

Transformar la ficción: una actividad mental para modelar y aprender sobre cambio climático.

Transforming fiction: a mental activity to modelling and learning about climate change.

DOI: 10.32870/sincronia.axxviii.n86.36.24b

José Manuel Ruvalcaba CervantesCentro de Investigación y Estudios Avanzados. Unidad Monterrey.
(MÉXICO)CE: jruvalcabac@cinvestav.mxiD <https://orcid.org/0000-0002-5046-1572>

Recepción: 14/04/2024 Revisión: 20/05/2024 Aprobación: 07/06/2024

Resumen.

La ficción climática es un subgénero de la ciencia ficción caracterizado por exponer escenarios imaginarios que narran futuros climáticos contingentes. La ficción climática, junto con otras formas de ficción, se emplean para enseñar y aprender sobre cambio climático. Dichas propuestas se basan en transformar la ficción en modelos formales. Por lo regular, la transformación es intuitiva, por prueba y error. Aquí presento un análisis teórico para argumentar que la transformación de ficción climática en un modelo científico escolar es una actividad mental controlada con estructura y características funcionales. Proporciono elementos teóricos para iniciar a sistematizar la transformación de ficción climática en un modelo científico escolar como actividad mental y trascender la visión intuitiva. La propuesta se base en considerar la transformación de la ficción climática como una actividad mental que convierte un modelo narrativo en un modelo formal de cambio climático por medio de la experimentación pensada. Finalmente, subrayo algunas dificultades inherentes a la transformación de la ficción climática.

Palabras clave: Ficción climática. Cambio climático. Actividad mental. Modelización.

Abstract:

Climate fiction is a subgenre of science fiction characterised by exposing imaginary scenarios that narrate contingent climate futures. Climate fiction and other forms of fiction are used to teach and learn about climate change. These proposals are based on transforming climate fiction into formal models. Usually, the transformation is intuitive, by trial and error. Here, I present a theoretical analysis to argue that transforming climate fiction into a school scientific model is a controlled mental activity with structure and functional characteristics. I provide theoretical elements to systematize the transformation of climate fiction into a scientific school model as a mental activity and transcend the intuitive explanation. The proposal is based on considering the transformation of climate fiction as a

Cómo citar este artículo (APA):

En párrafo:
(Ruvalcaba, 2024, p._).

En lista de referencias:
Ruvalcaba, J.M. (2024). Transformar la ficción: una actividad mental para modelar y aprender sobre cambio climático. *Revista Sincronía*. XXVIII(86). 671-696
DOI: 10.32870/sincronia.axxviii.n86.36.24b

mental activity that modifies a narrative model into a formal climate change model through thought experimentation. Finally, I highlight some difficulties inherent in the transformation of climate fiction.

Keywords: Climate fiction. Climate change. Mental activity. Modelling.

Introducción

Varias propuestas para la enseñanza y aprendizaje sobre cambio climático emplean modelos narrativos como la literatura y cine de ciencia ficción, especialmente ficción climática. Operar cognitivamente con modelos narrativos para enseñar y aprender sobre cambio climático implica una actividad mental de transformar la ficción climática en un modelo científico escolar. Dicha actividad es concebida en el plano intuitivo, en el nivel de la prueba y error (Yusoff y Gabrys, 2011). Es esencial discutir y comprender cómo transformar sistemáticamente la ficción climática en un modelo formal para potenciar el aprovechamiento didáctico de la ficción climática en la enseñanza y aprendizaje del cambio climático. En este trabajo respondo la pregunta: ¿cuáles son las características estructurales y funcionales de la actividad mental de transformar la ficción climática en un modelo científico escolar?

Transformar la ficción climática en un modelo científico escolar es una actividad mental que exhibe características estructurales específicas y funcionales. Algunas propiedades del pensamiento narrativo y los experimentos pensados logran explicar las características de esta actividad mental. Aquí presento una propuesta que es desarrollada como parte de un proyecto que estudia las relaciones entre ciencia ficción y el desarrollo de la imaginación y el pensamiento científico con docentes de ciencias. En la segunda sección describo las propiedades del pensamiento narrativo y los experimentos pensados que explican las características estructurales y funcionales de la transformación de la ficción climática en un modelo científico escolar. En la tercera parte expongo la propuesta teórica, las características estructurales y funcionales de transformar la ficción climática en un modelo científico escolar para trascender la explicación intuitiva. En la cuarta, señalo

algunas dificultades inherentes a transformar la ficción climática (cli-fi), las cuales son una oportunidad para continuar investigando esta actividad mental.

Enseñanza y aprendizaje sobre cambio climático

El cambio climático es un contenido complejo; encapsula relaciones causales, estructurales y funcionales entre modelos de diversa naturaleza para lograr explicarse. Suele confundirse con contenidos relacionados y adyacentes como el efecto invernadero, calentamiento global, o el agujero en la capa de ozono. Las concepciones manifestadas por estudiantes y docentes son usualmente incompletas y confusas, mezclando causas y consecuencias (Lambert et al., 2012; Lambert & Bleicher, 2013).

Una de las principales dificultades en la enseñanza y aprendizaje sobre cambio climático es la dispersión curricular (Eilam, 2022). El cambio climático aparece en varios temas científicos y sociales; sin embargo, el tiempo y espacio curricular para relacionar tales temas es insuficiente. La dispersión se acompaña por subsumir el cambio climático a otros contenidos, tal que cambio climático es parte de o está integrado en contenidos más amplios. La enseñanza y aprendizaje del cambio climático involucra utilizar conocimientos desde diversas disciplinas; esto implica la necesidad de asegurar el aprendizaje previo de contenidos científicos y sociales. Por otro lado, el cambio climático es el marco de la enseñanza y aprendizaje de otros contenidos científicos. En otras palabras, el cambio climático es una manera de informar sobre temas científicos varios, una nota curiosa designada para asegurar captar el interés en contenidos científicos.

El cambio climático tiene una alta presencia en los medios de comunicación y redes sociales, por lo que muchas de las ideas escolares y concepciones sobre cambio climático son iguales a las representaciones sociales de cambio climático. Gran número de las representaciones sociales apelan a ideologías, miedos y, en general, a lo que como individuos en una sociedad no deberíamos hacer, pero no a lo que podríamos hacer colectivamente para mitigar el cambio climático. En consecuencia, estudiantes y docentes perciben el cambio climático como un problema sin una solución definitiva, un asunto de

riesgo y peligro para la humanidad y todas las especies que habitan la Tierra, sin trascender el grado de anécdota o curiosidad escolar. Por ello, existen algunas propuestas (Eilam, 2022) que urgen a estudiar el cambio climático de manera sistemática, estructurada y organizada, dejándole su propio espacio como contenido, incluso incorporándolo a nivel curricular como una asignatura escolar más.

