

TIPOS DE CONOCIMIENTOS EMPLEADOS POR LOS PROFESORES DE FÍSICA AL TRABAJAR CON EXPERIMENTOS PENSADOS

JOSÉ MANUEL RUVALCABA CERVANTES

ALMA ADRIANNA GÓMEZ GALINDO

RICARDO QUINTERO ZAZUETA

CINVESTAV

TEMÁTICA GENERAL: EDUCACIÓN EN CAMPOS DISCIPLINARES

RESUMEN

El experimento pensado (EP), o experimento mental, es instrumento de trabajo en la frontera del conocimiento de la física. Al EP se le pueden atribuir características pedagógicas, transformándose en instrumento didáctico que cumple con varios roles en el ámbito educativo. Investigaciones previas insinúan un rol metodológico del EP; tal rol consiste en emplear el EP para interpretar principios y leyes físicas en la solución de problemas y en situaciones imaginarias. Se ha identificado que operar en la mente un EP implica recuperar conocimientos almacenados en la memoria. El presente trabajo se cuestiona en qué medida el EP ayuda a interpretar conocimientos de leyes y principios físicos si el proceso de experimentación mental implica recuperar conocimientos de la memoria. El objetivo es identificar los tipos de conocimientos que se recuperan de la memoria para poder discutir en qué medida el EP es instrumento de interpretación. Se presentan resultados de un estudio exploratorio con un EP realizado por tres profesores de física de secundaria. Los hallazgos sugieren que se opera un EP con conocimientos sensoriales, de modelos teóricos ideales y otros conocimientos específicos. Se concluye que el EP ayuda a interpretar principios y leyes físicas en la medida que el proceso de experimentación mental consista en correlacionar variables conceptuales que representan fenómenos físicos a elementos narrativos del EP. El trabajo podría contribuir a las discusiones en evaluación del conocimiento de contenido de los profesores de física de secundaria y en el diseño de cursos de formación continua.

Palabras clave: Modelos mentales, Experimentos mentales, Experimentos pensados, Profesores de física.

INTRODUCCIÓN

Los experimentos pensados (EP's) en física son reconocidos como instrumento de trabajo en la frontera del conocimiento y en la enseñanza y el aprendizaje de la física desde fines del siglo XIX, a partir de los trabajos sobre historia crítica de la física de Ernst Mach.

Mach (1905/1976) postuló los EP's como prelude a la experimentación física ordinaria. Siguiendo a Mach, la experimentación pensada es la construcción imaginaria de circunstancias físicas difíciles de encontrar en la realidad para poner a prueba la consistencia interna de las teorías. El experimentador mental con base en sus conocimientos manipula con el pensamiento variables que representan fenómenos físicos en situaciones imaginarias. El experimentador entonces evalúa la simulación construida desde su base de conocimientos para encontrar inconsistencias en el mismo.

Tal método de experimentación sirvió a Mach para atribuir a los EP's características pedagógicas. De acuerdo con Mach, los EP's son un instrumento mediante el cual los profesores podrían conocer las ideas previas de los estudiantes sobre determinados fenómenos físicos, y ayudar a los estudiantes a dar sentido a lo que se aprende.

Revisar la literatura generada sobre EP's en física educativa durante los últimos años, nos permite desentrañar los roles de los EP's en la educación, uno de ellos es metodológico. Tal rol implica emplear los EP's como instrumentos interpretativos de los conceptos y las leyes físicas en la solución de problemas o situaciones imaginarias que requieren explicación (Clement, 1994; Reiner & Gilbert, 2000; Velentzas & Halkia, 2010).

La literatura revisada permite visualizar la complejidad del experimento pensado, tal como lo entendía Mach, pues los EP's constituyen instrumentos mentales para ejercer un método experimental con base en el pensamiento y el conocimiento ya asimilado por los experimentadores. Es decir, implica poner en juego conocimientos tácitos almacenados en la memoria más que la reunión de nueva información (Reiner & Gilbert, 2000). Pero si ejecutar un EP se basa más en recuperar conocimientos previos y tácitos de la memoria, entonces ¿en qué medida podemos considerar los EP's instrumentos interpretativos de los conceptos y leyes físicas? Asimismo, ¿por qué aceptar un rol metodológico de los EP's cuando puede ocurrir que no sean más que instrumentos para recuperar información de la memoria?

