación inicial (cobre caliente) a la situación final (cobre frío) se debe al contacto entre el cobre y el entorno, los cuales además, se encuentran a diferente temperatura.

Abrás notado que el cobre se encontraba a mayor temperatura que el entorno, de modo que se transfirió energía a través de **calor** desde el cobre al entorno, hasta que la temperatura entre ambos cuerpos se igualó, a lo que llamamos equilibrio térmico.

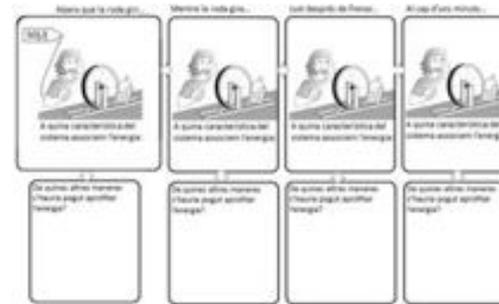
Cuando dos cuerpos en contacto se encuentran a diferente temperatura, se transfiere energía del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura a través de un mecanismo llamado **calor**.

(Ejemplo 3) Pregunta 25: Serías capaz de describir el camino de la energía (desde que hemos puesto la rueda en funcionamiento hasta que el cobre se ha enfriado por completo) Pruébalo!

Pregunta 22: Hemos visto que en el proceso estudiado en cada cambio hay una transferencia de energía. Este proceso parece tener un final, es decir, con la rueda parada y fría no suceden más cambios. ¿Cómo podemos aprovechar la energía en cada etapa?



Pregunta 22: Hemos visto que en el proceso estudiado en cada cambio hay una transferencia de energía. Este proceso parece tener un final, es decir, con la rueda parada y fría no suceden más cambios. ¿Cómo podemos aprovechar la energía en cada etapa?



Pregunta 23: Una persona dispone de 50 [J] de energía, que los asociamos a su brazo, tal como se muestra en la etiqueta de la figura anterior. Tú sabes que la energía se conserva, entonces:

- a) ¿Qué pasa con la energía en cada etapa?
- b) Marca en el dibujo anterior, utilizando etiquetas, cuánta energía asocias a cada parte del sistema.

Respecto a la contextualización

Se modifica la pregunta de contextualización para que los estudiantes respondan describiendo el camino de la energía.

Versión N°1

Versión N°2

Pregunta 3: Explica de dónde proviene y qué camino ha seguido la energía asociada a la luz de las ruedas. Puedes ayudarte con un dibujo o un esquema si lo prefieres.

Pregunta 2: Explica de dónde proviene y qué camino ha seguido la energía asociada a la luz del disco de frenos desde que la rueda está en movimiento hasta que el coche está parado y el disco deja de brillar. Menciona el origen de la energía, a dónde va y como se transfiere de un sistema a otro. Puedes ayudarte con un dibujo o un esquema si lo prefieres.

En cuanto a otros aspectos de aprendizaje

No se realizan modificaciones en otros aspectos de aprendizaje.

Tabla 8 . Refinamiento de la versión N°1

4.1.2 Las concepciones de los estudiantes al inicio y final de la práctica en el momento 3

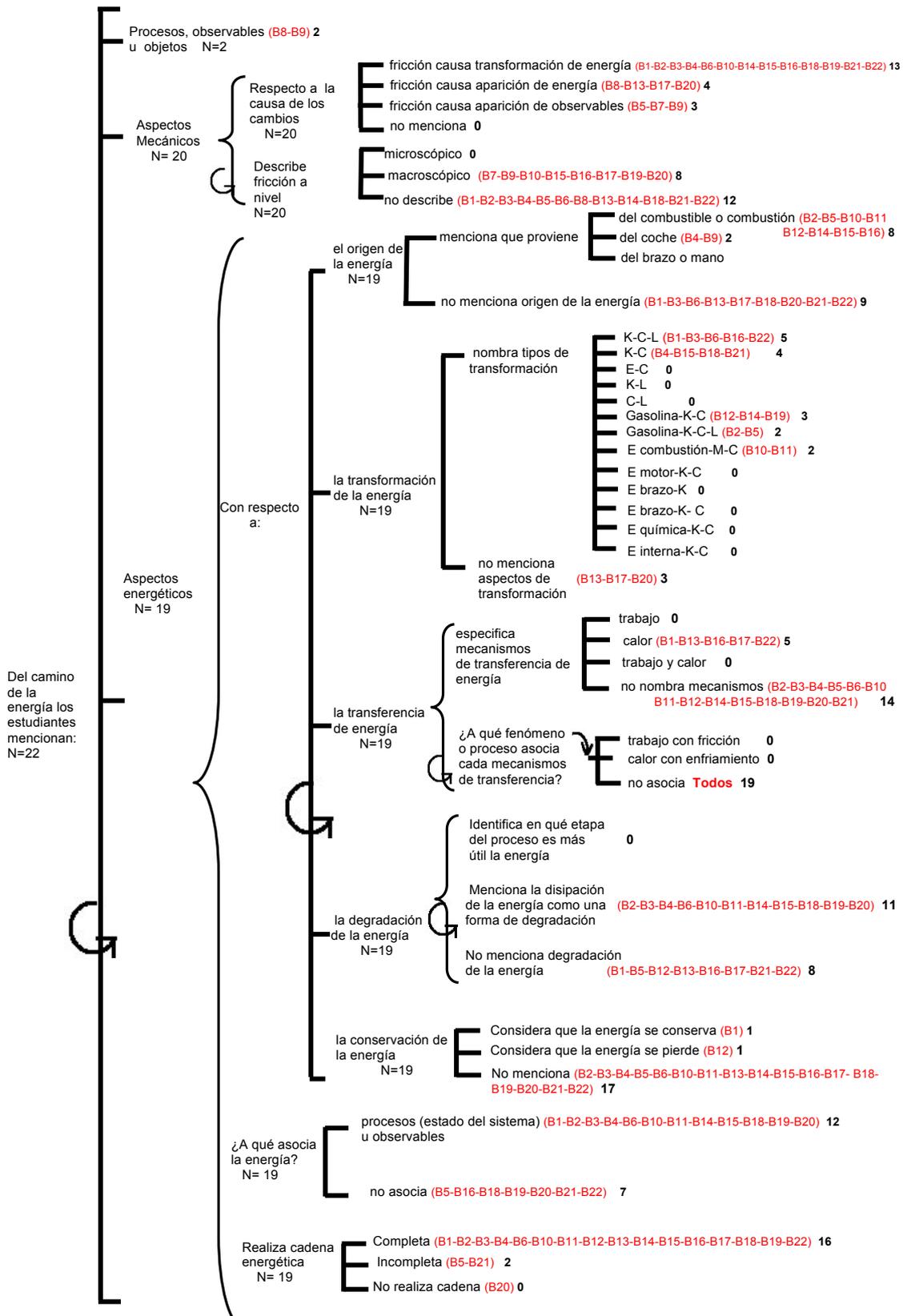


Figura 6. Concepciones de los estudiantes de bachillerato en el inicio del momento 3