La ausencia del estudio del cambio climático como contenido conduce a reducidas conceptualizaciones, resultando en generalizaciones desorganizadas e incoherentes (Varela et al., 2020). El aprendizaje superficial de las características del cambio climático da paso a la emergencia de concepciones que lo describen como un problema sin repercusiones en el día a día y la vida individual, un problema exclusivo para gobiernos y grandes corporaciones económicas, un problema en áreas costeras y reducido a un tema atmosférico y de conservación ambiental (Zona-López et al., 2023). Generalmente, los principios y manifestaciones generales del cambio climático guían el estudio de sus dimensiones científicas y sociales. Sin embargo, el estudio de la manifestación local de fenómenos climáticos crea aprendizajes significativos (Eilam, 2022). El analfabetismo científico a la hora de explicar los fenómenos locales favorece posiciones acriticas hacia los fenómenos climáticos, propias de negacionistas, escépticos o aquellos alejados de las representaciones del conocimiento científico.

Para ampliar las concepciones sobre el cambio climático y distinguir entre causas y consecuencias, es necesario utilizar diversos recursos e instrumentos didácticos pertinentes para pensar en sistemas complejos que integren dinámicamente modelos de diversa naturaleza. Aprender sobre el cambio climático requiere traspasar los límites tradicionales del currículo impuestos por disciplinas aisladas, la segregación y la dispersión curricular (Eilam, 2022; Walsh & McGowan, 2017). Una forma de cruzar estas líneas son los modelos narrativos (Bruner, 1991), que adquieren valor cognitivo (Schneider-Mayerson, 2018; Yussof & Gabrys, 2011) cuando experimentamos con ellos en el pensamiento. En concreto, centro mi atención en la ficción climática (cli-fi, por sus siglas en inglés) como modelo narrativo. El cli-fi es un subgénero de la literatura de ciencia ficción. La característica nuclear

de este subgénero de ciencia ficción es que las narrativas cli-fi nos invitan a imaginar escenarios en los que causas antropogénicas modifican el clima y el medio ambiente de la Tierra.

La literatura cli-fi es una propuesta para experimentar en el pensamiento con el potencial de enseñarnos diferentes maneras de pensar sobre el mundo y la naturaleza (Canavan, 2014) porque permiten la convergencia de la narrativa (esencia de la ficción) y el pensamiento formal (lógico y sistemático). La narrativa proporciona elementos para modelar una realidad posible más allá de nuestras percepciones y conocimiento ordinario. La narrativa hace de la imaginación una herramienta para extender nuestra mente hacia lo inimaginado, lo poco conocido y desconocido (Canavan, 2014), alimentando nuestras intuiciones sobre el futuro. El pensamiento sistemático y formal investiga, ordena y analiza las intuiciones y posibilidades reales de nuestros escenarios imaginados. El pensamiento formal restringe la imaginación; no obstante, no se trata de una camisa de fuerza sino de una forma de explorar y organizar, a partir de la ficción, aspectos que no hemos percibido en nuestra realidad.

Sin embargo, las propuestas para operar con los modelos narrativos del cli-fi lo hacen de forma intuitiva, por ensayo y error (Yusoff & Gabrys, 2011; Schneider-Mayerson, 2018). Mi propuesta sistematiza el uso de modelos narrativos para enseñar y aprender sobre el cambio climático. La actividad mental de transformar el cli-fi en modelos científicos escolares es la base de la propuesta, y se pretende trascender la visión intuitiva por ensayo y error para potenciar la didáctica de la ficción climática. Se sintetiza concibiendo la transformación de la ficción climática como transformar un modelo narrativo en un modelo científico escolar por medio de la experimentación en el pensamiento. Desde la modelización narrativa y formal y la experimentación en el pensamiento se defiende que la actividad de transformar es ordenada, estructurada y funcional, no intuitiva.

Características de los experimentos pensados y el pensamiento narrativo

El propósito de esta sección es desarrollar los elementos teóricos de los que emerge la propuesta. Describo solo aquellas características de los experimentos pensados y el pensamiento narrativo que ayudan a comprender y explicar las características estructurales y funcionales de transformar la ficción climática en modelos escolares por medio de experimentar en el pensamiento.

Experimentos pensados

Un experimento pensado consiste en un escenario imaginario, por lo regular en formato narrativo, donde se representa un sistema (filosófico, físico, biológico) objeto de experimentación. Contiene una serie de proposiciones teóricas y empíricas que configuran el comportamiento del sistema en el escenario imaginario. Algunas proposiciones son subordinadas y dependen de otras; encontramos variables experimentales dependientes e independientes. Al manipular las variables y buscar nuevas relaciones, condiciones y rangos de validez obtenemos resultados cuasisensoriales (Brown, 2011; Clement, 2003; 2009; Gendler, 2013). Los resultados o conclusiones cuasisensoriales son intuiciones y conjeturas (Mach, 1976; Mišćević, 1992) que indican posibles estados futuros de cómo se comportará el sistema imaginario.

Los experimentos mentales tienen una larga tradición en la historia de la ciencia y la didáctica. Son un instrumento para trabajar algunas de las nociones alternativas e incompletas que se manifiestan en la escuela porque fomentan la manifestación de ideas previas, el diseño de experimentos de laboratorio y proyectos de investigación escolares, propician la conjetura de hipótesis y la evaluación de aprendizajes.

En didáctica, es común encontrar ejemplos destinados principalmente a utilizar experimentos mentales como instrumentos cognitivos para mediar la comprensión de ideas contraintuitivas y, en ocasiones, desarrollar habilidades científicas. El uso pedagógico de los experimentos mentales se da en diferentes momentos de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, dependiendo de su rol pedagógico: teórico o metodológico (Ruvalcaba

Cervantes, 2020). El rol teórico corresponde al uso de experimentos para comprender, explicar y comunicar ideas, modelos y principios científicos abstractos o contraintuitivos. El rol metodológico utiliza experimentos mentales vinculados al diseño experimental, proyectos de investigación, indagación escolar y resolución de problemas.

Si bien no existe un consenso explícito sobre un método de experimentación pensada, es factible señalar un proceso general indistinto del rol pedagógico asignado al experimento pensado. Ernst Mach (1976) describió tal proceso y es posible reformularlo de la siguiente manera:

- a) Identificar un modelo narrativo que represente un fragmento del mundo natural como objeto de experimentación.
- b) Recuperar ideas previas para imaginar y representar en el pensamiento la situación que es objeto de experimentación.
- c) Establecer relaciones y secuencias entre los elementos de la representación para explorar consecuencias y rangos de validez de las relaciones, es decir, simular la representación.
- d) Operar con el pensamiento sobre y con el objeto de experimentación del fenómeno natural -variar y transformar las representaciones iniciales-.
- e) Decretar una conclusión o solución.