El objetivo del presente trabajo es reflexionar sobre los tipos de conocimientos que 'alimentan' el proceso experimental en escenarios imaginados. Comprender en primer lugar los tipos de conocimientos puestos en acción tácitamente durante la experimentación mental, aportará elementos para discutir y valorar en qué medida la experimentación pensada es instrumento metodológico de interpretación de los contenidos de la física en situaciones imaginarias.

El trabajo de investigación se llevó a cabo con profesores de física en el nivel secundario. Se considera que los docentes poseen, en contraste con sus estudiantes, mayor experiencia y familiaridad

trabajando con los contenidos de física de secundaria, así como una base de conocimientos suficientemente amplia de contenidos de física.

Considerando los hallazgos en investigación educativa en torno al rol metodológico de los EP's (Clement, 1994; Velentzas & Halkia, 2010) y la familiaridad de los docentes con los contenidos, se partió del supuesto hipotético: los profesores emplean únicamente sus conocimientos de contenidos de las leyes y principios de la física para experimentar mentalmente, siendo tal experimentación el contexto interpretativo de tales contenidos.

ENFOQUE TEÓRICO

Los EP's son construcciones mentales en las que intervienen dos elementos: narrativos y científicos. Los elementos narrativos dan forma a los escenarios imaginarios, los constituyentes físicos que representan la realidad y describen los atributos que poseen los constituyentes del escenario imaginario. Los elementos científicos restringen los elementos narrativos conforme las características de la experimentación: manipulación de variables de manera coherente a los principios y leyes físicas implicadas explícita e implícitamente en la situación imaginada.

No obstante, existen fervientes discusiones en torno a su naturaleza epistemológica. Por un lado, la postura idealista argumenta que los EP's proporcionan conocimiento *a priori* de fenómenos físicos que pueden estar ocurriendo y no hemos percibido porque las circunstancias actuales, físicas y teóricas, lo impiden (Brown, 1991/2005). De otro lado, el empirismo sostiene, los EP's en realidad son entidades que pueden reducirse a argumentos, cuya única función es persuadir a *otros* durante discusiones o explicaciones científicas; de ninguna manera aportan conocimiento sobre el mundo físico (Norton, 1991).

Posturas menos radicales (Weinert, 2016; Nersessian, 1993) exponen que los EP's son un tipo de modelo teórico multifuncionales, ya sea para obtener conocimiento *a priori* del mundo físico, y para explicar, persuadir y convencer en discusiones científicas. La idea central de ésta postura afirma que el EP aporta mayor comprensión del mundo y de los límites y condiciones de las teorías científicas establecidas (Weinert, 2016).

En el ámbito educativo las discusiones respecto a la naturaleza epistemológica del experimento pensado no se abordan de manera explícita. Las investigaciones asumen por igual las distintas posturas: se describe a los EP's benéficos para los aprendices al construir nuevos conocimientos (Stinner, 1990; Velentzas & Halkia, 2010; Aisikanen, 2014), y adecuados para persuadirlos con las explicaciones científicas contra intuitivas (Stinner, 1990; Velentzas & Halkia, 2010).

El presente trabajo asume el EP como un tipo de modelo teórico. Al igual que cualquier modelo teórico, un EP es una abstracción idealizada que conceptualmente representa la realidad (Weinert, 2016). En este sentido, se concilian las posturas idealista y empírica matizando que se trata de

modelos mentales, de manera que cada experimentador manipula el escenario imaginado, sus constituyentes y atributos creando una representación idealizada de los fenómenos físicos.

El experimento pensado concebido como modelo permite crear escenarios posibles a partir de transformar las circunstancias físicas que se presentan en problemas, situaciones imaginarias y la realidad misma. Es decir, simular posibles secuencias de fenómenos físicos (Nerssesian, 1993). En seguida, el experimentador mental, por lo general de implícito, valora el escenario posible que ha creado mediante la consistencia de su modelo con la realidad, los conocimientos en su estructura cognitiva y la nueva información, decretando si debe modificar su modelo, evaluar sus conocimientos previos y reflexionar en torno a la nueva información.

La ejecución del EP, esto es, la simulación del modelo mental, ocurre al manipular las variables de los fenómenos y escenarios imaginados mediante instrumentos mentales. Dichos instrumentos son las reglas, tácitas o no, para operar con las estructuras cognitivas y procedimientos asimilados por el experimentador, así como para reestablecer las relaciones entre los constituyentes de lo imaginado.

