

MONOGRÁFICO

Modelización y argumentación en la enseñanza de las Ciencias Experimentales

# LOS MODELOS Y LA MODELIZACIÓN CIENTÍFICA Y SUS APORTES A LA ENSEÑANZA DE LA PERIODICIDAD QUÍMICA EN LA FORMACIÓN INICIAL DEL PROFESORADO

Recepción: 13/09/2018 | Revisión: 27/12/2018 | Aceptación: 22/02/2019

**Carlos A. DÍAZ GUEVARA**Instituto CeFIEC, Universidad de Buenos Aires  
carlosalberto.diazguevara@yahoo.es**Fredy R. GARAY GARAY**Universidad Católica de Colombia  
licfredygaray@gmail.com**Jhon Deivi ACOSTA PAZ**Instituto CeFIEC, Universidad de Buenos Aires  
jdacosta001@hotmail.com**Agustín ADÚRIZ-BRAVO**Instituto CeFIEC, Universidad de Buenos Aires/  
CONICET, Argentina  
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

**Resumen:** En este trabajo presentamos algunas reflexiones metacientíficas en torno a la construcción de modelos durante la formación inicial del profesorado de Química. Inicialmente, realizamos una revisión teórica sobre las nociones de modelo y modelización científica; buscamos recopilar algunas investigaciones anteriores del ámbito iberoamericano. Posteriormente, analizamos los resultados de una innovación didáctica realizada con estudiantes de un programa de Licenciatura en Química –carrera de grado de formación de profesorado de Secundaria– en Colombia. Tal innovación tuvo como tema de trabajo la periodicidad química y utilizó, entre sus estrategias, la lectura de textos originales de los científicos de referencia y pruebas individuales y grupales (composición y ensayo) antes y después de lecturas y discusiones clave. Con nuestro análisis buscamos caracterizar lo que llamamos los “modelos abstractos intuitivos” y los “modelos abstractos teóricos” de futuros profesores de Química. Con base en los aportes teóricos y empíricos de este trabajo, tratamos de identificar posibles aportes de los modelos y de la modelización científica a la formación del profesorado.

**Palabras clave:** modelos; modelización científica; formación inicial del profesorado de química; periodicidad química.

**SCIENTIFIC MODELS AND MODELLING AND THEIR CONTRIBUTION TO THE TEACHING OF CHEMICAL PERIODICITY IN PRE-SERVICE TEACHER EDUCATION**

**Abstract:** In this paper we present some meta-scientific reflections on the construction of models during the initial training of Chemistry teachers. Initially, we carry out a theoretical review on the notions of scientific model and modelling; we seek to compile some previous research from the Iberoamerican community of scholars. Afterwards, we analyse the results of a didactical innovation implemented with students of a Bachelor Degree in Chemistry Education in Colombia. Such innovation was centred on the subject of chemical periodicity and used, among its strategies, the reading of original texts by reference authors and individual and group tests (composition and essay) before and after key readings and discussions. With our analysis, we seek to characterise what we call the “intuitive abstract models” and the “theoretical abstract models” of future Chemistry teachers. On the basis of the theoretical and empirical contributions in this paper, we try to identify possible contributions of scientific models and modelling in teacher education.

**Keywords:** models; scientific modelling; pre-service chemistry teacher education; chemical periodicity.

**ELS MODELS I LA MODELITZACIÓ CIENTÍFICA I LES SEVES APORTACIONS A L'ENSENYAMENT DE LA PERIODICITAT QUÍMICA EN LA FORMACIÓ INICIAL DEL PROFESSORAT**

**Resum:** En aquest treball presentem unes reflexions metacientífiques al voltant de la construcció de models durant la formació inicial del professorat de Química. Inicialment, vam realitzar una revisió teòrica sobre les nocions de model i modelització científica; vam intentar recopilar algunes investigacions anteriors de l'àmbit iberoamericà. Posteriorment, analitzem els resultats d'una innovació didàctica realitzada amb estudiants d'un programa de Llicenciatura en Química –carrera de grau de formació del professorat de Secundària– a Colòmbia. Aquesta innovació va versar sobre la periodicitat química i va fer ús, d'entre les seves estratègies, de la lectura de textos originals científics de referència i proves individuals i grupals (redacció i assaig) abans i després de lectures i debats clau. Amb la nostra anàlisi busquem caracteritzar el que anomenem els “models abstractes intuitius” i els “models abstractes teòrics” de futurs professors de Química. En base a les aportacions teòriques i empíriques d'aquest treball, intentem identificar possibles aportacions dels models i de la modelització científica a la formació del professorat.

**Paraules clau:** models; modelització científica; formació inicial del professorat de Química; periodicitat química.

## Introducción

En este trabajo presentamos algunas reflexiones acerca de cómo los profesores en formación, mientras aprenden a enseñar ciencias experimentales y en particular química, construyen y utilizan modelos abstractos. Los modelos del profesorado pueden considerarse, desde las distintas perspectivas disponibles en la literatura especializada de la didáctica de las ciencias experimentales, como *modelos mentales* (Gutiérrez, 2004), *modelos explicativos* (Moreira, 2002) o *modelos teóricos* (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

Este trabajo pretende profundizar en un estudio anterior (Garay, 2007), estructurado en torno a una investigación empírica con profesores y profesoras de Química colombianos durante su formación inicial. Esa investigación que retomamos aquí se desarrolló en el marco del espacio académico provisto por la asignatura *Teorías Químicas I*, con veintinueve estudiantes que estaban transitando su formación inicial en un programa de Licenciatura en Química (esto es, la carrera de formación de grado del profesorado de Química para el nivel secundario) en la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. La investigación, que tomó como tema de trabajo el modelo científico de periodicidad química, tuvo como propósito indagar, a partir de la aplicación de una estrategia metodológica innovadora, sobre la construcción de modelos abstractos intuitivos y teóricos en la población seleccionada.