El método implica recuperar información de la memoria, imaginar situaciones, construir y simular un modelo mental, transformar el modelo, explorar las consecuencias de transformar el modelo y comunicar una solución o conclusión.

El proceso de experimentación del pensamiento requiere que abstraigamos del modelo narrativo una serie de proposiciones, teóricas y empíricas, para pensar, identificar y analizar el orden de las proposiciones que describen el comportamiento del sistema objeto de experimentación y la posterior manipulación de variables. Controlar las variables implica simular mentalmente las relaciones e ideas según el orden establecido. Las simulaciones mentales nos ayudan a prever, a través de percepciones cuasisensoriales, el

comportamiento futuro del sistema representado. El resultado o conclusión de predecir y explicar el comportamiento del sistema imaginario objeto de experimentación debe ser evaluado y justificado a partir de los contenidos científicos que explican lo real. El resultado es un modelo que explica el fenómeno objeto de experimentación en la situación narrada. Este método implica que los experimentos mentales tienen una estructura:

1. Información icónica: Son representaciones cuyo contenido es narrativo. Apelan a abstracciones sensoriales y perceptuales, por lo que la información icónica no reduce las narrativas a estímulos visuales en la mente y, por esta razón, son cuasisensoriales. La información icónica proporciona una similitud de la situación objeto de experimentación con la realidad natural que representa. Se trata de representaciones análogas a los estados sensoriales de los que se abstraen (Gendler, 2013).
2. Información proposicional: Son representaciones que contienen enunciados sobre relaciones, secuencias y comportamientos que el experimentador establece entre elementos icónicos y elementos icónicos con teóricos. El experimentador califica el contenido de estas representaciones con juicios de verdad basados en la realidad que representan. La función de la información proposicional es delimitar la situación imaginaria.
3. Entidades teóricas: Son representaciones cuyo contenido tiene referencia en modelos teóricos, leyes y principios científicos. Los juicios de verdad los califican y su función es proporcionar valor teórico a elementos icónicos y establecer rangos de validez para la información proposicional.
4. Transformación: Son representaciones que indican agencia y operaciones con y sobre el modelo o situación que es objeto de experimentación. Las acciones cognitivas integran estas representaciones y modifican las relaciones, secuencias y comportamientos que se establecen entre los elementos teóricos icónicos y las proposiciones que los describen. Su función es explorar los rangos de validez inicialmente establecidos para la situación experimental, pensar y probar otros

rangos y condiciones de validez, y evaluar los resultados de la exploración de las relaciones y secuencias pensadas para enunciar conclusiones y soluciones.

Transformar la narrativa en un modelo formal de ideas es complejo; requiere poner en acción habilidades de pensamiento científico (categorizar, abstraer, argumentar, deducir, generalizar) y hacerlas explícitas junto con la serie de contenidos científicos con los que se experimenta en el pensamiento. Al experimentar en el pensamiento situaciones de ficción climática, las entidades teóricas y los arreglos proposicionales establecidos son la base para transformar la información icónica. La complejidad radica en *transformar* porque implica un conjunto de acciones mentales dirigidas y controladas que nos alejan y acercan a nuestro referente narrativo inicial. Transformar el pensamiento narrativo en pensamiento formal es una actividad mental en la que el objeto de representación (cambio climático) permanece como referente, pero el contenido y el formato de la representación cambian, de modo que emergen nuevas posibilidades de ejecutar y controlar acciones y operaciones sobre el referente.

La transformación abre la posibilidad de construir nuevas representaciones del cambio climático y no sólo asociar información. Es una actividad mental que busca construir nuevos esquemas para pensar el cambio climático de manera multimodal: establecer relaciones y conexiones entre modelos y explicaciones abarcando dimensiones científicas y sociales (Zona-López et al., 2023). Por tanto, transformar modelos narrativos en modelos formales ayuda a explicar el cambio climático y construir nuevas representaciones y formas de pensar sobre el cambio climático.

Identifico algunas complicaciones de transformar modelos narrativos en formales. Estas complicaciones se alinean con algunas dificultades manifestadas por docentes al experimentar en el pensamiento reportadas en la literatura:

- a) Integrar el conocimiento de contenido (Özdemir, 2009; Asikainen & Hirvonen, 2014). El éxito alcanzado por los docentes en la transformación del cli-fi en modelos formales está asociado a la capacidad de integrar principios, conceptos

- y leyes científicas intra e interteóricos y a la integración del conocimiento científico con el conocimiento experiencial y didáctico.
- b) Agencia para operar con situaciones imaginarias (Ruvalcaba et al., 2021). Los docentes manifiestan propuestas de modificación y transformación de situaciones imaginarias según su familiaridad con la transformación de la ficción en modelo para experimentar. En otras palabras, los profesores muestran agencia reducida para transformar situaciones narrativas cuando no son conscientes de la actividad.
- c) Familiaridad pedagógica y didáctica con los contenidos teóricos y proposicionales utilizados al operar mentalmente (Ruvalcaba & Quintero, 2022). A medida que la experiencia didáctica y pedagógica es más significativa a la hora de enseñar contenidos, el docente manifiesta mayor agencia para transformar situaciones narrativas.

Al experimentar mentalmente situaciones imaginarias y transformarlas, las acciones se asocian a los usos (Clement, 2003) y propósitos (Ruvalcaba et al., 2021; Ruvalcaba & Quintero, 2022) de los modelos narrativos y formales. Significa que la transformación del cli-fi en un modelo científico escolar ocurre para describir un modelo teórico, problematizar las relaciones causales de un modelo teórico, explorar las condiciones de validez de un modelo (Ruvalcaba et al., 2021), o representar un fenómeno (Ruvalcaba & Quintero, 2022). En este sentido, transformar un modelo narrativo de cli-fi en un modelo escolar es operar mentalmente como en el caso de la experimentación pensada: para encontrar una solución a un problema, explicar la solución (Clement, 1994; 2003) o poner a prueba la solución (Reiner & Gilbert, 2000; Özdemir, 2009; Asikainen & Hirvonen, 2014).