Finalmente, los constituyentes de un modelo mental, como el EP, que representan sistemas físicos en escenarios imaginarios pueden ser de tres tipos (Gutiérrez, 1996): materiales, componentes y conductos. Ejecutar un EP comprende operar sobre el sistema imaginado. El comportamiento del sistema descansa en la manipulación de los materiales. Los materiales tienen atributos que describen el comportamiento del sistema representado. Operar los componentes refiere el manipular los constituyentes que pueden alterar los materiales y sus atributos. Los conductos son los constituyentes que transportan los materiales de un lugar a otro sin alterar los atributos.

MÉTODO

El estudio es de corte cualitativo e interpretativo. No se pretende encontrar leyes inmutables que describan el tipo de conocimiento previo recuperado para operar en la experimentación pensada. Tampoco se hace réplica alguna a las 'grandes' teorías de la experimentación pensada. Se trata de aportar mayor evidencia empírica de los tipos de conocimientos con los que se ejecutan los EP's y lo que hemos identificado como rol metodológico del EP, para revalorar y fundamentar la concepción del EP como instrumento de interpretación de los principios y leyes físicas en la solución de problemas y explicación de fenómenos físicos en situaciones imaginadas.

Se presenta el trabajo efectuado con una muestra no aleatoria por accidente constituida por tres profesores. La sesión de trabajo fue un taller con duración de una hora. Se propuso un EP para trabajar con lápiz y papel de manera individual durante treinta minutos.

Se solicitó en primer lugar operar con la situación narrada y simular posibles escenarios imaginarios, es decir, experimentar mentalmente. En un segundo momento cada profesor presentó los posibles escenarios construidos al experimentar mentalmente y se efectuaron algunas preguntas para aclarar acciones tácitas de los profesores.

El EP se adaptó de Yákov Perelman (1971:48-49) y se presentó de la siguiente manera: “Durante la primera guerra mundial la artillería alemana lanzó sobre París más de trescientos proyectiles. Tales bombas fueron lanzadas por primera vez desde una distancia mayor a 100 km. De hecho, el fuerte alemán desde el cual se lanzaron los proyectiles estaba ubicado a 115 km de la capital francesa. Inicialmente los alemanes durante una prueba buscaban alcanzar objetivos ubicados a 20 km, pero al lanzar con mayor velocidad inicial la bomba lograron rebasar la distancia esperada, consiguieron nada menos que una distancia de 40 km. Al revisar lo ocurrido pudieron determinar el cómo alcanzar la capital francesa desde su fuerte. Narre alguna o algunas posibilidades que determinen cómo debió ocurrir el lanzamiento considerando que al aumentar la velocidad inicial del lanzamiento aumenta la resistencia del aire”.

A diferencia de otros EP's, o los problemas tradicionales con lo que se trabaja en física educativa, no se pretende que el experimentador obtenga un resultado o conclusión con base en el planteamiento narrado. Al contrario, el experimentador conoce el resultado -el proyectil alemán alcanzó su objetivo ubicado a 115 km de distancia- y debe manipular los constituyentes mencionados, agregar/quitar otros, modificar los atributos de los materiales, identificar y 'jugar' con los elementos científicos implícitos, para poder simular alguna posibilidad que haya permitido obtener el resultado conocido.

El EP es una situación en la que deben limitarse las condiciones de lanzamiento de un proyectil, así, la experimentación consiste en simular las circunstancias ideales que posibilitaron el lanzamiento. El EP menciona los constituyentes necesarios para representar lo ocurrido durante ese preciso suceso de la primera guerra mundial. Por igual se explicitan algunos elementos científicos, tal como la relación entre velocidad inicial y la resistencia del aire. Quedan implícitos elementos científicos, tiro parabólico por ejemplo, y otros constituyentes del escenario.

RESULTADOS

Para dar cuenta del trabajo efectuado con los docentes se presentará por separado cada uno de los escenarios con los que cada profesor experimentó. Posteriormente se discutirá la información recabada para valorar en qué medida considerar un EP un instrumento de interpretación de los conocimientos de contenido de física.

a) Profesor 'A'

El primer profesor explicó que el lanzamiento debió ocurrir con un ángulo de 45° “evitando que la gravedad lo haga caer de manera precipitada, y no mayor para que se genere un avance horizontal evitando que la velocidad inicial impregnada al proyectil sea sólo, en su mayor disposición, a un avance vertical”. Justificó el ángulo considerando el tiro parabólico ideal. Luego, señaló la necesidad de modificar la bala de cañón esférica por una presentación más aerodinámica de punta cónica, pues “así ayuda más fácil a cortar el aire, como los autos deportivos de frente más agudo”.