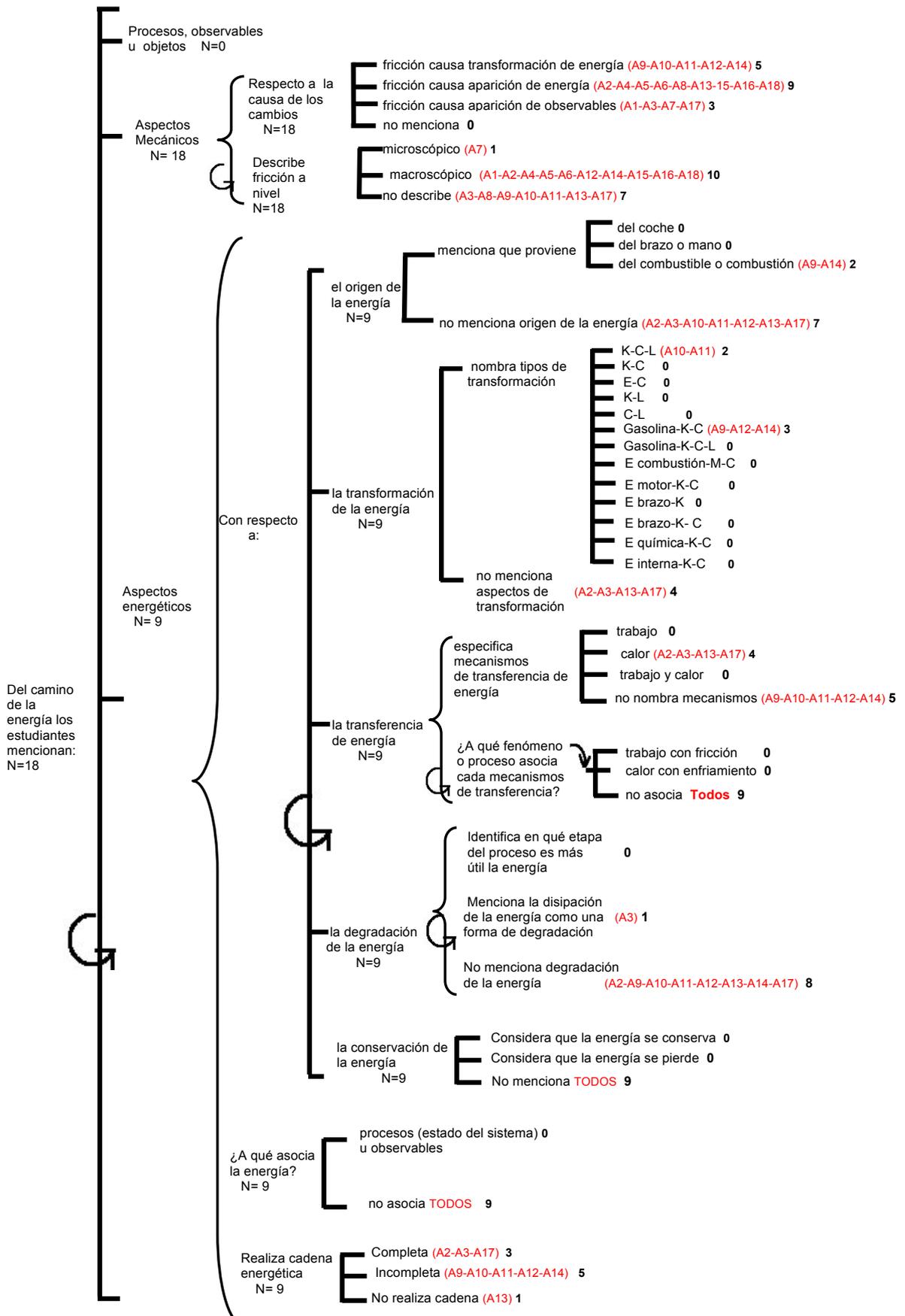


Figura 7. Concepciones de los estudiantes de 4º de ESO en el inicio del momento 3

Gráficas de frecuencias de las concepciones de los estudiantes al inicio del momento 3

Las dos redes sistémicas anteriores nos plasman las respuestas iniciales de los estudiantes en el momento 3.

1.-Procesos, observables u objetos

- Esta categoría fue mencionada por dos estudiantes de bachillerato pero no fue escogida por sí sola, ya que en ambos casos los estudiantes mencionaron aspectos de otras categorías, tal como lo hace el estudiante B9: “La luz de las llantas provienen del rozamiento que hace la pastilla de frenos con el disco de frenos. Como todos son de metal al rozarse se produce calor que hace calentar la pastilla y tornarla roja. Camino: freno - pastilla de freno - disco de frenos - rueda – el suelo”. Asociamos esta confusión a que los estudiantes enfatizaron los objetos ya que a partir de ellos se pueden apreciar los observables.
- Los estudiantes de 4º de ESO, no mencionaron esta categoría.

2.-Aspectos mecánicos: “Respecto a la causa de los cambios”

- En primer lugar, podemos observar que en el caso de los estudiantes de 4º de ESO, los 18 responden mencionando aspectos mecánicos, mientras que los estudiantes de bachillerato, sólo 20 de ellos asocian alguna causalidad a la fricción.

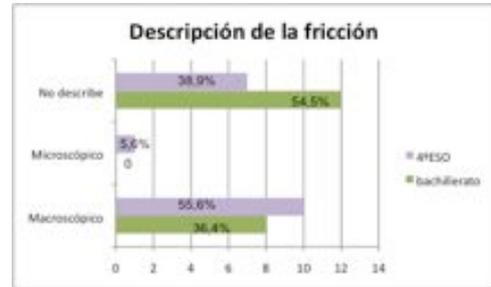


- 4 estudiantes, tanto 4º de ESO como 1º de bachillerato asocian a la fricción la aparición de observables. Esta opción disminuyó en comparación con la primera implementación donde un 41,7% la escogió en esa oportunidad. Nosotros esperamos que los estudiantes identifiquen los observables en el proceso y que poco a poco los atribuyan a una transferencia de energía.
- En esta oportunidad tanto los estudiantes de bachillerato con un 18,2% y los de 4º de ESO con un 50% asocian a la fricción la aparición de energía, un número mayor en comparación con la primera implementación, lo cual demuestra que los estudiantes vienen con concepciones erróneas con respecto al rol de la fricción.
- Finalmente, los estudiantes de bachillerato con un 59,1% y los de 4º de ESO con un 27,8% asocian a la fricción las transformaciones de energía de una a otra, en este caso los estudiantes de bachillerato mantienen un porcentaje similar a los estudiantes de la primera implementación que escogieron esta opción con un

45,8%. Los estudiantes que responden utilizando este criterio mencionan a la vez aspectos energéticos, identificando los tipos de energía dentro del proceso.

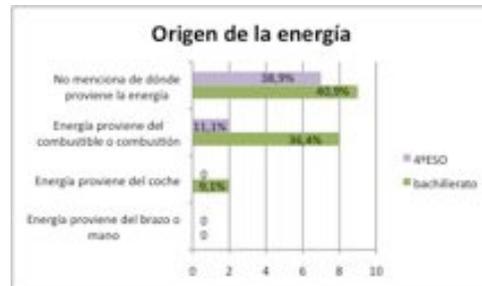
“Describe fricción a nivel”

- 8 estudiantes de bachillerato y 10 de 4° de ESO, describen la fricción a nivel macroscópico, nombrando o describiendo las superficies que interactúan durante el rozamiento, en ambos casos un número menor en comparación con la primera implementación (16 estudiantes).
- Un estudiante de 4° de ESO describe la fricción a nivel microscópico, mencionando el comportamiento de las partículas durante el rozamiento, en la pregunta inicial, este es el único estudiante que lo realiza en las tres implementaciones.
- Los estudiantes que no describen la fricción, de todos modos la nombran pero no explican el proceso.