Considerando que la periodicidad química aparece como una noción esencial a enseñar en la educación secundaria si se pretende que los estudiantes comprendan la construcción de la química como una de las ciencias experimentales (Garay, Gallego y Miranda, 2006), creemos que resulta necesario estudiar cómo las estrategias de modelización implementadas por los formadores del profesorado redundan en modelos científicos más robustos en torno a esa noción.

El objetivo general de este trabajo es recharacterizar, con nuevas herramientas teóricas, los modelos iniciales y finales elaborados por los profesores en formación inicial frente al modelo científico de periodicidad química. Los objetivos específicos son:

1. Realizar una reflexión teórica acerca de los modelos científicos y la estrategia de modelización.
2. Escoger una postura teórica desde la epistemología (filosofía de la ciencia) y la historia de la ciencia sobre los modelos y la modelización, enfocándonos en sus aportes a la formación del profesorado.
3. Definir los distintos *niveles de modelización* que logran los futuros profesores de química con respecto a un modelo científico de referencia.

## 1. Discusión en torno a la idea de “modelo”

La literatura sobre modelos en la didáctica de las ciencias experimentales es actualmente muy extensa y diversa; todo intento de recensión de esa literatura, por tanto, debe hacerse desde una mirada intencionada que seleccione algunas producciones con determinados criterios. Nosotros hemos usado, para el presente trabajo, dos criterios explícitos: priorizar escritos académicos pro-

venientes del ámbito iberoamericano y concentrarnos en discusiones teóricas acerca de la naturaleza *epistémica* de los modelos.

Es durante los años ochenta del siglo XX que crece fuertemente la consideración de los modelos y la modelización como una línea prioritaria de investigación e innovación en la educación científica; una de las primeras publicaciones en este sentido fue la de Osborne y Gilbert (1980), ya clásica, en la que los autores presentan un avance metodológico para conocer lo que hoy llamaríamos “modelos mentales” de los estudiantes en física (ellos en el texto los llaman “visiones”, “concepciones” y “creencias”). Revisiones posteriores de Tiberghien (1994) y de Vosniadou y Brewer (1992) señalan que la palabra “modelo” se usó en esa etapa inicial de estudios solo para referirse a los modelos científicos “normativos” *que se enseñan* a los estudiantes, pero que pronto se expandió también para designar los “modelos infantiles”, como sinónimo de marcos o estructuras de ideas en los estudiantes. En seguida se calificó a estos modelos de “alternativos”, para distinguirlos de los modelos consensuados al interior de la comunidad científica (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985).

Desde la didáctica de las ciencias experimentales, los modelos pueden ser clasificados o jerarquizados dependiendo de su función, de su origen, de su estructura o de otros muchos criterios, y es gracias a estos parámetros clasificatorios que se delimita el ser y el hacer de este constructo tan amplio. Por ejemplo, existen los modelos mentales (Moreira, 2002), los modelos icónicos, gráficos (Gallego, 2004), semánticos, analógicos, didácticos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), formales o no formales, físicos o concretos.

También se analizan los modelos científicos como categoría epistemológica en la construcción de las ciencias; en esta última aproximación, de carácter “epistémico”, se pueden mencionar autores como Ronald Giere, Michael Kretzenbacher, Giuseppe del Re, Margaret Morrison o Jesús Mosterín, que vienen del campo de la filosofía. En el ámbito de Iberoamérica, didactas de las ciencias experimentales como Mercè Izquierdo-Aymerich, José Antonio Chamizo, Marco Antonio Moreira, José María Oliva, Ileana Greca, Stella Maris Islas, Rómulo Gallego, Marta Pesa, Agustín Adúriz-Bravo, entre otros muchos, han dedicado esfuerzos investigativos a la noción de modelo.

Desde la didáctica de las ciencias, se considera que el componente metacientífico (la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia) es fundamental en la alfabetización científica general. Esto lleva a la necesidad de introducir la historia de la ciencia y la epistemología en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, Izquierdo-Aymerich y Estany, 2002). Creemos por tanto necesario que el profesorado esté al tanto de que los desarrollos recientes y actuales de la epistemología han puesto en valor los modelos y la modelización en la construcción de las ciencias, y que tal puesta en valor ha influido importantemente en nuestras concepciones teóricas acerca de su enseñanza (Adúriz-Bravo, 2018). A partir de la introducción de los “modelos mentales” en el programa de trabajo de las ideas previas y el cambio conceptual en los años ’80, se fue desarrollando rápidamente la propuesta de una enseñanza de las ciencias “basada en modelos” (Justi, 2006). Tal propuesta se fundamenta en conceptualizaciones sobre el constructo de modelo que aporta la epistemología “semanticista” de fines del siglo XX. Nuestro propósito al diseñar uni-

dades didácticas basadas en la modelización como estrategia tiene, como objetivo adicional, el de familiarizar al profesorado con los fundamentos metateóricos de esta estrategia.

En 1988, el epistemólogo estadounidense Ronald Giere aporta una conceptualización clave de modelo, de carácter semántico, al definirlo como una entidad abstracta que “se comporta” como afirma la teoría a través de sus enunciados, que pueden estar expresados con diferentes recursos simbólicos. Esta concepción de modelo ha tenido gran impacto en la didáctica de las ciencias experimentales (Adúriz-Bravo, 2013).