El EP al no representar una situación ideal idéntica a la señalada por el docente, misma desde la que se justifica la medida del ángulo, invitó a cuestionar sobre el rol del estado de movimiento del aire y su interacción con la bala, así como del estado del cañón de lanzamiento. Indició no haber imaginado el aire en movimiento, sino estático como agua en una alberca, ejerciendo una gran resistencia al paso de la bala. Añadió no haber imaginado otras condiciones para el lanzamiento, ni el cañón o algún otro constituyente (material, componente o conducto).

b) Profesor 'B'

El segundo participante calificó el escenario como un "caso ejemplar de parábola, de movimiento parabólico", donde existe una relación entre la distancia alcanzada por el proyectil y el ángulo de lanzamiento. Expuso, a modo de hipótesis, para una "mayor distancia el ángulo (de lanzamiento) tiene que ser mayor". Para probar lo anterior trazó gráficas con base en la fórmula de la parábola.

Se instó al docente a narrar el escenario, preguntándole cómo imaginó la bala, el cañón, el estado del aire, sobre los contenidos implícitos en el EP. Afirmó haber imaginado nada referente a los constituyentes del escenario, limitándose a graficar distintas relaciones entre ángulo y distancia. Su propósito, afirmó, consistió en la búsqueda de la medida del ángulo de lanzamiento que permitió a los alemanes alcanzar su objetivo.

c) Profesor 'C'

El docente exteriorizó la importancia -además de disparar el proyectil a 45° como cualquier tiro parabólico ideal- de modificar la bala de cañón a un concepto más aerodinámico, sin precisar cuál sería el diseño. Luego expuso, "puedes mover el mismo cañón, por ejemplo, por una rampa para lanzar la bala en el punto con mayor rapidez". Su idea consistía en "imprimir" en la bala una gran cantidad de energía cinética, al punto de considerar la posibilidad de "lanzarlo (el proyectil) por una vía orbital y que caiga en su objetivo". Así, explicaba el profesor, la fricción con el aire sería menor alcanzando una mayor altura, luego la bala caería en su objetivo. Se le solicitó narrar cómo imaginó la puesta en movimiento del cañón. Declaró que el cañón debía ponerse en movimiento a través de un riel; añadió, tal como hicieron los soviéticos en sus pruebas para lanzar sus primeras sondas y cohetes al espacio durante la Guerra Fría.

d) Discusión de resultados

Podemos dar cuenta (profesores 'A' y 'C') de la ausencia de una evaluación -en la que se contrastase la realidad con el modelo mental ejecutado- que condujera a una modificación de las condiciones que estaban imaginando o de las propias estructuras cognitivas. En cambio, el profesor 'B' evaluó, en términos de prueba y error, el trazo de parábolas en un cuadrante del plano. Su experimentación consistió en operar sobre dos atributos del escenario imaginado: el ángulo de lanzamiento y la distancia. Luego, con base en la fórmula para la parábola de eje vertical, introdujo un

atributo más, la altura máxima alcanzada por el proyectil. Determinó como variable independiente la distancia, y el ángulo y altura como dependientes.

El escenario propuesto para la experimentación mental sirvió al docente para interpretar la fórmula de la parábola, buscando la medida del ángulo de lanzamiento. Sin embargo, al carecer de un referente que correlacionara su interpretación con un sistema real -y no pensar otros constituyentes con los cuales contrastar sus gráficos-, determinar la medida de un ángulo preciso para el lanzamiento del proyectil se volvió una tarea complicada, a la que no encontró 'salida'.

El profesor 'A' modificó la bala esférica de cañón por un modelo más aerodinámico para vencer la resistencia del aire teniendo como referente un auto deportivo. Añadió un componente no material, un ángulo de 45° que determinaría la velocidad y alcance del proyectil, teniendo como referente el conocimiento de un modelo teórico ideal de tiro parabólico descompuesto en sus componentes vertical y horizontal. El aire lo imaginó estático, un material pasivo no componente del EP, pues la resistencia del aire carece de efecto alguno sobre el proyectil al ser modificado su diseño. Es decir, el aire está allí y tiene el atributo de la resistencia, pero no tiene agencia de composición en el escenario imaginado pues su resistencia se vence con una bala de cañón más aerodinámica. La experimentación pensada en 'A', consiste en limitar el escenario a dos variables: el diseño de la bala y el ángulo de disparo.