2.-Aspectos energéticos: “Respecto a el origen de la energía”

- Dentro del grupo de bachillerato 19 estudiantes mencionaron aspectos energéticos lo que corresponde a un 86,4% de la muestra, mientras que en el grupo de 4° de ESO sólo 9 estudiantes mencionan aspectos energéticos, lo que corresponde a un 50% de la muestra.
- Con respecto al origen de la energía, en la primera implementación ningún estudiante señaló al combustible o al proceso de combustión como el origen de la energía, sin embargo en estas dos implementaciones hay estudiantes que lo señalan. Estos resultados nos indican que la modificación realizada al enunciado de la pregunta inicial tuvo algún efecto, ya que se explicitaron los aspectos del camino de la energía que esperábamos que respondieran. 2 estudiantes de bachillerato se aproximan al origen correcto de la energía, mencionando que proviene del coche.
- No mencionan el origen de la energía, 9 estudiantes de bachillerato y 7 de 4° de ESO, en ambos casos un número menor con respecto a la primera implementación.



mencionan la disipación de la energía al entorno. Este tipo de respuestas son esperadas considerando que la palabra disipación es muy utilizada, sin embargo no todos los estudiantes demuestran una verdadera comprensión del concepto. Hablar de cómo cambia la utilidad de la energía a lo largo del proceso es de mayor complejidad, por lo tanto esperamos que después de desarrollar la práctica mencionen este tipo de aspectos.

Conservación de la energía

- En la primera implementación, ningún estudiante mencionó aspectos de la conservación de la energía, y en esta ocasión sucede casi lo mismo ya que sólo 1 estudiante de bachillerato enuncia en su respuesta el principio de conservación de la energía. Este resultado es bastante esperado en la respuesta inicial ya que es un concepto complejo de entender y se necesitan algunos conocimientos previos.
- Por otra parte, 1 estudiante de bachillerato considera que la energía se pierde, lo cual es preocupante, pero este tipo de respuesta se puede deber a que el estudiante se centra en analizar lo que sucede con la rueda, y en vez de considerar que transfiere la energía, el considera que la rueda pierde la energía.
- Ningún estudiante de 4º de ESO menciona la conservación de la energía.

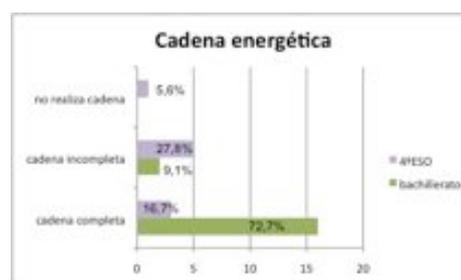


¿A qué asocia la energía?

- 12 de los estudiantes de bachillerato asocian la energía al estado del sistema o a observables mientras que ninguno de 4º de ESO lo realiza. Los estudiantes que asocian la energía a un proceso u observable nos manifiestan que tienen una idea del estado del sistema.

Cadena energética

- La cadena energética se realizó en forma completa por más estudiantes que en la primera implementación, en el caso de bachillerato y por un número levemente menor en comparación con los de 4º de ESO.



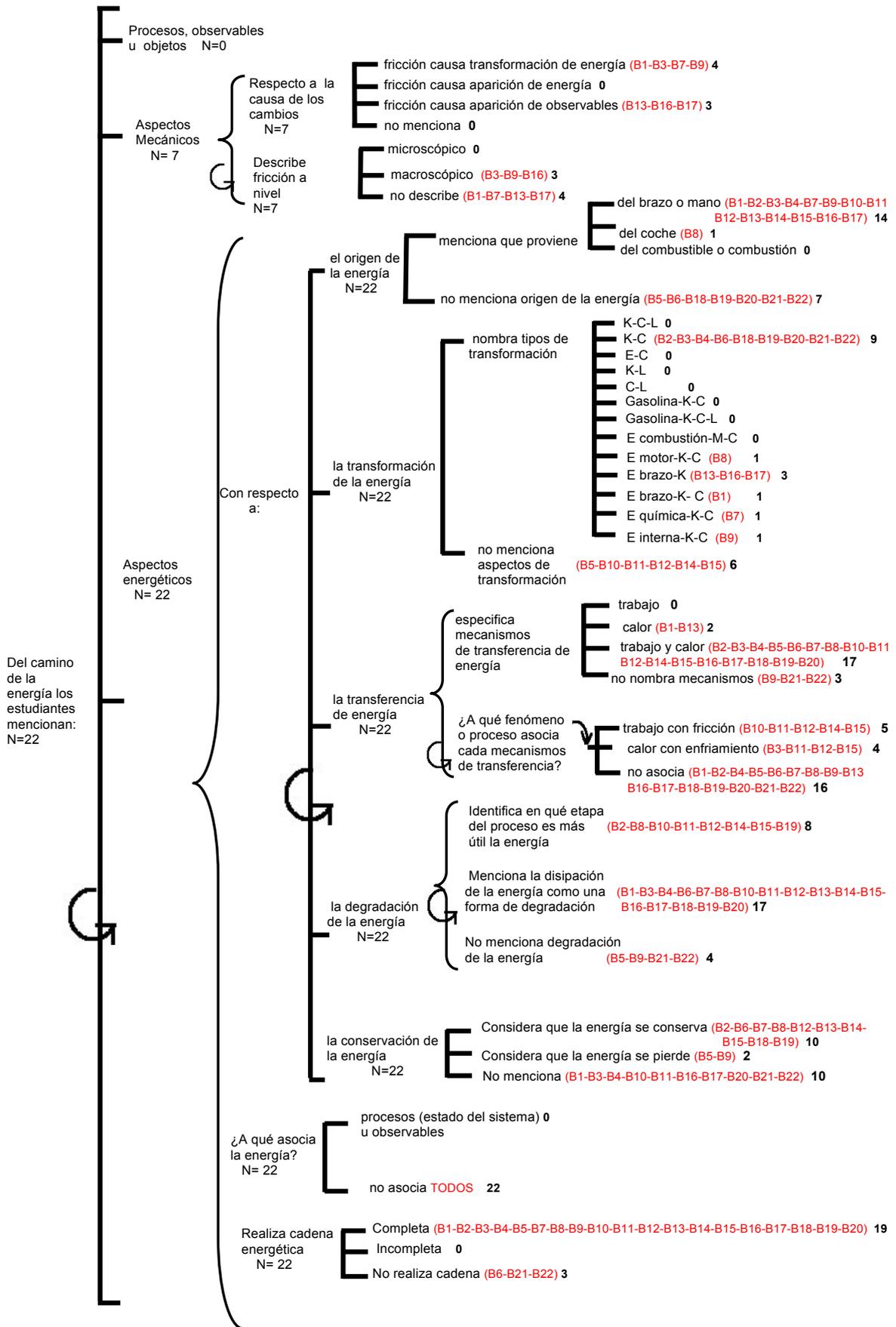


Figura 8. Concepciones de los estudiantes de bachillerato en el fin del momento 3