Basado en el trabajo de John Clement (1994; 2003; 2009), señalo otra característica de la experimentación pensada que ayuda a comprender la transformación del cli-fi: traducir las percepciones a un lenguaje explícito. Operar con situaciones imaginarias implica activar esquemas motores y perceptivos para simular mentalmente. La simulación ejecuta

acciones mentales que producen sistemas análogos de objetos naturales. En la base de estas simulaciones se encuentran intuiciones que no deben confundirse con recuerdos incidentales. Según Clement, las intuiciones son interpretativas y no inferenciales, de modo que resultan concepciones de anclaje y asimilación de una situación física. Por tanto, experimentar en el pensamiento y traducir cli-fi en modelos escolares implica una actividad de transferir esquemas motores y perceptivos incrustados en sistemas de representación perceptual situados a una nueva situación imaginaria. En otras palabras, traducir imágenes y percepciones a lenguaje.

Pensamiento narrativo

Los experimentos pensados tienen elementos narrativos como punto de partida para representar y explicar el mundo, al igual el transformar el cli-fi en un modelo escolar. Los detalles narrativos hacen que el experimento pensado sea más complejo, completo y elaborado que la representación amodal; la narración lo hace vívido e imaginable (Gendler, 2013; Swirski, 2007). Sin embargo, es esencial ir más allá del pensamiento narrativo. Como señalé, los detalles narrativos son el punto de partida.

Jerome Bruner (1996) distingue el pensamiento narrativo del pensamiento pragmático. El primero es una manifestación natural para comprender el mundo cotidiano, mientras que el pragmático tiene una estructura lógico-científica que representa el pensamiento formal y abstracto. No significa que el pensamiento narrativo carezca de lógica y estructura; por el contrario, tiene orden, secuencia y elementos estructurados que lo convierten en una poderosa herramienta para interpretar la realidad. El pensamiento narrativo es pensar de forma natural; nos resulta familiar ya que no requiere entrenamiento como ocurre con el pensamiento formal. El pensamiento narrativo se verifica por criterios de semejanza, por su mayor o menor parecido con la realidad. El pensamiento pragmático, poderoso para hacer abstracción de la realidad, requiere entrenamiento porque apunta a construir explicaciones lógicas y verificables mediante criterios de verdad empírica (Bruner, 1996).

Los investigadores didácticos han investigado el uso del pensamiento narrativo en la educación científica (Vrasidas et al., 2015; Avraamidou & Osborne, 2009; Hadzigeorgiou, 2016). Reportan el éxito en la comunicación de ideas científicas presentadas en formato de discurso narrativo. Es decir, la narrativa se considera un medio para construir analogías, figuras retóricas y herramientas mnemotécnicas que promuevan comprender y recordar explicaciones del mundo natural. Los modelos narrativos favorecen el interés por estudiar y comprender los modelos científicos (Avraamidou & Osborne, 2009). Sin embargo, estoy interesado en transformar el pensamiento narrativo en un modelo formal y utilizar la narrativa como herramienta de pensamiento, no solo de comunicación y comprensión.

Transformar el cli-fi en un modelo científico escolar implica plantear y resolver problemas del cambio climático a partir de situaciones imaginarias. Detrás de esta idea está el supuesto de que no toda narrativa fomenta el pensamiento (Swirski, 2007). Al asumir el estudio de la transformación del cli-fi, la narrativa debe exhortar a imaginar y manipular. Tal actividad exige agencia para aislar y ajustar elementos del modelo narrativo y, en consecuencia, operar con variables pertinentes, de modo que la situación se sienta y se experimente vívida y real.

La narrativa nos permite abordar los problemas con una visión diferente ya que los elementos propios de la narrativa nos permiten utilizar el modelo narrativo como analogía o metáfora a la hora de resolver un problema. La literatura explica (Gendler, 2013; Swirski, 2007; Mišćević, 1992) cómo los elementos narrativos estimulan las intuiciones para construir soluciones cognitivamente más costosas y complicadas mediante métodos amodales. La narración estimula experiencias previas cercanas al problema porque la estructura discursiva es familiar.

Por elementos narrativos me refiero a estructura, componentes y características que constituyen el pensamiento narrativo. La estructura comprende el tiempo, la secuencia, el escenario, la historia, los personajes, la trama, el conflicto, el desenlace, los hechos, los acontecimientos y el narrador. Los componentes son contenido narrativo, composición hermenéutica (Bruner, 1991), propósito de la historia, propósitos de agencia

del personaje y acciones mentales desencadenadas en el lector. Las características del pensamiento narrativo vienen dadas por apelar a la familiaridad, el sentido de lo vivido, el *appetite* (Avraamidou & Osborne, 2009), las emociones desencadenadas en el lector, el incumplimiento y la referencialidad (Bruner, 1991) y las consecuencias del relato.

Las escenas imaginarias que narra el cli-fi pueden aludir a aspectos técnicos, físicos, climáticos, ambientales, sociales, políticos y económicos del cambio climático. Según el tipo de aspectos de las narrativas, poco a poco se va transformando el modelo narrativo en un modelo que es objeto de experimentación pensada. La transformación lleva a convertir el proceso de evaluación de la verificabilidad en un proceso formal y abstracto. En su momento, es necesario establecer pruebas formales que sean objeto de experimentación pensada. Los resultados arrojados por el experimento mental se valorarán como posibles reales, posibles irreales, posibles probables o posibles improbables.

Posible real significa que los resultados son posibles y compatibles con un escenario real, no sólo imaginario. Lo posible irreal implica que los resultados o conclusiones son válidos exclusivamente bajo el escenario imaginario expuesto en la narrativa. Posiblemente probable es cuando la conclusión presenta características contingentes en la realidad natural. Posiblemente improbable es cuando el resultado nos muestra la contingencia de los acontecimientos naturales de la narración como altamente improbables en el escenario imaginario e improbables en un escenario natural.

Evaluar los resultados de transformar el modelo narrativo en un modelo científicos escolar por medio de experimentar con las relaciones sugeridas en las escenas imaginadas no significa calificar las soluciones como correctas o incorrectas en función de su posibilidad y probabilidad de ser reales. La evaluación de los resultados indica la agencia y tipo de acciones realizadas al transformar la ficción, la distancia con el conocimiento previo y el propósito del experimento pensado. Las evaluaciones alientan a explorar las múltiples relaciones y su carácter ontológico entre los elementos narrativos y las variables elegidas. Las valoraciones de los resultados indican los grados de transformación del cli-fi en un

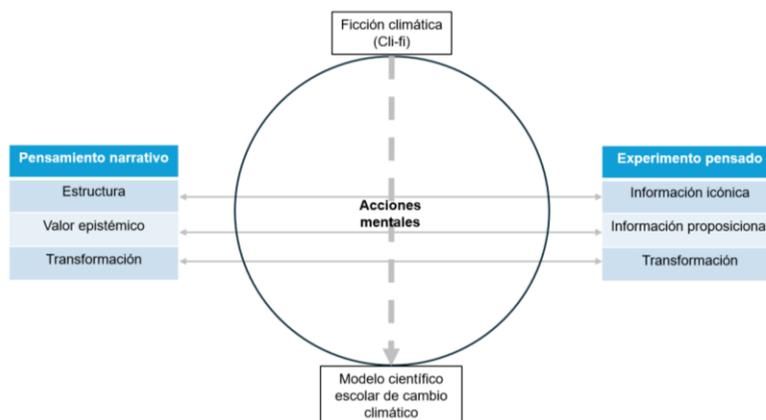
modelo formal. Transformar la narrativa en un modelo científico escolar transforma el contenido y la estructura del pensamiento y el proceso de validación.