En el caso 'C', se modificó el diseño del proyectil, sin referir cuál deberá ser la nueva forma de éste constituyente. Al escenario imaginado sumó un conducto: un riel por el cual se mueva el cañón. El movimiento del cañón hace de éste un componente que altera un atributo no mencionado en el planteamiento del escenario, mismo que el profesor hace explícito, la energía cinética del proyectil. En contraste con 'A', la resistencia del aire es un componente; el profesor señaló que a mayor altura la resistencia del aire disminuye, interfiriendo en menor medida con los atributos del movimiento de la bomba proyectada. El EP de 'C' es constructivo porque al escenario insertó un plano orbital no considerado inicialmente. 'C' tiene como referente un modelo teórico ideal de tiro parabólico al señalar la medida del ángulo de lanzamiento, así como el conocimiento de las actividades astronáuticas llevadas a cabo por los soviéticos.

En los tres casos, a partir de la narración inicial se complementa el escenario imaginado -modificando el diseño de la bala, contemplando la altura y añadir un plano orbital-. Representar tanto los elementos narrativos iniciales, los constituyentes añadidos y los elementos científicos implícitos y explícitos, implicó a los profesores hacer uso de conocimientos específicos, a los cuales hicieron referencia durante su participación. Los referentes de 'A' fueron conocimientos provenientes de experiencias sensoriales anteriores que le permitieron establecer analogías durante su exposición oral, tal como el auto deportivo y el diseño de la bala para contrarrestar la resistencia del aire, y la alberca con agua como analogía del aire y atributo de resistencia. Destaca en 'A' el también tener como referente un modelo teórico ideal de tiro parabólico y no leyes, principios físicos o fórmulas generales de los que pudiera deducir las condiciones ideales del lanzamiento del proyectil. La

participación de 'B' tuvo como referente el conocimiento de una fórmula para trazar una parábola de eje vertical, y la *intuición* conceptual de movimiento parabólico. Por su parte, 'C' tuvo como referente, al igual que 'A', el conocimiento de un modelo teórico ideal, sumado a conocimiento de hechos históricos específicos. En ningún caso el EP exigió a los docentes emplear leyes y principios físicos a partir de los cuales hacer deducciones.

Ocurre en los diferentes casos que el EP lleva a los profesores a asociar elementos de diferentes tipos de conocimiento -'A' y 'C' combinan partes de conocimientos de un modelo teórico ideal con conocimiento sensorial ('A') y conocimiento histórico ('C')-. A ello antecede una disociación de conocimientos. 'A' y 'C' por ejemplo, del modelo teórico ideal de tiro parabólico extraen únicamente la información del ángulo de lanzamiento. 'A', de su representación de auto deportivo, consigue información para representar el nuevo diseño de la bala de cañón. 'C', desde su conocimiento de un hecho histórico particular consigue también sólo la información necesaria para introducir en su escenario un conducto (riel) y un elemento narrativo más (plano orbital).

El EP trabajado no resultó ser tanto un instrumento interpretativo para 'A' y 'C', sino un instrumento constructivo por disociación-asociación. En cambio, para 'B' el EP resultó una oportunidad para hacer uso de su conocimiento de la fórmula de la parábola, interpretándola como un caso de movimiento parabólico; es decir, a las literales de la ecuación asignó una variable conceptual. Entonces, lo hecho por 'B' fue correlacionar una literal de una fórmula a una variable conceptual que representa un elemento de un sistema físico. Con ello, 'B' contextualizó una fórmula a la narración, e hizo a la narración adquirir forma de sistema físico. En otras palabras, la narración puede visualizarse ahora como sistema de correlación de variables, facilitando la identificación de causales y efectos.

CONCLUSIONES

Con lo hasta aquí expresado se pueden delinear dos conclusiones: (1) la experimentación pensada no necesariamente exige a los profesores hacer uso de conocimientos de leyes y principios físicos, lo que conlleva la necesidad de reformular el supuesto hipotético del que se partió; (2) los EP's son modelos mentales que ayudan a interpretar los conocimientos de principios y leyes físicas sólo en la medida en que los profesores no experimenten con base en disociar-asociar conocimientos de diversa índole, y sí en la medida en que correlacionen las narraciones a variables conceptuales que representen elementos de un sistema físico.