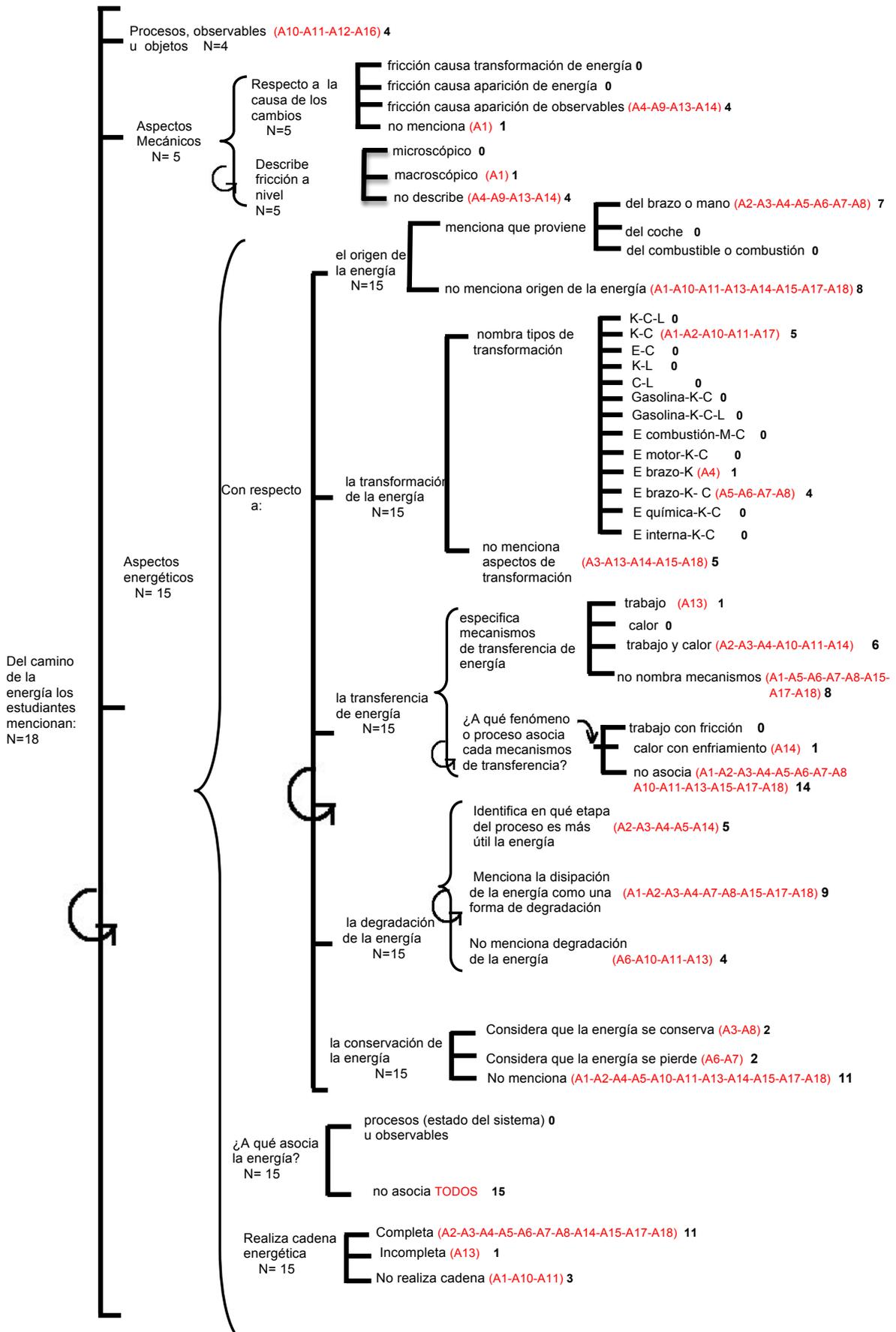


Figura 9. Concepciones de los estudiantes de 4º de ESO en el fin del momento 3

Gráficas de frecuencias de las concepciones de los estudiantes al fin del momento 3

Las dos redes sistémicas anteriores nos plasman las respuestas finales de los estudiantes en el momento 3. El análisis de las respuestas finales del momento 3, incluyen también las respuestas de las preguntas intermedias.

1.-Procesos, observables u objetos

- Esta categoría fue mencionada por cuatro estudiantes de 4º de ESO, dónde dos de ellos la escogieron por sí sola y los otros dos acompañan sus respuestas incluyendo aspectos de otras categorías.
- Ningún estudiante de bachillerato menciona esta categoría.

2.-Aspectos mecánicos: “Respecto a la causa de los cambios”

- 7 estudiantes de Bachillerato y 5 de 4º de ESO mencionan aspectos mecánicos, en ambos casos disminuye el número de estudiantes con respecto a la pregunta inicial.
- La fricción causa la aparición de energía, dejó de ser una opción para los estudiantes que la mencionaron en su respuesta inicial, y esto es muy positivo ya que indica que pudo haber una comprensión del rol de la fricción en el proceso.
- Hubo una disminución de los estudiantes de bachillerato que consideran a la fricción como agente de transformación de la energía, y el número de estudiantes que la asocian con la aparición de observables se mantiene. Por otra parte en el caso de 4º de ESO, ningún estudiante asocia a la fricción con la transformación de la energía y con respecto a la aparición de observables aumenta en un estudiante esta posibilidad.
- En la pregunta final se evidencia que son más los estudiantes que comienzan a mencionar aspectos energéticos y dejan de nombrar aspectos mecánicos.



“Describe fricción a nivel”

- 3 estudiantes de bachillerato y 1 de 4º de ESO, describen la fricción a nivel macroscópico, un número menor en ambos casos con respecto a la pregunta inicial.



- Ningún estudiante describe la fricción a nivel microscópico.

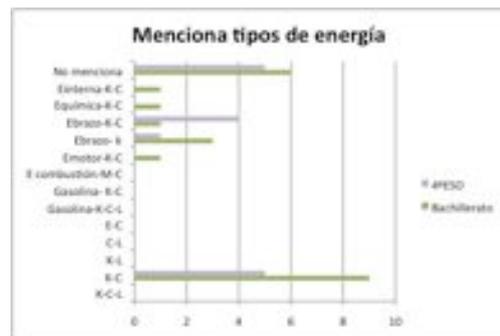
2.-Aspectos energéticos: “Respecto a el origen de la energía”

- Dentro del grupo de bachillerato los 22 estudiantes mencionaron aspectos energéticos lo que corresponde a un 100% de la muestra, mientras que en el grupo de 4º de ESO 15 estudiantes mencionan aspectos energéticos, lo que corresponde a un 83,3% de la muestra, esto demuestra que después de ejecutar la práctica son más los estudiantes que comienzan a considerar los aspectos energéticos en comparación con el inicio de la práctica.
- Con respecto al origen de la energía, 14 estudiantes de bachillerato y 7 de 4º de ESO señalan que el origen de la energía está en el brazo del sujeto. Estos resultados son satisfactorios ya que es muy importante que los estudiantes identifiquen desde que sistema se comienza a transferir la energía a otros. Podemos asociar el aumento de estas respuestas con que los estudiantes dejaron de pensar en que la fricción genera la aparición de energía.
- No mencionan el origen de la energía, 7 estudiantes de bachillerato y 8 de 4º de ESO.



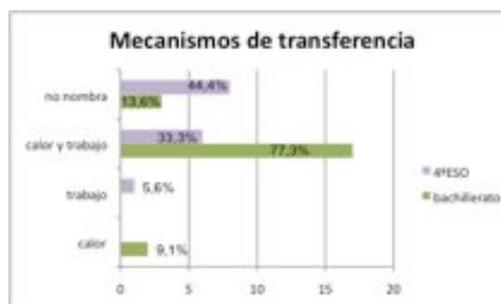
Respecto a la transformación de la energía

- Un 72,7% de los estudiantes de bachillerato y un 55,6% de los de 4º de ESO, nombran transformaciones de energía, identificando tipos de energía.
- Dentro de los nuevos tipos de transformaciones de energía mencionados surge la transformación de la energía del brazo a cinética y calorífica, también hay estudiantes que llaman a la energía del sujeto como energía química o interna.
- En el caso de 4º de ESO hay un mayor número de estudiantes que nombran tipos de energía, lo cual nos demuestra que la práctica incide en que los estudiantes comiencen a hablar más en términos de energía, aunque siempre es mejor que los estudiantes combinen este tipo de respuestas con aspectos de la transferencia de energía.



Transferencias de energía

- Uno de los grandes avances de las respuestas de los estudiantes al finalizar la práctica se evidencia en esta gráfica, ya que en el inicio ningún estudiante nombró los dos mecanismos de transferencia y al finalizar la práctica se puede evidenciar que un gran número de estudiantes de bachillerato lo hace, como también en un menor número los de 4º de ESO. Este tipo de respuestas son muy alentadoras ya que nos manifiesta que hubo una asimilación de algunos aspectos de la transferencia de energía a través de la ejecución de la práctica.
- Por otra parte, en las respuestas iniciales ningún estudiante asoció los mecanismos de transferencia con procesos o fenómenos, sin embargo en esta ocasión, 5 estudiantes de bachillerato asocian la fricción con el mecanismo de trabajo, 4 estudiantes de bachillerato y 1 de 4º de ESO asocian el proceso de enfriamiento con el mecanismo de calor.