Siguiendo a Gobert y Buckley (2000), estos modelos teóricos a la Giere se pueden entender como representaciones idealizadas de sistemas reales que incluyen aspectos generales (características y descripciones) y específicos (estructura y función) “capturados” de tales sistemas. Todos esos aspectos son organizados con base en sistemas de proposiciones de carácter hipotético. Por tanto, un modelo adquiere relevancia en la medida en que permite la descripción, el análisis y la interpretación del sistema modelizado, con vistas a su transformación.

Son capacidades esenciales de un modelo científico la de poder modificarse desde su estructura interna, la de permitir construir modelos más robustos a partir de sí mismo y la de derivar en nuevos modelos por medio de mecanismos de trasvase metafórico. A partir de estas ideas teóricas, argumentamos que la ciencia puede ser vista como un proceso muy elaborado de construcción de modelos provisionales pero bien fundamentados, que son funcionales en contextos determinados por espacios y tiempos específicos, y que participan como entidades centrales en nuestro otorgamiento de sentido al mundo (Jiménez-Aleixandre y Sanmartí, 1997).

De forma muy general, los modelos científicos son una clase particularmente elaborada de representaciones abstractas de objetos, sistemas, fenómenos o procesos. Un modelo siempre es un modelo *de* algo y necesariamente simplifica lo que representa y pretende entender (Adúriz-Bravo, 2012); por tanto, se puede afirmar que la relación entre el mundo real y los modelos científicos es una relación de “similitud” (Giere, 1988): el modelo es similar al sistema real en algunos aspectos y grados, solo representa algunas entidades y relaciones de dicho sistema y las idealiza para que se acoplen a la teoría.

A través de los modelos, las teorías toman significado en el mundo real; la manera en que los científicos utilizan las teorías da lugar a un conjunto de hechos “idealizados” en los que se encarnan los principios teóricos, que llamaremos “reglas de juego”. El conjunto de ideas teóricas (reglas de juego) y hechos reconstruidos mediante esas ideas (“hechos paradigmáticos”) constituye el “modelo teórico”, que recupera el contexto fenomenológico en el cual cobran sentido las ideas abstractas (Izquierdo-Aymerich, 2014):

“El modelo es entonces un objeto abstracto conceptualmente construido, en el cual se consideran como variables solo algunos factores relevantes, incluso a veces se suponen propiedades de elementos inobservables del sistema real o en otros casos se introducen entidades ideales inexistentes en la realidad.” (Adúriz-Bravo, Labarca y Lombardi, 2014: 42)

Teniendo en cuenta lo anterior, vamos a considerar que un modelo científico “teórico”

funciona a modo de “mapa” o “plano” para orientar la descripción y la comprensión de un determinado fenómeno del mundo. Un ejemplo de esta idea en química es el enlace químico, un modelo para explicar la naturaleza “diversa” de la materia a nivel fenomenológico. Los enlaces iónicos, covalentes, metálicos, etc. se usan para describir, a través de imaginar diferentes formas de “articulación” de las unidades estructurales de la materia, las características físicas y los comportamientos químicos de los materiales. En otras palabras, se “requiere” que exista un enlace químico para que emerja una descripción satisfactoria de las distintas “estructuraciones” químicas reconocibles en el mundo material.

En resumen, la comunidad de especialistas en didáctica de las ciencias considera que un modelo científico consiste en una representación idealizada y “cargada de teoría” de una porción de la realidad. Se caracteriza el modelo como un “mediador” entre realidad natural y predicación científica, es decir, como aquello que permite la aplicación múltiple de una teoría científica a distintas “porciones” de mundo y, al mismo tiempo, la unificación de muchos hechos diversos bajo una misma mirada teórica. Esta concepción de los modelos como mediadores ha resultado muy potente para la didáctica de las ciencias experimentales, puesto que derruye la visión ingenua de las teorías como “copias” directas de la realidad.

### 1.1. Modelos abstractos

En este trabajo vamos a utilizar, para el análisis del corpus empírico, la categoría de modelo “abstracto” (es decir, no representado concretamente, no “externalizado”). Por ello, dentro de este apartado ahondaremos en distintas perspectivas sobre ella.

Gilbert (2002) sugiere que los estudiantes, al momento de aprender ciencias experimentales, deberían acercarse a los modelos que constituyeron importantes contribuciones al conocimiento científico. Ello conlleva también reconocer el papel relevante que desempeña la historia de la ciencia en su enseñanza, puesto que al aprender *sobre* la ciencia los estudiantes deberían apreciar el papel de los modelos en el asentamiento, la evolución y la divulgación de sus resultados. Por otra parte, al aprender a hacer ciencia, los estudiantes deberían desarrollar la *competencia* de producir y ensayar modelos.

Es entonces que, al reflexionar en torno a la manera en que estudiantes (que son, en nuestro caso, profesorado en formación) construyen conocimiento científico, se reconoce que los modelos abstractos suponen una síntesis de la realidad basada en algún tipo de sistema simbólico (letras, números, imágenes, gráficas, etc.). Los modelos abstractos no representan la auténtica organización de la realidad, sino que “capturan” la sintaxis del pensamiento que se tiene acerca de ella. Resulta por tanto necesario recurrir, en la enseñanza, a modelos abstractos con suficiente riqueza simbólica y suficiente capacidad explicativa, puesto que ellos van a estructurar el pensamiento desde lo conceptual y metodológico y, al mismo tiempo, van a dar una explicación “compartible” a aquello que es aceptado como real.