Del cli-fi al modelo científico escolar

Transformar el cli-fi en un modelo científico escolar de cambio climático implica integrar y articular elementos de modelos narrativos y científicos para dar paso a nuevas explicaciones o modelos. La articulación integrada construye un discurso que no necesariamente es homogéneo ya que el lenguaje narrativo y el científico difieren. Transformar el cli-fi en un modelo formal implica construir un modelo con contenidos distintos al pensamiento narrativo. Por contenido diferente quiero decir que el referente con el que operas es el mismo. Sin embargo, el contenido y su formato de representación son diferentes, de modo que se fomentan otras formas de ejecutar y controlar la acción sobre el objeto de referencia. Del proceso surgen explicaciones que exploran múltiples relaciones entre los elementos narrativos y las variables de pensamiento y la naturaleza ontológica de las relaciones exploradas.

Transformar el cli-fi en un modelo formal se encuentra en el intersticio entre operar con modelos narrativos y experimentar con el pensamiento (**Figura 1**).

Figura 1. Transformar el cli-fi en un modelo científico escolar es un conjunto de acciones mentales entre el modelo narrativo y el experimento mental.



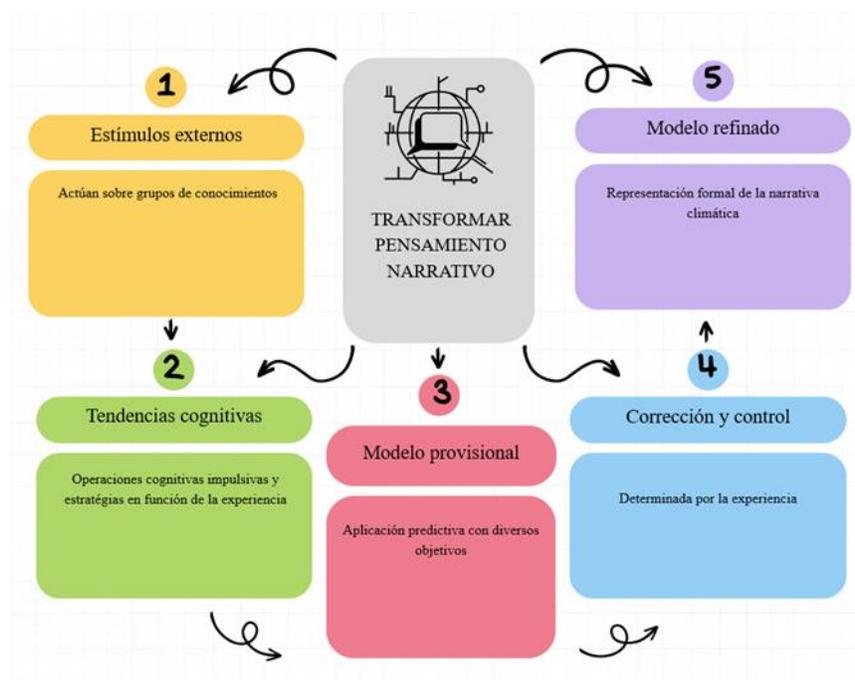
Fuente: Elaboración propia.

Por un lado, lo que distingue al modelo narrativo es el dinamismo y transformación de elementos de la capacidad cultural para crear historias y explicar el mundo natural (Bruner, 1991). Por otro lado, el experimento pensado exhibe su valor epistémico al transformar la estructura icónica y proposicional del sistema que es objeto de experimentación. Para ambos, la intuición es la base de la actividad transformadora; este último emerge y evoluciona en "entornos concretos de la vida real" (Swirski, 2007, 104). Propongo transformar sistemáticamente el cli-fi en un modelo científico escolar mediante el análisis de la intuición. Como se ve en la Figura 1, considero la actividad transformadora como un conjunto de acciones mentales que nos llevan de la ficción al modelo científico escolar. Se trata de pasar del contenido (cuasi) sensorial y (cuasi) perceptual proporcionado por los estímulos narrativos hacia el pensamiento científico y formal.

La idea es que las trayectorias mentales de los objetos representados en la mente sigan las trayectorias de los objetos físicos (Dehaene, 2019; Clement, 1994; 2003; 2009). Transformar el cli-fi en un modelo formal es convertir la base perceptiva de la narrativa en lenguaje formal. Nuestra mente evolucionó de tal manera que nos permite comprender e interpretar nuestro entorno para movernos por él. Experimentar con elementos narrativos nos anima a reconstruir mentalmente nuestras interpretaciones del mundo exterior, a reflexionar y sacar conclusiones sobre cómo ese mundo puede comportarse en el futuro.

Las narrativas se convierten en modelos formales cuando adquieren estructura y contenido abstracto y cuando los criterios de verdad empíricos y lógicos se intercambian por criterios de similitud para juzgar la validez del modelo. En la **Figura 2**, represento esta actividad.

Figura 2. Transformación de la cli-fi como actividad mental.



Fuente: Elaboración propia.

La transformación del cli-fi en un modelo formal comienza con la percepción de estímulos narrativos, que desencadenan representaciones narrativas y cuasisensoriales recuperadas de la memoria. Los estímulos actúan sobre grupos de conocimientos que -pueden ser categorizados, pero no necesariamente vinculados- y promueven una serie de acciones cognitivas que operan con el contenido de los estímulos narrativos y el conjunto de conocimientos y representaciones activadas. Ejemplos de acciones son imaginar, reflexionar, evocar, analizar variables y evaluar. Las acciones cognitivas suelen mostrar tendencias. Algunas acciones son más significativas y frecuentes durante la transformación del cli-fi. Se ha reportado que, al menos los docentes, tienden más hacia actos imaginativos (Ruvalcaba et al., 2022).