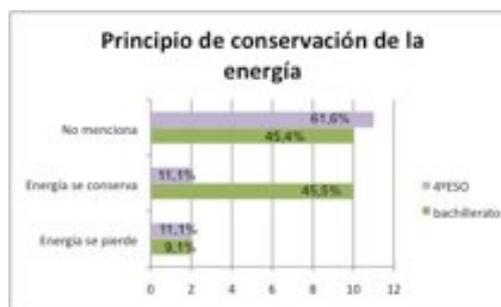
Degradación de la energía

- Al finalizar el momento 3, aumenta el número de estudiantes que comienzan a nombrar aspectos de la degradación de la energía, siendo uno de los resultados más relevantes, los de los estudiantes que son capaces de identificar como varía la utilidad de la energía a lo largo de los procesos, este tipo de respuestas manifiesta una comprensión de los mecanismos de transferencia de energía, de cómo se transfiere la energía de un sistema a otro y de algunos aspectos de la degradación, como la pérdida de la utilidad de la energía.
- Por otra parte, aumentan los porcentajes de estudiantes que mencionan a la disipación de la energía como una forma de degradación de ésta.
- Estos resultados son muy alentadores, ya que no se obtuvieron en la primera implementación y nos permiten observar que algunos de los cambios que hemos realizado en la práctica han sido efectivo en la evolución de los modelos de los estudiantes.



Conservación de la energía

- En la gráfica se puede observar que 10 estudiantes de bachillerato y 2 de 4º de ESO consideran que la energía se conserva, en ambos casos este resultado mejora en comparación con la pregunta inicial.
- Continúan algunas respuestas que consideran que la energía se pierde, y consideramos que el principio de conservación de la energía es difícil de asimilar en una práctica de tan corta duración.

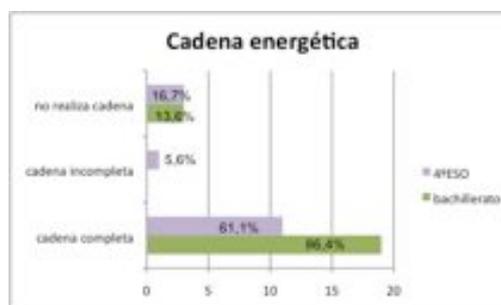


¿A qué asocia la energía?

- El 100% de ambos grupos no asocian la energía a procesos ni a observables, esto lo atribuimos a que están centrando sus respuestas a los aspectos de transferencia de la energía, de modo que nombran tipos de energía pero no se centran en asociarlos a algún observable, pues se centran en nombrar mecanismos y asociarlos a procesos en algunos casos.

Cadena energética

- La cadena energética se realizó en forma completa por más estudiantes que en la pregunta inicial, en ambos casos con más de un 50%.
- Los estudiantes han sido capaces de completar la cadena y nombrar dónde queda finalmente la energía, en algunos casos mencionan la disipación e incluso la utilidad de la energía final.



4.1.3 La evolución de los modelos de los estudiantes a través de los estadios

Los estadios del modelo de energía presentados en el momento 2, continúan siendo los mismos en el momento 3, sólo que en esta ocasión obtuvimos respuestas de todos los estadios planteados.

A continuación presentamos un ejemplo de las respuestas de los estudiantes, de los sub estadios, que no fueron ejemplificados en el momento 2, debido a que ningún estudiante los mencionó.

Sub estadios del sub estadio de transferencia	Ejemplos
WQ0: Los estudiantes no nombran los mecanismos, pero demuestran tener una idea de transferencia de energía de un sistema a otro.	A8: <i>La energía no se crea ni se destruye, se transforma. Pasa del brazo de la niña → a la rueda en energía cinética de la rueda → a la placa de cobre en energía calorífica y de la lámina de cobre → al aire</i>
WQ2: Los estudiantes nombran los dos mecanismos de transferencia de energía, algunos lo relacionan con una fuerza o un proceso e identifican aspectos de la degradación de la energía como la disipación, utilidad y calidad dentro de una cadena energética.	B2: <i>Partimos del brazo, (energía muy útil) que hace que se mueva la rueda por trabajo, transmitiendo energía cinética, pero una parte se pierde en el ambiente a través de calor. Esta energía (menos útil) a través de la fricción pasa a ser energía calorífica de la placa de cobre, pero pierde una parte más en el ambiente en forma de calor. A medida que la placa de cobre está en contacto con el aire se enfría, transfiriendo calor al ambiente (energía totalmente inútil).</i>
WQ3: Los estudiantes nombran los dos mecanismos de transferencia de energía, algunos lo relacionan con una fuerza o un proceso e identifican aspectos de la degradación de la energía como la disipación, utilidad y calidad dentro de una cadena energética, pero identificando que la energía se conserva.	Este tipo de respuesta es similar a la del estadio WQ2, sin embargo la presencia del principio de conservación de la energía se visualizó a través de las respuestas intermedias y no a través de la pregunta final, pues ningún estudiante nombra todos los aspectos en una misma respuesta.

Tabla 8. Ejemplos de los sub estadios del modelo de energía

Nuevamente representaremos los estadios del modelo de energía de manera gráfica. En esta ocasión están presentes todos los estadios del modelo.

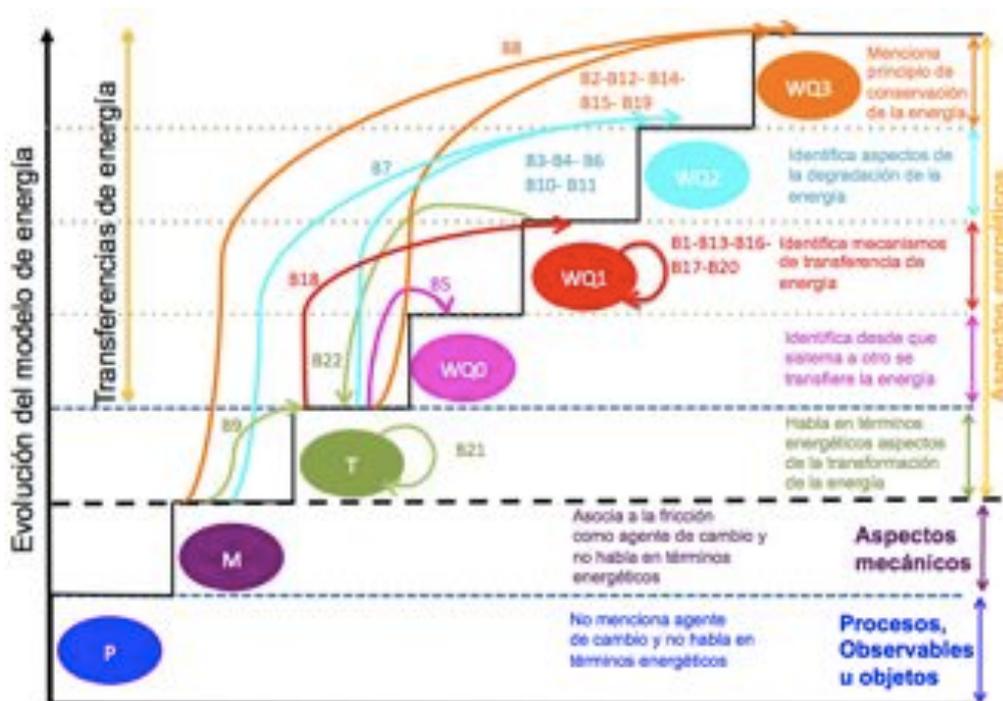


Figura 10. Representación gráfica de los estadios del modelo de energía de los estudiantes de 1º de bachillerato en el momento 3