Como ya adelantamos, un tipo de modelos abstractos son los denominados “modelos mentales”, considerados intermediarios entre el mundo y cada sujeto, siendo internos, autónomos,

coherentes y funcionales para cada individuo. Rodríguez y colaboradores (2001) afirman que la mente humana opera con modelos mentales como piezas cognitivas que se combinan de diversas maneras y que representan los objetos o las situaciones captando sus elementos más característicos y esenciales. El objetivo de “funcionar” con modelos es, finalmente, entender y predecir aquella parte de realidad a la cual nos estamos enfrentando en cada momento.

Los modelos mentales pueden ser proposiciones (cadenas de símbolos), modelos analógicos (análogos estructural-funcionales del mundo) (Gutiérrez, 2005) o imágenes (Moreira, 2002). Esos modelos, en tanto que representaciones, tienen un grado de complejidad que depende en buena parte del proceso de apropiación del sistema modelizado que se lleve a cabo; en este trabajo hablaremos, por tanto, de diferentes “niveles” en los modelos.

Recuperamos aquí la idea expuesta por Garay (2007) de que la construcción de un modelo abstracto por parte de los profesores en formación inicial es un proceso que conlleva diferentes etapas de estructuración sucesiva, como se observa en la Figura 1.

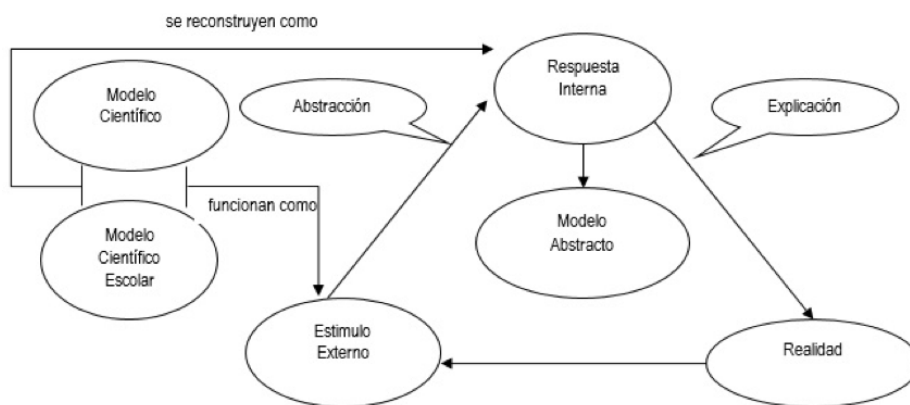


Figura 1. Etapas de la construcción de modelos abstractos.  
Fuente: Garay, 2007.

En el esquema que estamos usando, el estímulo externo es aquello que se le presenta al estudiante y produce en él una respuesta de carácter netamente interno. Los modelos científicos son en última instancia de uso externo (público y compartido), pero su construcción y reestructuración es interna; la respuesta interna es el resultado de un proceso de abstracción que el estudiante hace de aquel estímulo externo.

Lo central de este marco es que tal estímulo puede ser un sistema real que se quiere modelizar, *pero también un modelo científico (erudito o escolar)*. Durante el aprendizaje de la química, los estudiantes (profesores en formación), al ser expuestos a modelos entendidos como objetos epistémicos, reformulan y reconstruyen sus propios modelos iniciales, robusteciéndolos e integrándolos a otros para que su uso sea más eficiente y más fundamentado.

Así, el modelo abstracto “teórico” (próximo al pensamiento científico, con estructuras conceptuales sólidas que pueden extrapolarse a diversas situaciones) deviene de la reformulación y reconstrucción del modelo abstracto “intuitivo” (construido desde el sentido común), tal como

captura la Figura 2. El modelo abstracto teórico ya puede ser usado, exteriorizándolo, en la dilucidación del fenómeno de referencia, en el proceso que llamamos “explicación”; es en la explicación cuando el modelo que está usando el alumno/profesor se acerca al modelo científico y alcanza a dar cuenta del fenómeno. El modelo abstracto en juego es la representación que quien estudia química ha llegado a elaborar “delimitada” por el modelo científico *sensu stricto* o por el modelo científico escolar al que ha sido expuesto.

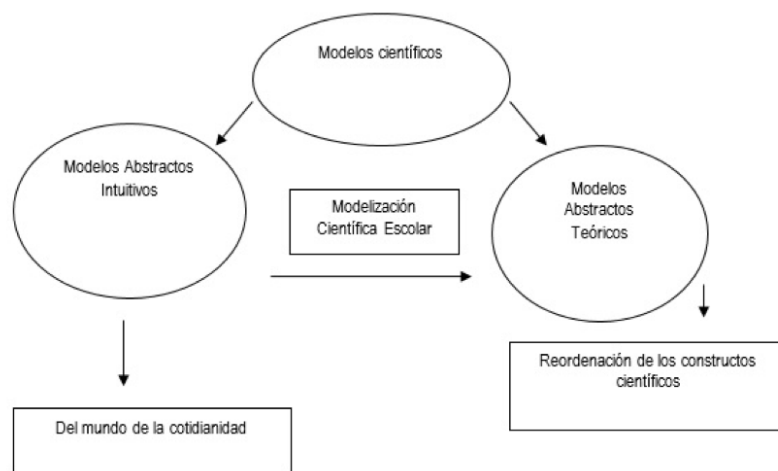


Figura 2. Modelos abstractos intuitivos y modelos abstractos teóricos.  
Fuente: Garay, 2007, basado en ideas de Grosslight y colaboradores (1991).

Se puede considerar entonces que la elaboración y la reconstrucción de modelos abstractos “teóricos” por parte del profesorado de química en formación están dadas por una doble vía que va de lo externo (lo que se acepta como realidad, incluyendo aquí conceptualizaciones disponibles de esa realidad) hacia lo interno (el conocimiento del individuo) en la abstracción y luego de lo interno a lo externo en la explicación.