Las acciones son intersticios entre los pensamientos narrativos y formales. Algunas acciones implican recuperar elementos de los modelos narrativos y teóricos relacionados con el referente climático. Los elementos se abstraen de los modelos recuperados y se

operan para construir un modelo provisional con una función de aplicación; el propósito es predecir el posible comportamiento futuro del referente climático objeto de transformación. Luego se simula mentalmente el modelo provisional para evaluar las variables, analizar sus relaciones y validar el análisis y las consecuencias para evaluar la relevancia del modelo con respecto a la referencia climática. El siguiente paso es reconocer errores en la estructura y el contenido del modelo y evaluar la similitud entre la narrativa cli-fi y el referente climático. La identificación de errores y la evaluación tienen como finalidad declarar cambios y acciones necesarias para corregir y refinar el modelo provisional. Así, se obtiene la versión formal y final desde un modelo provisional ahora refinado para representar el modelo narrativo inicial expuesto en la ficción.

Lo primero que se aprecia en la Figura 2 es la convergencia de actos cognitivos individuales con elementos culturales al transformar la narrativa en un modelo formal, propio de actividades asociadas a la imaginación científica (Ruvalcaba et al., 2022). La transformación del cli-fi comienza con estímulos externos provenientes de las narrativas: representaciones y modelos culturales. Los estímulos fomentan operaciones cognitivas para construir modelos provisionales cuyo contenido y formato comienzan a transitar de lo narrativo a lo formal. Al construir modelos provisionales entran en juego otros actos cognitivos individuales de control del modelo y gestión de la corrección, dependiendo tanto de la experiencia con el modelado y su contenido formal y narrativo, como de los mediadores culturales que sustentan el proceso de modelado y transformación del cli-fi en un modelo científico escolar. Finalmente, las acciones tienen como objetivo desarrollar un modelo formal para representar el objeto de atención cognitiva en cli-fi. Los estándares científicos escolares, es decir, el conocimiento cultural, validan la última versión del modelo formal.

Lo segundo por apreciar en la Figura 2 son las características estructurales y funcionales de la actividad cognitiva para transformar el cli-fi en pensamiento formal. Como parte de su estructura, observo objetos de acción, los objetivos de acción, el propósito de

las acciones y las acciones cognitivas. Las características funcionales son la ejecución de la acción, la dirección de la acción y el control y corrección de la acción.

Los objetos de acción son: el modelo narrativo con el que se opera y transforma; el referente climático objeto de representación narrativa y formal; el contenido de los modelos narrativos y formales; otros estímulos externos de carácter cultural que contribuyen a evocar contenidos narrativos y formales que ayudan a transformar el cli-fi en un modelo formal.

El objetivo de la acción es la construcción de un modelo provisional y del modelo formal depurado; estos modelos son el objetivo. La finalidad de las acciones corresponde a la finalidad asignada -implícita o explícitamente- al transformar el cli-fi. Según la literatura (Ruvalcaba & Quintero, 2022; Ruvalcaba et al., 2021), se modela para problematizar y representar un fenómeno, representar y reproducir un modelo teórico ideal o comprender e identificar elementos críticos de un modelo teórico ideal o fenómeno climático.

Las acciones cognitivas son las operaciones mentales con las que se procede sobre los objetos y referentes para transformar el cli-fi en pensamiento formal. Estas son: imaginar, evocar, filtrar, abstraer, reflexionar, restringir, relacionar, explorar, simular, inferir, analizar, evaluar y validar. Las acciones cognitivas son operaciones para construir y simular el modelo narrativo y formal de referencia climática.

Por ejecución de la acción me refiero a llevar a cabo las acciones cognitivas. La ejecución puede ser impulsiva o estratégica. La experiencia con el objeto (narrativa, modelos formales y referente climático) determina la capacidad de ejecución.

La dirección de la acción específica hacia dónde se orienta la acción, es decir, si las acciones pretenden explicar, problematizar, justificar, exponer, describir, validar o reproducir el referente climático o modelo teórico ideal que lo representa.

La experiencia de trabajar con los objetos de transformar el cli-fi en pensamiento formal determina el control y la corrección de la acción. El control de las acciones y el control sobre los contenidos con los que se opera favorece identificar (1) la estrategia para transformar el modelo narrativo del cli-fi y su respectiva representación formal; (2) el

propósito y dirección de las acciones; (3) errores en el proceso de transformación de lo ficticio a lo formal, y gestionar errores tanto en la operación como en el modelo objetivo y la estructura de este último. El control y la corrección están asociados a la capacidad de modelar y ejecutar cada acción que transforma el cli-fi en un modelo formal.

Limitaciones de transformar el cli-fi en un modelo formal sobre cambio climático

El pensamiento narrativo es la base de algunas propuestas de enseñanza de las ciencias debido a la familiaridad y economía cognitiva que lo caracteriza. Sin embargo, al ser una modalidad de pensamiento cuyo lenguaje es diferente al lenguaje del pensamiento formal-proposicional, abstracto, amodal y en ocasiones incluso silogístico- me hace consciente de las limitaciones y dificultades que se enfrentan para transformar el cli-fi en un modelo científico escolar. Sin pretender ser exhaustivo, presento algunas limitaciones y dificultades de esta actividad.

Antes de exponer las limitaciones, enfatizo que las limitaciones significan desafíos para transformar el cli-fi en un modelo formal. Asumo la limitación como un espacio de posibilidades que contiene repertorios de acción para transformar el cli-fi en pensamiento formal. Al aumentar nuestras experiencias con la actividad para transformar el cli-fi, aumentamos nuestras capacidades para hacerlo, estableciendo un nuevo límite. Se puede pensar, por analogía, en círculos concéntricos. El círculo interior y más pequeño representa nuestras primeras experiencias con esta actividad cognitiva, y el área del círculo representa el área de posibilidades de acción con el conocimiento y la capacidad de transformar el cli-fi. Al aumentar nuestras habilidades con esta actividad, pasamos al siguiente círculo, con un área más grande, que representa mayores posibilidades de lo que podemos hacer con cli-fi. Y así sucesivamente, a medida que mejoran nuestras habilidades, aumentan nuestras posibilidades de acción para operar y, con éxito, transformar el cli-fi en modelos formales. Por tanto, las limitaciones significan áreas de oportunidad en el aprendizaje.

1. La experiencia. Es esencial para lograr transformar el cli-fi en pensamiento formal. La experiencia implica, por un lado, conocer la estructura procedimental y funcional de esta actividad intelectual y, por otro, familiaridad con el contenido de conocimiento con el que se opera. Qué y cómo transformar el modelo narrativo en uno formal tendrá más éxito con la experiencia y el conocimiento de las características estructurales y funcionales de esta actividad. Aunque en apariencia se trata de una actividad intuitiva, es necesario contar con una mediación y un apoyo que oriente con relación a cómo proceder a la hora de transformar cognitivamente el cli-fi en modelos formales. De lo contrario, profesores y estudiantes enumeran grupos de conocimientos y principios científicos sobre el cambio climático que se consideran cercanos al contenido narrativo del cli-fi pero sin explorar contenidos y vínculos estructurales. La experiencia con el conocimiento de contenidos se refiere a las habilidades y el control que se debe aplicar a dichos contenidos para construir y resolver problemas, modelarlos y representarlos en diferentes formatos.