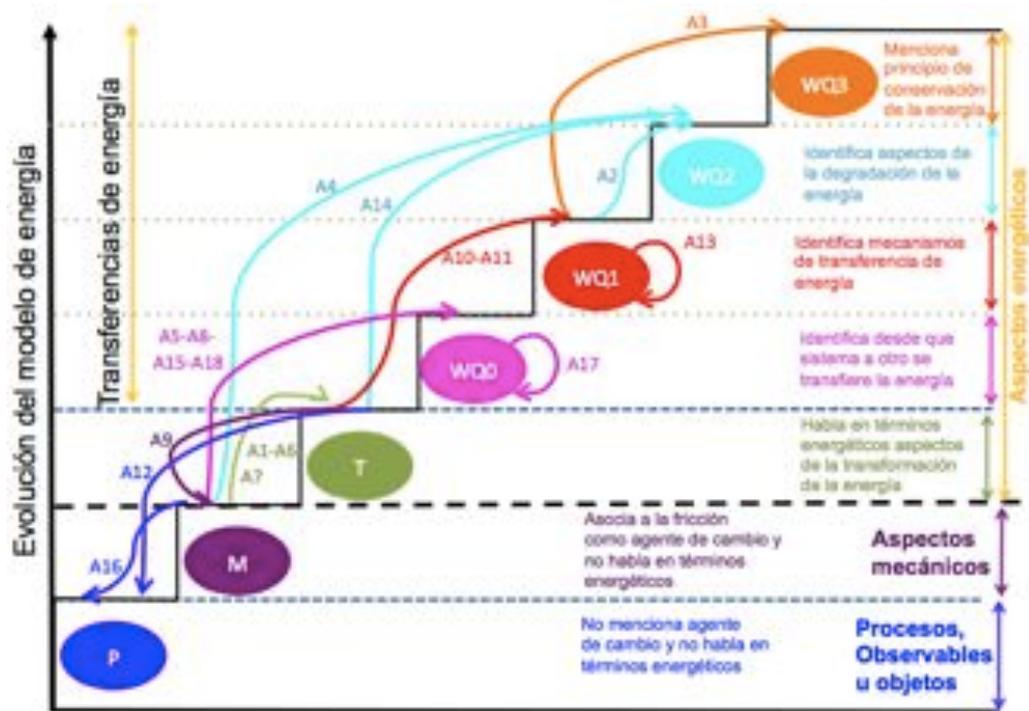


Figura 11. Representación gráfica de los estadios del modelo de energía de los estudiantes de 4º de ESO en el momento 3

4.1.4 Discusión de los resultados del momento 2

- Los estudiantes desde el inicio al fin de la práctica comenzaron a mencionar más aspectos energéticos e incluyeron aspectos de la degradación y conservación de la energía, que en la primera implementación no estuvieron presentes. Esta evolución la asociamos a las preguntas introducidas en la práctica que involucran las ideas de degradación desde los comienzos de la práctica y las preguntas que permiten observar la presencia de la noción de conservación de la energía.
- Aumentó el número de estudiantes que mencionan los mecanismos de transferencia de energía, con respecto al momento 2, y esto lo asociamos a las modificaciones realizadas a las preguntas que abarcan este contenido como también a la dedicación que se dio a estos ítems en la práctica presencial, dónde el docente intervino adecuadamente, guiando a los estudiantes para lograr el aprendizaje esperado.
- Con respecto a los estudiantes de bachillerato, 15 estudiantes suben a estadios superiores, 1 estudiante baja y 6 se mantienen en el mismo estadio que el inicial. En cuanto a los estudiantes de 4º de ESO, 13 estudiantes suben a un estadio superior, 3 estudiantes bajan a un estadio inferior y 2 se mantienen en el mismo.
- En esta implementación el estadio más alto al que los estudiantes llegaron fue el WQ3, dónde en él se sitúan aquellos estudiantes que reconocen los mecanismos

de transferencia de la energía, mencionan aspectos de la degradación como la disipación de la energía o como cambia la utilidad de la energía en cada proceso y además manifiesta nociones de conservación de la energía.

- Una mayor cantidad de estudiantes de bachillerato (6) consiguen llegar al estadio más alto WQ3 y en el caso de 4º de ESO sólo un estudiante llega a él.

4.2 Bloque 2: Resultados globales: comparativa de los resultados en los diferentes momentos de implementación.

4.2.1 Comparativa del refinamiento del material didáctico

Como ya hemos mencionado se realizaron dos refinamientos: el primero al diseño original y el segundo a la versión 1 del dossier, en el cual se plantearon modificaciones en base a conocimientos científicos y conocimientos de contenido pedagógico. Añadimos un tercer refinamiento para obtener una versión 3 del dossier, pero esta versión no se implementó.

No presentamos la tabla de resumen de modificaciones que nos permitió obtener la versión 3 del dossier, debido a que sólo se realizó una modificación, sugerida por una investigadora externa, a la aplicación final de la actividad.

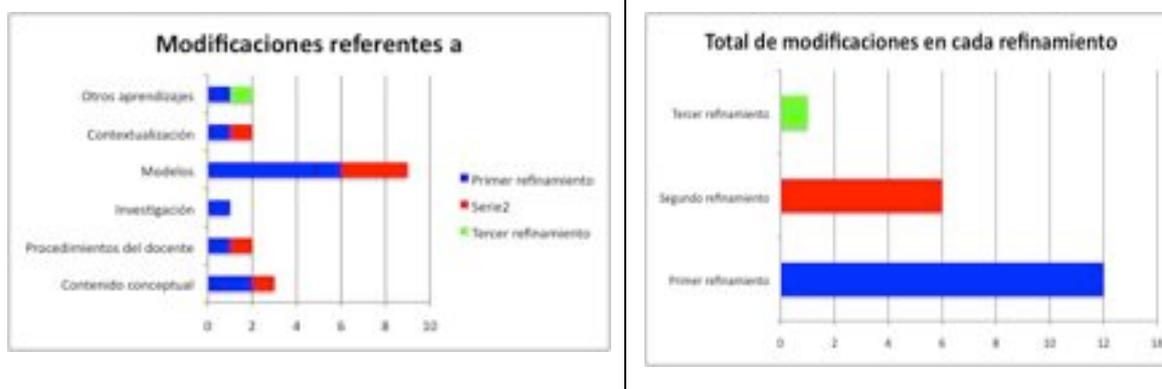


Figura 12. Número de modificaciones en cada refinamiento y total de modificaciones

En cuanto a las modificaciones en base a conocimientos científicos, el primer aspecto a modificar fueron algunos contenidos conceptuales, en el caso del primer refinamiento fueron 2, mientras que en el segundo fue sólo 1. Los 2 cambios realizados a la versión 0 fueron de carácter conceptual, en el que tuvimos que aclarar algunos conceptos con el diseñador, mientras que el cambio en la versión 1 implicó incorporar un nuevo contenido conceptual en la práctica, que fue la conservación de la energía. Gracias a estas modificaciones en las dos últimas implementaciones se vio la presencia de este concepto en las respuestas de los estudiantes.

En cuanto a procedimientos del docente, no es mucho lo que se pudo sugerir, ya que él ejerció bien su rol en el aula. Al ser diseñador y ejecutor de la práctica y además estar presente en las reuniones de diseño, comprendió nuestros objetivos y el enfoque que se quería entregar a las nuevas preguntas y modificaciones conceptuales, de modo que en cada implementación, se encargó de dirigir a los estudiantes a la construcción de un modelo más sofisticado de energía a través de explicaciones, preguntas claves e incluso demostraciones con la participación de estudiantes, esta última, con el objetivo de explicar como varía la velocidad en una rueda de mayor o menor radio y cómo esta variable afecta en el aumento de la temperatura de la placa de cobre.