Extrapolando ideas de Giere (1988) y de Adúriz-Bravo y colaboradores (2014), podemos considerar que los modelos abstractos que los profesores en formación llegan a construir tienen una robustez explicativa que depende en gran medida del proceso de enseñanza que se lleve a cabo. La investigación didáctica (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Harrison y Treagust, 2000; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2005) muestra la enorme potencia que tiene el uso de modelos analógicos, que pueden ser al inicio muy sencillos, concretos e icónicos, para ayudar en la progresión hacia tipos más complejos, como son los modelos abstractos de procesos y conceptos. La reorganización de los modelos abstractos intuitivos para que estos se vayan aproximando a los modelos científicos escolares supone, entonces, el uso de estrategias didácticas que se valgan de modelos mediadores y mecanismos metafóricos (es decir, de trasvase).

## 1.2. Modelización

Según Gilbert y Justi (2016), la modelización se puede concebir como un proceso de producción o construcción de modelos o, de forma más amplia, como un proceso que incluye el uso y la manipulación de modelos. De manera similar, Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) afirman que la modelización científica se puede entender de diversas formas: como la creación de modelos científicos originales, la construcción de argumentos en los que se subsumen bajo modelos ciertos hechos investigados, el ajuste de los modelos establecidos a causa de la aparición de nuevos datos o ideas, o el ejercicio intelectual de aplicar modelos ya existentes para explicar hechos en un entorno de enseñanza o de formación.

De forma general, se puede entender que la “generación” de modelos científicos se da a partir de modelos anteriores por medio de analogías, concreciones, combinaciones y otros procesos intelectuales que aumentan su refinamiento y la sofisticación.

Muchos autores (Camacho González *et al.*, 2012; Felipe, Gallareta y Merino, 2005; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; García Rovira, 2005; Gilbert, 1993, 2004, 2010; Gilbert y Justi, 2016; Gómez, 2005; Moreira, 2002) conciben la modelización como una de las actividades más importantes de la empresa científica, y por tanto sugieren colocarla en un lugar central en la enseñanza de las ciencias. Así, la “modelización científica escolar” se constituye en una estrategia didáctica extremadamente potente: habilita a los estudiantes a que piensen sobre hechos clave, reconstruidos teóricamente, con el fin de dar sentido a los fenómenos del mundo que la ciencia intenta explicar.

John Clement es uno de los primeros autores que profundizó en la noción de modelización dentro de la educación científica (Clement y Brown, 1989). Este autor asume el aprendizaje de las ciencias experimentales como la construcción de modelos mentales apropiados; se apoya en investigaciones de la filosofía y la ciencia cognitiva que intentan “capturar” los procesos mentales involucrados en la formulación de hipótesis acerca del mundo.

Hoy en día, distintas perspectivas teóricas en la didáctica de las ciencias experimentales plantean que el profesorado debería, por una parte, introducir la modelización como elemento central de la “actividad científica escolar” (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999) y, por otra, producir modelos científicos escolares entendidos no como una simplificación de los modelos eruditos, sino como una “re-versión” que los tiene como meta, pero que ha sido elaborada teniendo en cuenta el contexto educativo y las finalidades de la enseñanza (Gómez, 2005).

La modelización, vista como proceso, acude a la explicitación de modelos iniciales y transcurre por medio de avances y recursividades que implican que los modelos sean puestos a prueba, revisados y ajustados al aplicarlos a situaciones específicas. En este proceso se involucran las propias construcciones de cada uno de los estudiantes, la interacción entre ellos y los profesores, la interacción con los instrumentos y el despliegue de variadas formas comunicativas en función de la construcción de sentidos (Gómez, 2005).

Desde la perspectiva que adoptamos, el camino que estamos describiendo tiene como meta generar “maneras de mirar” los fenómenos que se adecuan a las “reglas de juego” propias de las comunidades científicas y que se traducen en formas específicas de hablar sobre el mundo (Arcà, Guidoni y Mazzoli, 1990). En este proceso de enriquecimiento de los modelos de estudian-



tes y profesores es posible identificar modelos intermedios, aproximaciones que son funcionales; tales modelos permiten ajustar de algún modo parcial el fenómeno analizado y cuentan con algunos elementos pertenecientes al modelo científico, pero aún requieren de reelaboraciones, ajustes y complejizaciones. En esta tarea, como dijimos, juegan un papel fundamental las analogías y las metáforas (Gilbert y Justi, 2016); es por ello que hablamos de “mediadores analógicos”, modelos intermediarios que facilitan expandir una representación al dar lugar a comparaciones entre dominios que tienen alguna semejanza y al hacer más cercanos entre sí hechos que, a priori, aparecen como disjuntos (Gómez, 2005).

En resumen, consideramos que la modelización es una estrategia didáctica muy potente en la formación del profesorado de química porque permite enseñarles a reconocer hechos claves del mundo químico y a pensar sobre ellos a través de un proceso de reconstrucción teórica que los transforme en modelos. En la modelización se hace un uso compartido de modelos químicos que son patrimonio cultural. Además, una enseñanza basada en la modelización puede diseñarse de manera tal que también comunique mensajes epistemológicamente válidos sobre la llamada “naturaleza de la ciencia”, es decir, que enseñe sobre el lugar de los modelos en la construcción de la ciencia como actividad humana.

## 2. La intervención didáctica

El desarrollo de la propuesta de intervención que se analiza aquí tuvo lugar en la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia) y la población con la que se trabajó fue un grupo de veintinueve profesores en formación inicial en Química. La propuesta pretendió generar un cambio significativo en los modelos abstractos elaborados por los estudiantes con referencia al modelo científico de periodicidad química.