Entender los procesos de pensamiento mediante los cuales los profesores de física de secundaria están interpretando el conocimiento de contenido de la física y construyendo modelos mentales al experimentar mentalmente, exige reconocer que la escritura de las posibles secuencias en un EP y los procesos de pensamiento encargados de la experimentación mental no van a la par. Igual ocurre con la comunicación oral del EP y los procesos de pensamiento de la experimentación pensada. De allí que sea necesario continuar el trabajo con una mejora metodológica implementando

una entrevista semiestructurada con cada uno de los docentes al final de cada sesión; las entrevistas retrospectivas son necesarias para aclarar qué y cómo pensaron los docentes. Por ejemplo, en 'B' sería importante cuestionar con referencia a qué determinó los valores de la altura, o cómo fue que descartaba la medida de los ángulos en sus evaluaciones gráfica a prueba y error.

También habrá de hacer uso del *think aloud* a la par del trabajo con lápiz y papel, tal como otros trabajos han efectuado (Reiner & Gilbert, 2000; Velentzas & Halkia, 2010) como medio de registro del pensamiento en acción.

Implementar las dos mejoras metodológicas señaladas puede llevarnos a un análisis más profundo de la última parte del proceso de experimentación mental: la evaluación de las propias estructuras de conocimiento o de las acciones efectuadas en el escenario imaginado. En este trabajo exploratorio 'A' y 'C' no evaluaron la correspondencia de su modelo mental con la realidad o con sus conocimientos de contenido de física, tal como sí lo hizo 'B' de manera tácita mediante prueba y error trazando diversas gráficas. En éste sentido, la mejora metodológica puede propiciar hacer explícita tal evaluación en casos como 'B', o propiciar tal proceso en docentes como 'A' y 'C'.

Efectuar una investigación con mayor profundidad en el análisis permitirá prestar atención a la función de los conocimientos experienciales, sensoriales o específicos para modificar los constituyentes, al tiempo que se identifique el rol de los conocimientos científicos. Además, podríamos plantearnos nuevas preguntas: ¿hasta qué punto los conocimientos de contenido justifican las modificaciones del escenario modificado?; cuando un EP ayuda a interpretar conocimientos de contenido en la solución de problemas o en escenarios imaginados, ¿los conocimientos experienciales, sensoriales y otros qué rol asumen?

Finalmente, el trabajo invita a pensar: (1) los EP's como instrumentos de evaluación del conocimiento de contenido de los profesores de física; (2) ver los EP's como instrumentos que aportan elementos del cómo los profesores piensan e interpretan los contenidos de física para diseñar cursos de formación continua *ad hoc* a sus procesos de pensamiento.

REFERENCIAS

- Asikainen, M. A. & Hirvonen, P. E., (2014). "Probing Pre- and In-service Physics Teachers' Knowledge Using the Double-Slit Thought Experiment". *Science & Education*, 23(9), 1811-1833. doi:10.1007/s11191-014-9710-1.
- Brown, J. R. (1991/2005). *The laboratory of the mind. Thought experiments in the natural sciences*. New York: Routledge.
- Clement, J. (1994). "Imagistic simulation and physical intuition in expert problem solving". En L. E. N.J. (Ed.), *Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*
- Mach, E. (1905/1976). "On thought experiments". In *Knowledge and error* (pp. 134-147). Boston: D. Reidel Publishing Company.
- Guitérrez, R. (1996). "Modelos mentales y concepciones espontáneas". *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales* (7), 73-86.
- Nersessian, N. J. (1993). "In the Theoretician's Laboratory: Thought Experimenting as Mental Modeling". *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 291-301. En <http://www.jstor.org/stable/192843>
- Norton, J. (1991). *Thought experiments in Einstein's work*. En T. & Horowitz, *Thought experiments in science and philosophy* (pp. 129-148). Maryland, United States of America: Rowman & Littlefield Publishers, INC.
- Perelman, Y. (1971), *Física recreativa*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.
- Reiner, M. & Gilbert, J. (2000). "Epistemological resources for thought experimentation in science learning". *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506. doi:10.1080/095006900289741
- Stinner, A. (1990). "Philosophy, thought experiments and large context problems in the secondary school physics course". *International Journal of Science Education*, 12(3), 244-257. doi:10.1080/0950069900120303
- Velentzas, A. & Halkia, K. (2010). "The use of thought and hands-on experiments in teaching physics". En D. S. M. Kalogiannakis (Ed.), *Proceedings of the 7th International Conference on Hands-on Science*, (pp.284-289). Rethymno-Crete. En: <http://www.clab.edc.uoc.gr/HSci2010>
- Weinert, F. (2016). *The demons of science. What they can and cannot tell us about our world*. Switzerland: Springer.