2. Resistencia imaginativa. Es una oposición absoluta o relativa a imaginar. En otras palabras, la resistencia imaginativa implica que no se imagina una situación. Significa no proceder a visualizar el escenario imaginario, ni experimentar en el pensamiento, ni a modelar. La postura de resistencia manifiesta conflicto con imaginar una situación imaginaria, por lo que las posibilidades de transformar y experimentar en pensamiento con situaciones cli-fi son mínimas. Resistirse a imaginar implica reducir el número de componentes narrativos (y teóricos) evocados para operar, disminuyendo, en consecuencia, la probabilidad de lograr transformar el cli-fi. Las expresiones que manifiestan resistencia imaginativa aluden a que la situación y escenario imaginario en el cli-fi se asume desde el absurdo o lo irreal. Algunas otras manifestaciones no son una resistencia extrema al acto imaginativo; son condicionales. Es decir, los individuos señalan que la situación es absurda, pero asumen que en la condición narrada pueden operar de una forma u otra sin importar si se trata de una situación real o ficticia.

3. Conflictos teóricos. Es una limitación integrada por ideas previas erróneas y concepciones alternativas incompatibles con la ciencia escolar. A diferencia de la falta de

experiencia en el conocimiento del contenido, esta limitación no radica en reducir las posibilidades de aplicar el conocimiento del contenido. En este caso, el conocimiento del contenido es inadecuado, incongruente, incoherente e inconsistente con la situación climática narrada.

4. Escepticismo. Está asociado a la evaluación, detección de errores y control de acciones. Durante la transformación de cli-fi en un modelo científico escolar, los modelos provisionales y las simulaciones revelan relaciones o consecuencias proposicionales que requieren y necesitan verificarse. Los resultados de la transformación por sí solos no son válidos y carecen de confiabilidad; se requiere validar el modelo formal empíricamente o mediante principios científicos.

5. Representaciones exteriores. "No lo he imaginado" es una expresión frecuente enunciada como característica de esta limitación. A diferencia de la resistencia imaginativa, no existe un grado absoluto de resistencia a imaginar la situación narrada. La limitación se refiere a que el individuo no puede imaginar una situación como la narrada (asociada a la falta de experiencia con el contenido narrativo). Se preguntan qué observarían en tal situación o hacen explícita su necesidad de algún apoyo -mediador visual u otro tipo de formatos de representación externa- que ayude a realizar la actividad y acciones relevantes.

6. Personaje inacabado. Es necesario advertir que transformar un modelo narrativo cli-fi en uno formal no pretende construir explicaciones definitivas sobre el cambio climático. La actividad transformadora debe considerarse una herramienta de pensamiento para explorar sistemática y formalmente las relaciones entre múltiples componentes ficticios y narrativos. Partiendo de este supuesto, el carácter no concluyente indica que a partir de una misma situación de cli-fi, existirán diferentes grados de pensamiento formal. Los individuos plantean una serie de posibles problemas, explicaciones y modelos para operar desde cli-fi sin expresar compromiso de explorar ninguna de las ideas expuestas.

7. Falta de claridad en los propósitos. La formalidad conseguida a la hora de transformar el cli-fi vendrá determinada por el propósito de la tarea, ya sea modelar un modelo o principio científico para reproducirlo y exponerlo, problematizar y modelar un

fenómeno climático, o comprender la relación entre los componentes de un modelo y sus referentes climáticos. Al asignarse la tarea de transformar el cli-fi y mantener implícito el fin, los participantes corren el riesgo de invertir tiempo y esfuerzo cognitivo en diferentes acciones y secuencias de acciones que corresponden a fines divergentes. La falta de claridad en el propósito de la actividad implica la posibilidad y probabilidad de no lograr transformar el cli-fi.

8. Claridad del problema. Asociado a la falta de claridad en los objetivos, la falta de claridad en un problema concreto, cuando profesores y estudiantes pueden enfrentarse a problematizaciones, conduce a una serie de dificultades. Por ejemplo, identificar y plantear diversas variables conduce a numerosas conclusiones o soluciones. A veces, las variables y soluciones están categorizadas, pero no necesariamente vinculadas.

9. Comunicación oral y escrita. Transformar el cli-fi en un modelo formal implica traducir el pensamiento narrativo en uno lógico. La traducción de lenguajes está asociada con el desarrollo de la actividad imaginativa (Vygotsky, 2004). Significa que la traducción del pensamiento narrativo que describe situaciones cli-fi hacia un pensamiento organizado que explica el cambio climático se basa en la actividad cognitiva como una experiencia activa y progresiva que opera con lenguaje especializado. La agencia y la orientación de la traducción del lenguaje narrativo al formal son necesarias. Supongamos que esta traducción no se logra, el lenguaje científico y el narrativo se mezclan sin constituir un discurso homogéneo. Al contrario, es tan heterogéneo que es necesario reflexionar sobre la traducción de lenguaje a otro y en ambas direcciones (narrativa/formal, formal/narrativa).

10. Predilección por la fantasía. Trabajar con cli-fi favorece centrarse en los elementos fantásticos, de modo que profesores y alumnos se inclinan por transformar los modelos narrativos en otras escenas imaginarias -especialmente, pero no exclusivamente, distópicas. Es decir, los estímulos narrativos incentivan la construcción de situaciones ficticias similares o análogas, que van desde modificar algunos aspectos de la narrativa hasta construir nuevos escenarios.

11. Parpadeo de atención. Cuando a un estímulo informativo le sigue un segundo estímulo, la atención al primer estímulo se desvanece. Esta colisión mental (Dehaene, 2019) limita la acción consciente ante una tarea, ya que la atención se desvanece de un estímulo narrativo a otro. En consecuencia, el resultado es una serie de ideas enunciadas, no vinculadas por un propósito específico, sino expresadas a partir de diversos estímulos narrativos.

Conclusiones

Al comienzo de este escrito, propuse responder a la pregunta: ¿cuáles son las características estructurales y funcionales de la actividad mental de transformar el cli-fi en un modelo formal? En la tercera sección describo estas características. La base de la propuesta es asumir que esta actividad mental comparte características con el pensamiento narrativo y la experimentación mental porque, en ambos casos, la actividad transformadora es central. Las características de esta actividad mental evidencian que no se trata de una actividad intuitiva, y sí de una actividad mental compuesta de acciones mentales estructuradas y ordenadas. Esto implica la factibilidad de emplear la ficción climática en la enseñanza y aprendizaje sobre cambio climático, tal que abre la posibilidad de entrenarnos y devenir hábiles en la transformación de modelos narrativos en modelos científicos escolares por medio de la regulación y orientación de los procesos de aprendizaje, y evitar dejar la actividad a la intuición por ensayo y error.