Con el fin de generar tal cambio en los modelos del profesorado, las actividades que se plantearon en la intervención didáctica tenían un fuerte cariz *argumentativo*; resultaba importantísimo el aprender a comunicar y sustentar ideas de ciencias desde un modelo científico.

El lenguaje y la comunicación juegan un importante papel en la construcción del conocimiento científico, y por ello es necesario aprender a “hablar ciencias”, y en particular a argumentar (Jiménez-Aleixandre, 2010). Siguiendo a Adúriz-Bravo (2014), entendemos aquí la argumentación de los futuros profesores como el proceso textual de defender una afirmación con elementos *modeloteóricos* teniendo una variedad de opciones entre las que se elige la más pertinente y desplegando estrategias para convencer a los receptores del argumento de que la opción favorecida es la más apropiada. Esta perspectiva que adoptamos de la argumentación en conexión con los modelos teóricos nos permite reconocer en los argumentos construidos el uso de pruebas para fundamentar comprensiones teóricas sobre mundo natural, que son precisamente los modelos científicos (Adúriz-Bravo, 2018).

En un primer momento, los profesores en formación inicial *expresaron* modelos abstractos en torno a la periodicidad química a través de dos ejercicios de lápiz y papel. Luego se pretendió que, al acercarlos a los modelos científicos propuestos para esta temática, ellos reconstruyeran

y reestructuraran sus modelos iniciales. Todo ello se hizo bajo la guía de los presupuestos teóricos que establecimos más arriba para la modelización como estrategia didáctica. A posteriori de la intervención, se propusieron las mismas dos tareas, para compararlas con el punto de partida e identificar posibles avances.

Para analizar los resultados obtenidos a partir de los distintos instrumentos de recolección de información que se usaron en la investigación empírica, estamos proponiendo aquí tres niveles de modelos (Figura 3). Tomamos como referencia a Grossligh y colaboradores (1991) para establecer una “escala” con la cual determinar el carácter de los modelos abstractos intuitivos y teóricos de los estudiantes para profesores, antes y después de la ejecución de la estrategia de innovación didáctica basada en la modelización.

En el *primer nivel* se encuentran todos aquellos profesores de química en formación inicial que establecían una correspondencia uno a uno entre modelo y sistema, que consideraban que los modelos deben ser “correctos” y que no los concebían como ideas teóricas guiadas por propósitos.

El *segundo nivel* está representado por los profesores que consideraban que los modelos remiten de manera fuerte a objetos o eventos del mundo real más que a representaciones o ideas, y que poseen como propósito principal comunicar conceptos.

En el *tercer nivel* ubicamos a los profesores que consideran la existencia de múltiples modelos y que los conciben como herramientas del pensamiento y como mediadores entre teoría y empiria.

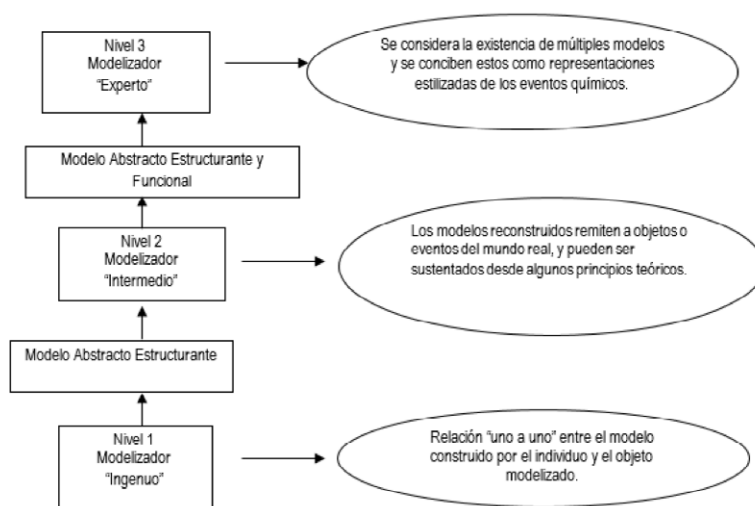


Figura 3. Niveles de modelos.

Fuente: Garay, 2007.

### 2.1. Descripción de las actividades dentro de la intervención didáctica

Una de las apuestas fuertes de la intervención didáctica consistió en apoyar el aprendizaje del modelo científico (periodicidad química) desde la versión original de los autores o desde las primeras

traducciones disponibles.

En la intervención se plantearon lecturas (en español y en inglés) de fuentes primarias y documentos históricos con preferencia a las de los libros de texto o materiales docentes. La intención era propender a que los profesores en formación inicial pusieran en marcha procesos y habilidades de pensamiento destinadas a contextualizar el modelo de la manera más clara y coherente posible.

Paralelamente a esas lecturas, se propusieron actividades de lápiz y papel que son de dos tipos: *pruebas de composición* y *pruebas de ensayo*.

### 2.1.1. Pruebas de composición

Las *pruebas de composición* tienen como objetivo principal identificar la versión del modelo de periodicidad química elaborado por los profesores en formación inicial con relación al modelo científico y, como objetivo más específico, analizar el uso contextual y significativo que los profesores en formación inicial hacen de los conceptos claves de la periodicidad química.

Los conceptos que se suministraron para “componer” un texto fueron los siguientes: propiedad periódica, periodicidad química, elemento, tabla periódica, grupo, periodo, regla de las octavas y tabla periódica.