En cuanto a los conocimientos de contenido pedagógico, se realizó una modificación en la versión 0, referente a la investigación en la que se agregó un pequeño extracto a una de las preguntas planteadas en el momento en que los estudiantes experimentan, con el objetivo de guiarlos a encontrar las variables que inciden en el aumento de la temperatura de la placa de cobre en distintas ruedas.

Las mayores modificaciones se realizaron en torno a los modelos. En el refinamiento de la versión 0 se realizaron 6 modificaciones referentes a esta variable, mientras que en el refinamiento de la versión 1 se realizaron 3. Las 6 modificaciones, fueron planteadas con el objetivo de enfatizar los aspectos de transferencia y degradación de la energía, ya que inicialmente estos conceptos se comenzaban a abarcar un poco antes de finalizar la práctica, lo cual nos parecía que podía limitar a los estudiantes a incorporar estos conceptos medianamente o en algunos casos a no adquirirlos.

Las tres modificaciones a la versión 1 se plasmaron en el mismo principio, seguir enfatizando estas dos grandes ideas e incorporar la de conservación de la energía. Los mayores cambios consistieron en incorporar preguntas que permitieron a los estudiantes identificar como varía la calidad de la energía en cada etapa del proceso y tratar de cuantificar la cantidad de energía en los diferentes sistemas.

En cuanto a la contextualización, en ambos casos fuimos mejorando el enunciado de la pregunta inicial, para tratar de guiar a los estudiantes en la descripción del camino de la energía.

Finalmente la última modificación realizada a la versión 0, referente a otros aprendizajes, fue la aplicación, ya que la original no la veíamos vinculada a la actividad práctica. En ninguna implementación analizamos las respuestas de los estudiantes en la aplicación, ya que se reflejaba el cansancio en sus respuestas, por lo tanto, en la versión 2, la aplicación continúa siendo la misma. Sin embargo, una investigadora externa nos planteó, que en la aplicación, los estudiantes se podían confundir pensando que con el

freno regenerativo el movimiento de un automóvil puede ser perpetuo, y que la energía no se degrada. Su sugerencia nos pareció correcta y decidimos incluir una pregunta en la aplicación de la versión 3.

4.2.2 Comparativa de la evolución de los estadios del modelo

Se pudo ver una evolución de los estudiantes en cada momento, al comparar sus respuestas iniciales y finales a través de las redes sistémicas y al visualizar su trayectoria a través de los estadios, sin embargo también podemos apreciar la evolución de los estudiantes de manera global, comparando los ascensos y descensos de un estadio a otro en cada implementación.

La siguiente tabla resume las trayectorias de los estudiantes en cada momento lo que nos permite observar implícitamente la calidad de los saltos en cada caso.

MOMENTO 2			MOMENTO 3			
4º de ESO			1º de Bachillerato		4º de ESO	
Estadios	Estadios	Número de estudiantes	Estadios	Número de estudiantes	Estadios	Número de estudiantes
Sube 1	M → T	3	M → T T → WQ0	1 1	M → T WQ1 → WQ2	3 1
Sube 2	T → WQ1	7	T → WQ1	1	M → WQ0 T → WQ1 WQ1 → WQ3	4 2 1
Sube 3	M → WQ1	1	T → WQ2	5	T → WQ2	1
Sube 4	-----	0	M → WQ2 T → WQ3	1 5	M → WQ2	1
Sube 5	-----	0	M → WQ3	1	-----	0
Baja 1	M → P T → M	2 1	-----	0	T → M M → P	1 1
Baja 2	T → P	4	T → P	1	T → P	1
Se mantiene	En T En M	2 4	En T En WQ1	1 5	En WQ1 En WQ0	1 1

Tabla 9. Resumen de trayectorias de los estudiantes

Es interesante resaltar de la tabla anterior que la calidad de los ascensos es superior en el momento 3 y en especial en 1º de Bachillerato, ya que los estudiantes parten de un buen estadio como base y llegan a estadios más sofisticados del modelo de energía. De igual modo si comparamos entre los estudiantes de 4º de ESO, también se puede observar una mejor calidad de los ascensos en el momento 3.

- El esquema anterior nos plasma el número de estadios que superan los estudiantes en cada momento. En primer lugar se puede observar que los estudiantes de 4º de ESO, en el momento 2, con un 45,9% avanzan de un estadio inferior a uno superior, dónde el ascenso que más se observó fue el de dos estadios, lo que les permitió situarse en una lógica de transferencia de la energía, siendo capaces de reconocer los mecanismos de transferencia. Un 29,2% descienden a estadios inferiores.
- Con respecto al momento 3, en 1º de Bachillerato un 68,1% de los estudiantes y en 4º de ESO un 72,3% ascienden a un estadio superior, dónde el de mayor concentración fue un ascenso de cuatro estadios y dos estadios respectivamente. Con respecto a los descensos 1 estudiante de bachillerato y 3 de 4º de ESO se sitúan en un estadio inferior que el original.
- El siguiente gráfico nos permite observar en forma resumida los resultados expuestos anteriormente.



Figura 14. Evolución de los estudiantes en cada momento

- Con respecto a los estadios de energía, consideramos como estadios deseables a aquellos que incluyen a los estudiantes que mencionan aspectos de la transferencia de energía, de modo que a partir de la gráfica anterior, podemos observar que un 61% consiguen hablar en estos términos.



- Los estadios no deseables, no implican ser erróneos, si no que se alejan de los estadios que consideramos sofisticados dentro del modelo de energía. Un 39% de

los estudiantes al finalizar la práctica en los tres momentos mencionan aspectos de estos estadios.

4.2.3 Discusión de resultados globales

- 40 de los 64 estudiantes que ejecutaron esta práctica experimental lograron superar la principal frontera que es la de pasar de no mencionar aspectos energéticos a comenzar a mencionarlos.
- Por otra parte en el momento 2, 8 estudiantes cruzan subfronteras de los aspectos de transferencias de energía y en el momento 3, 14 estudiantes de Bachillerato y 10 de 4º de ESO también lo realizan. Esto nos demuestra que en el momento 3 más de la mitad de los estudiantes en cada implementación comenzó a mencionar aspectos de la transferencia de energía, logrando llegar a los estadios que consideramos deseables del modelo energético.
- Cada uno de los ascensos de un estadio que se observaron en las tres implementaciones son fundamentales para nosotros ya que nos demuestran que los cambios efectuados tuvieron un impacto en los estudiantes, pero cabe destacar que en el momento 3, la calidad de los saltos es superior que en el momento 2 y esto se manifestó en que algunos estudiantes llegaron a los estadios que consideramos más sofisticados del modelo energético.
- En el caso de los estudiantes que se mantuvieron en el mismo estadio de origen, se puede observar que los estudiantes que se mantuvieron en un mismo estadio en el momento 3 están en un estadio mejor situado que los del momento 2, de modo que las modificaciones que se realizaron en la pregunta inicial del material didáctico permitieron que los estudiantes respondieran con mayores fundamentos esta pregunta, situándose inicialmente en un mejor estadio que los estudiantes del momento 2, aunque hubiésemos esperado que todos los estudiantes avanzaran.
- El número de estudiantes que retrocede a un estadio inferior también disminuyó. El estadio que predomina en los descensos, es el de procesos, observables u objetos, un estadio que nos permite situar a aquellos estudiantes que identifican todas las etapas del proceso, sin embargo que están en el peldaño más bajo por no relacionarlos con aspectos energéticos.