Al final, expuse las limitaciones que nos plantean dificultades para transformar el cli-fi. Las limitaciones me llevaron a repensar la transformación del cli-fi en un modelo formal en términos del clásico problema cognitivo: comprender la traducción del pensamiento en acción. Este problema busca comprender la naturaleza de la relación entre los sistemas cognitivo y motor encargado de planificar y ejecutar acciones. Algunas posiciones mantienen una traducción, otras que no existe tal traducción, y defienden una relación de interfaz entre el pensamiento (sistema cognitivo) y la acción (muy cercano al sistema motor). Repensar el problema de traducir el cli-fi en un modelo formal requiere reconocer

la calidad sensorial del pensamiento narrativo, por lo que las representaciones motoras son responsables de iniciar la movilidad de conocimientos y activar el proceso imaginativo. Asimismo, vale dejar dos preguntas: ¿Cuál es la diferencia entre traducir y transformar el cli-fi en un modelo formal?, y ¿cuál es la relevancia del sistema motor en el aprendizaje del cambio climático?

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) 1811-1833. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9710-1>
- Avraamidou, L., & Osborne, J. (2009). The role of narrative in communicating science. *International Journal of Science Education* 31(12) 1683-1707. <https://doi.org/10.1080/09500690802380695>
- Brown, J. R. (2011). *The laboratory of the mind: Thought experiments in the natural sciences*. Routledge.
- Bruner, J. (1991). The narrative construction of reality. *Critical Inquiry* 18(1) 1–21. <https://doi.org/10.1086/448619>
- Bruner, J. (1996). *Realidad mental y mundos posibles*. Barcelona: Gedisa.
- Canavan, G. (2014). If this goes on. In: Canavan, G. & Robinson, K. S. *Green Planets: Ecology and science fiction*. 1–24. Wesleyan University Press.
- Clement, J. (1994). Imagistic Simulation and Physical Intuition in Expert Problem Solving. In: Ram, A. & Eiselt, K. *Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. 201–206. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315789354>
- Clement, J. (2003). Imagistic simulation in scientific model construction. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* 25(25).
- Clement, J. (2009). The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science* 1(4) 686-710. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01031.x>
- Dehaene, S. (2019). *¿Cómo aprendemos?: Los cuatro pilares con los que la educación puede potenciar los talentos de nuestro cerebro*. Siglo XXI Editores.

- Eilam, E. (2022). Climate change education: the problem with walking away from disciplines. *Studies in Science Education* 58(2) 231–264. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.2011589>
- Gendler, T. S. (2013). *Intuition, imagination, and philosophical methodology*. OUP Oxford.
- Hadzigeorgiou, Y. (2016). *Imaginative Science Education: The Central Role of Imagination in Science Education*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29526-8>
- Lambert, J. L.; Lindgren, J. & Bleicher, R. (2012). Assessing elementary science methods students' understanding about global climate change. *International Journal of Science Education* 34(8) 1167-1187. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.633938>
- Lambert, J. L., & Bleicher, R. E. (2013). Climate change in the preservice teacher's mind. *Journal of Science Teacher Education* 24(6) 999-1022. <https://doi.org/10.1007/s10972-013-9344-1>
- Mach, E. (1976). *Knowledge and error*. Springer Netherlands.
- Miščević, N. (1992). Mental models and thought experiments. *International Studies in the Philosophy of Science* 6(3) 215–226. <https://doi.org/10.1080/02698599208573432>
- Özdemir, O. F. (2009). Avoidance from thought experiments: fear of misconception. *International Journal of Science Education* 31(8) 1049-1068. <https://doi.org/10.1080/09500690801932538>
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education* 22(5) 489–506. <https://doi.org/10.1080/095006900289741>
- Ruvalcaba, J. M. (2020). *Experimentos pensados y movilidad de conocimientos: un estudio con profesores de física del nivel secundario*. Doctoral Thesis. México: CINVESTAV.
- Ruvalcaba, J. M., Quintero, R. & Gómez, A. A. (2021). Conocimiento de contenido de profesores: el experimento pensado de caída libre de Galileo. *Enseñanza de las ciencias* 40(1) 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3357>
- Ruvalcaba, J. M.; Ruiz, H. L., & Quintero, R. (2022). Imaginación científica escolar: actividad social y cognitiva. *Sincronía* XXVI(81) 487-500. <http://doi.org/10.32870/sincronia.axxvi.n81.24a22>
- Ruvalcaba, J. M. & Quintero, R. (2022). Conocimiento docente: ¿modelar la caída libre o un modelo teórico?. *Revista de Enseñanza de la Física* (34) 283-288.
- Schneider-Mayerson, M. (2018). The influence of climate fiction: an empirical survey of readers. *Environmental Humanities* 10(2) 473-500. <https://doi.org/10.1215/22011919-7156848>

- Swirski, P. (2007). *Of literature and knowledge: Explorations in narrative thought experiments, evolution and game theory*. Routledge.
- Varela, B.; Sesto V. & García-Rodeja, I. (2020). An investigation of secondary students' mental models of climate change and the greenhouse effect. *Research in Science Education* (50) 599-624. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9703-1>
- Vrasidas, C.; Avraamidou, L.; Theodoridou, K.; Themistokleous, S. & Panaou, P. (2015). Science fiction in education: Case studies from classroom implementations. *Educational Media International* 52(3) 201-215. <https://doi.org/10.1080/09523987.2015.1075102>
- Vygotsky, L. S. (2004). Imagination and creativity in childhood. *Journal of Russian & East European Psychology* 42(1) 7-97. <https://doi.org/10.1080/10610405.2004.11059210>
- Walsh, E. M., & McGowan, V. C. (2017). 'Let your data tell a story': Climate change experts and students navigating disciplinary argumentation in the classroom. *International Journal of Science Education* 39(1) 20-43. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1264033>
- Yusoff, K. & Gabrys, J. (2011). Climate change and the imagination. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2(4) 516-534. <https://doi.org/10.1002/wcc.117>
- Zona-López, J. R.; Ruiz-Ortega, F. J. & Márquez-Bargalló, C. (2023). Modelos de explicación sociocientífica sobre el cambio climático desde una perspectiva multimodal. *Educación y Humanismo* 25(44) <https://doi.org/10.17081/eduhum.25.44.5747>