Las pruebas que se aplicaron en un primer momento (*pre-test*) se denominaron *pruebas de entrada*; fueron aplicadas antes de las lecturas teóricas. En estas pruebas se entregaron definiciones “normativas” de cada uno de los conceptos enunciados más arriba, tomadas de textos históricos canónicos que asentaron el campo de la química como disciplina; los profesores en formación inicial, en esta parte de la intervención didáctica, realizaron textos de composición contextualizada de esas definiciones. La actividad exigía que se realizaran escritos breves donde, con significados “establecidos” para cada concepto, se respondiera a un contexto químico que los profesores debían describir.

Con posterioridad a las lecturas teóricas, se aplicaron las segundas pruebas de composición (*post-test*), a las que se denominó *pruebas de salida*; para esta actividad solo se recordó el listado de conceptos, pero no se volvieron a dar sus definiciones, para que de esta manera los profesores realizaran composiciones escritas en las que ellos atribuyeran significados a los conceptos.

Es pertinente aclarar que las pruebas de composición (tanto de entrada como de salida) se hicieron de manera grupal, conformándose nueve grupos de tres personas y uno de dos personas (para llegar así a la cifra total de veintinueve profesores en formación).

### 2.1.2. Pruebas de ensayo

Con esta prueba se pretende identificar y analizar el modelo abstracto elaborado por el profesor en formación inicial con referencia al modelo científico “normativo” de periodicidad química. El ensayo libre sobre periodicidad permite desbrozar aprendizajes más memorísticos, donde predominan autores y fechas o simplemente se resume el material de lectura, frente a aprendizajes más

significativos, donde aparece el ejercicio de repensar y emitir juicio sobre lo planteado por los autores.

La prueba apunta a escribir dentro de una temática química en particular, exhibiendo el dominio conceptual; partimos de la hipótesis de que un ensayo es un tipo textual que supone el despliegue de estrategias destinadas a reorganizar el material de partida y seleccionar y justificar lo que queda plasmado en el escrito.

Como consigna, se solicitó a los profesores en formación inicial que elaboraran un escrito de no más de dos párrafos en el construyeran una síntesis que plasmara el modelo construido por ellos en torno a la periodicidad química y la tabla periódica, utilizando los datos y elaboraciones presentadas anteriormente en las pruebas de composición.

Al igual que en el caso de las pruebas de composición, estas pruebas de ensayo tuvieron dos momentos (antes y después de una secuencia de lecturas), que nuevamente se denominan pruebas de entrada y de salida, Una diferencia importante con las composiciones radica en que estos escritos se realizaron de manera individual.

### 3. Análisis de la intervención didáctica

Los datos que se discuten a continuación son el resultado de la aplicación de unas pruebas de entrada (pre-test) y de salida (post-test) que se pasaron, en el espacio académico provisto por la asignatura *Teorías Químicas I*, a profesores y profesoras en formación inicial del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Esas pruebas fueron, como se explicó más arriba, una composición sobre la trama conceptual química “dura” en torno a la periodicidad, realizada en grupos de tres estudiantes, y una elaboración de escritos a modo de ensayo individual sobre una pregunta generadora en relación con el mismo tema. El análisis de los resultados con las herramientas teóricas descritas en las secciones precedentes permite visualizar posibles cambios en los modelos abstractos de los profesores.

Así, los resultados obtenidos en las pruebas se han clasificado, en concordancia con lo expuesto en este artículo, en *modelos abstractos intuitivos* (MAI) y *modelos abstractos teóricos* (MAT). Estos últimos, a su vez, se han categorizado en los diferentes niveles de modelización (1, 2 y 3) de la Figura 3.

#### 3.1. Análisis de las composiciones de los profesores

Estas pruebas de entrada y de salida consistían en que los veintinueve profesores en formación (organizados en nueve grupos de tres y uno de dos) elaboraran su “versión” de la ley periódica teniendo en cuenta los conceptos químicos suministrados al inicio de cada prueba (propiedades periódicas, periodicidad química, elemento, grupo, período, regla de las octavas y tabla periódica). En la prueba de entrada se entregaron definiciones “normativas” de cada uno de estos conceptos, mientras que en la prueba de salida solo se recordó el listado de conceptos sin sus definiciones.

Las composiciones elaboradas por los profesores en formación inicial, vistas a la luz del marco analítico que hemos presentado aquí, nos abren una perspectiva sobre qué versión del modelo de periodicidad química han podido construir y cómo tal versión se relaciona con el modelo científico de referencia.

Los criterios de análisis para la prueba de entrada apuntan a reconocer el uso contextual que los profesores hacen de las definiciones que les fueron suministradas; la Tabla 1 reseña los resultados de la prueba de entrada, categorizando el grado de modelización de los profesores en formación inicial.

OBJETO DE LA COMPOSICIÓN	M.A.I.	M.A.T.			Total de grupos
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Versión de ley periódica que construyen los profesores en formación con base en las definiciones de los conceptos de propiedades periódicas, periodicidad química, elemento, grupo, período, regla de las octavas y tabla periódica.	8	2	0	0	10

Tabla 1. Resultados de la prueba de entrada (composición).

Fuente: Elaboración de los autores.

OBJETO DE LA COMPOSICIÓN	M.A.I.	M.A.T.			Total de grupos
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Versión de ley periódica que construyen los profesores en formación utilizando sus propias concepciones de los conceptos de propiedades periódicas, periodicidad química, elemento, grupo, periodo, regla de las octavas y tabla periódica.	8	0	2	0	10

Tabla 2. Resultados prueba de salida (composición).

Fuente: Elaboración de los autores.

Los criterios de análisis para la prueba de salida atienden a los significados atribuidos por ellos a los conceptos químicos mencionados; la Tabla 2 recoge los resultados de la prueba de salida. La relación de los títulos de las composiciones con sus respectivos contenidos fue usada como un indicativo del foco conceptual que establecían los profesores para el tema de periodicidad, antes y después del desarrollo de tal tema en la intervención “modelizadora”.