5. Conclusiones

5.1 Respecto a las modificaciones del material educativo

- Todas las modificaciones realizadas al material educativo siguen la línea de enfatizar los aspectos más importantes de la energía que nos señalan Duit (1984), Millar (2005), López y Pintó (2012) y Neumann y otros (2013), que son la transferencia, la degradación y la conservación de la energía.
- A medida que se realizaron las modificaciones del material educativo, en función de los resultados obtenidos y en tres iteraciones, observamos que existe una tendencia a la “saturación”, es decir, cada vez se realizan menos modificaciones, lo que demuestra una consistencia de los resultados.
- Desde del marco de la MBI, los cambios de diseño más costosos (aquellos para los que hay que hacer más modificaciones en diferentes versiones) son precisamente aquellos relacionados con las actividades para desarrollar aspectos del modelo (modelizar). Esto es coherente con la perspectiva pero también señala el reto de este marco (MBI).
- La MBI, también nos señala que puede ser más o menos abierta, según como lo decida el docente y según las necesidades para modelizar de mejor manera un concepto. En algunos casos, vimos la necesidad de modificar algunas preguntas y hacerlas indagatorias más abiertas o cerradas, las primeras con la intención de hacer pensar a los estudiantes a nivel general, para que emergieran todo tipo de ideas y que luego las contrastaran con sus pares y las segundas con la intención de dirigirlos a las ideas claves del modelo de energía y que fueran modificando sus modelos poco a poco.
- Aunque una actividad este basada en investigación y diseñada por expertos, las mejoras que se pueden realizar a partir de una investigación (DBR) al ponerla en practica con estudiantes, son sustanciosas, y pone de manifiesto la importancia de un dimensión empírica del diseño.
- Este trabajo en equipo nos hace corroborar la importancia de la DBR, ya que esta fomenta el diálogo investigadores y diseñador y nos permitió obtener una versión del dossier, que al implementarse produce buenos resultados, gracias a la unión de distintas visiones de mundo y la intención compartida de mejorar la enseñanza de un concepto tan complejo, como lo es la energía. Además nos permitió observar que al incluir ideas abstractas, desde los inicios de la práctica fue fructífero para evidenciar progresiones en el aprendizaje de los estudiantes.

5.2 Respecto a la evolución de los estudiantes en los estadios del modelo de energía

- Las mejoras en el diseño producen evolución en los estadios del modelo de energía que usan los estudiantes para interpretar, explicar o actuar sobre el fenómeno: más estudiantes suben más niveles y sobretodo menos estudiantes bajan de nivel.
- Los refinamientos producen sofisticación del modelo final de los estudiantes: más estudiantes tienen un modelo final que consideramos potencialmente adecuado, puesto que es un primer paso para acabar de construir un modelo de energía. En concreto, al final del tercer refinamiento un 50% en global de estudiantes incluyen ideas sofisticadas como la degradación o la conservación
- Los cambios en el diseño del material educativo, tienen una importancia/efecto diferencial en los diferentes niveles de los estudiantes, lo que señala la obvia importancia del conocimiento previo y el punto de partida de los mismos y de la adaptación de la practica al nivel de los estudiantes. Así, esta práctica parece, a la vista de los resultados, más adecuada para el nivel de bachillerato que el de 4º de ESO si lo que se pretende es adquirir un nivel muy sofisticado del modelo de energía. Sigue siendo útil en 4º de ESO, pero para la introducción de dicho modelo, aunque necesitaríamos más datos para poder corroborarlo.
- Las mejoras en el aprendizaje producidas, están limitadas por el alcance de la intervención (una sola actividad en un contexto de aula meramente experimental) y por tanto no podemos hablar de aprendizaje significativo (no hemos comprobado como transfieren este aprendizaje, ni si persiste en el tiempo). Esto nos señala la importancia de futuros trabajos en los que la intervención sea de mayor alcance (una unidad didáctica completa) y se evalúe la capacidad de transferencia en el uso de un modelo sofisticado de energía.
- El diseño didáctico final, si bien no puede garantizarse que sea efectivo en cualquier contexto similar al estudiado (estudiantes de 4º de ESO o 1º de bachillerato de Cataluña) ni aun menos en contextos muy diferentes al mismo (estudiantes de 16 a 17 años de cualquier sistema educativo), ha demostrado empíricamente un potencial didáctico importante y por ello es de esperar que con pequeñas adaptaciones a los diferentes contextos produzca resultados similares.
- Neumann y otros (2013) en sus estudios corroboran que los estudiantes pasan por niveles diversos para comprender el concepto de energía. A través de algunas actividades que pretenden generar una progresión de aprendizaje ellos observan que estos niveles son: asimilar el concepto de transferencia, luego la degradación

y finalmente la conservación de la energía, tal como lo observamos en nuestros resultados. Sin embargo, ellos plantean la posibilidad de algunos estudiantes construyen la idea de transferencia y degradación en forma simultánea, lo cual también está presente en nuestros resultados, y se manifiesta en los estudiantes que llegan al modelo WQ2 o WQ3, que en sus inicios no hablan en términos energéticos y finalizan mencionando estas tres grandes ideas, sin embargo, tal como Neumann, nosotros necesitaríamos plantearnos otras preguntas de investigación, para verificar si esta construcción es simultánea en general o si este orden de construcción se manifiesta en otros contextos.

- Consideramos que dentro de la modelización de una idea tan abstracta como la energía, es necesaria la presencia de una actividad práctica, ya que tal como lo señala Millar (2004) y como fue expuesto en el marco teórico de esta investigación, una actividad práctica permite a los estudiantes hacer conexiones entre los dominios de las cosas observables con el dominio de las ideas, de modo que a través de esta práctica, los estudiantes pudieron asociar la simulación del sistema de frenado de un automóvil con los conceptos del modelo de energía.
- Mezclar una actividad práctica con otras actividades modelizadoras en el tiempo podría garantizar un asimilación de estas grandes ideas de energía, considerando los buenos resultados obtenidos con una práctica de tan corta duración.

Bibliografía

- 1.-Adúriz, A., y Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la física-consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, v.19, n.1: p.76-89 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires Buenos Aires – Argentina.
- 2.- Adúriz, A., y Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Rev. electrón. investig. educ. cienc.* [online]. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-66662009000100004&lng=es&nrm=iso. ISSN 1850-6666.
- 3.- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- 4.-Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1999). *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. (Morata: Madrid)
- 5.-Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school-em- pirical results from The Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, pp. 59-66.
- 6.-Duschl, R., Maeng, S., y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.
- 7.-Hernández, M. (2012). *Desenvolupament iteratiu d'una seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre Propietats Acústiques dels Materials*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
- 8.-Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de Modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184.
- 9.-López, V. y Pintó, R. (2012). Ensenyar energia a secundària. *Revista recursos de física*, n.9, p.1-21
- 10.-Millar, R., Tiberghien, A. y Le Maréchal, J.F. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In Psillos, D. and Niedderer, H. (eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 9-20). Dordrecht: Kluwer Academic.
- 11.-Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. Paper prepared for the meeting High school science laboratories: Role and vision. Washington, DC: NationalAcademy of Sciences.

- 12.-Millar, R. (2005). *Teaching about energy*. Department of Educational Studies, Research Paper, 11. York: The University of York.
- 13.-Neumann. K., Viering. T., Boone. W., y Fischer. H. (2013). Towards a Learning Progression of Energy. *Journal of research in science teaching*. 50(2), 162-188.
- 14.- Oh, P., y Oh, S. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*. 33(8), 1109-1130.
- 15.- Pintó, R., Couso, D., y Gutiérrez, R. (2005). Using research on teachers' transformations of innovations to inform teacher education. The case of energy degradation. *Science Education*, 89(1), 38-55.
- 16.- Pintó, R., Hernández, M., y Constantinou, C.P. (2011). On the transfer of teaching-learning materials from one educational setting to another.
- 17.- Pintó. R. (1991). *Algunos conceptos implícitos en la 1º y la 2º Leyes de la Termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
- 18.- Solbes, J., y Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las ciencias*, 16(3), 387-397.
- 19.- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression of scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of research in science teaching*, 46(6), 632-654.
- 20.- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations, 4, 71-87.
- 21.-Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92, 941-967.
- 22.-Zabel. J., y Gropengiesser. H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape?. *Journal of biological education* 45(3), 143-149.