### 3.1.1. Contrastación de las composiciones

Como se ve en la Tabla 1, caracterizamos la mayoría de los modelos iniciales elaborados por los profesores en formación frente al modelo científico de periodicidad química como modelos abs-

tractos intuitivos (MAI). Esos MAI se apoyan fuertemente en la presentación que los profesores tuvieron del tema en su educación precedente (secundaria). Si se comparan esos resultados con los de la prueba de salida (Tabla 2), el pico en el nivel de los MAI se conserva, con una ligera mejora en la calidad de los MAT.

Los futuros profesores llegan de su formación precedente con un modelo de carácter intuitivo basado en las fuentes documentales y no en los “hechos reconstruidos”; la etiqueta de periodicidad no se ha logrado relacionar con su significado profundo. No hay, por tanto, una representación de carácter abstracto que dé cuenta de la periodicidad desde lo conceptual y metodológico, solo una combinación superficial de definiciones librecas.

Este resultado puede estar justificado en el modelo de enseñanza de la química al que fueron expuestos los profesores en formación, que se puede afirmar que corresponde al tipo imperante de transmisión-repetición.

En la contrastación de resultados se logra identificar que dos grupos de profesores en formación se movieron, en la prueba de salida, a un nivel de modelización mayor, alcanzando en la escala de análisis propuesta un nivel dos, lo que quiere decir que encontraron correlaciones entre hechos y modelo que se apartan de la literalidad. Sin embargo, los profesores participantes del estudio todavía consideran los conceptos y sus definiciones como “verdades” y no como proposiciones de representación teórica. Desde el punto de vista de la naturaleza de la ciencia, la imagen de química de estos profesores continúa siendo relativamente “estática”.

La pobreza de los logros conceptuales en esta prueba nos lleva a tener en cuenta que enfrentar la tarea de expresar un modelo científico desde una composición implica una demanda cognitiva y lingüística muy alta, a la que el profesorado no ha sido expuesto de manera sostenida. Se estaba requiriendo a los profesores participantes apartarse de los libros de texto o del discurso de sus docentes para contextualizar aquello que se estaba presentando. La complejidad de la tarea aumentaba, además, por incluir la lectura comprensiva de originales históricos, algunos de ellos reseñados en fuentes en inglés.

A pesar de que los resultados obtenidos distaron mucho de lo que se esperaba tras una intervención intencionada, el análisis de contenido de las composiciones de salida permite reconocer cambios que dejan entrever un “reordenamiento” de los modelos del profesorado. Ya en ningún caso dieron respuestas de tipo “glosario” (con enunciación de sintagmas inconexos), sino que todos los grupos intentaron repensar las definiciones para integrarlas en un texto más coherente.

### 3.2. Análisis de los ensayos de los profesores

En las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados de nuestro análisis sobre los escritos tipo ensayo contruidos por los profesores en formación antes y después de las actividades centrales de la intervención didáctica, respectivamente. El objetivo principal de esta tarea estaba directamente relacionado con fomentar habilidades de lectura y escritura científicas de los profesores en formación en un tema específico de química. Apoyándonos en las (leves) mejoras en los modelos obtenidos, estimamos que tal objetivo se cumple parcialmente.

OBJETO DE LOS ENSAYOS	M.A.I.	M.A.T.			Total de profesores
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Los modelos construidos a partir de procesos de enseñanza del modelo científico de periodicidad química en niveles de enseñanza anteriores (escuela media vocacional del sistema educativo colombiano).	18	8	3	0	29

Tabla 3. Resultados de la prueba de entrada (ensayo).

Fuente: Garay, 2007.

OBJETO DE LOS ENSAYOS	M.A.I.	M.A.T.			Total de profesores
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Los modelos construidos a partir del proceso de enseñanza del modelo científico de periodicidad química en el marco de la intervención didáctica apoyada en la estrategia metodológica de modelización.	12	16	1	0	29

Tabla 4. Resultados de la prueba de salida (ensayo).

Fuente: Garay, 2007.

### 3.2.1. Contrastación de los ensayos

En las pruebas de ensayo, los profesores en formación inicial debían elaborar un escrito individual de no más de dos párrafos que constituyera una síntesis que plasmara el modelo construido por ellos en torno a la periodicidad química.

Si se contrastan los resultados de entrada y salida, se puede observar que estos profesores presentaron serias dificultades para hacer un escrito que se ajustara a la consigna. En la prueba de entrada se aproximaron a la tarea desde sus comprensiones del modelo de periodicidad química obtenidas a partir de su educación secundaria; en estos textos aparecen errores conceptuales e ideas alternativas frente al tema. Por ejemplo, es una constante en el grupo investigado que se confunda el modelo de periodicidad con su representación en la tabla periódica. Por tanto, no se distingue entre la construcción del modelo y sus implicaciones en la sistematización del saber químico.

La gran cantidad de modelos abstractos intuitivos (MAI) en la prueba de entrada evidencia un manejo conceptual acotado de la temática química objeto de estudio, lo que se deriva en obstáculos para repensar aquello que se desea mostrar en este escrito.

Como en el caso de las composiciones, parece sensato suponer que una transmisión verbal de contenidos programáticos, sin referentes históricos ni contextualización, atenta contra poder volcar en el modelo una integración de los aspectos conceptuales y metodológicos.

Hay también profesores que lograron alcanzar niveles diferentes de modelización en la prueba de entrada o que pasaron de MAI a MAT en la prueba de salida. Esto refleja la inclusión

de elementos tales como la postura del autor o la revisión crítica del material teórico que se utiliza como insumo.

Para los profesores en formación inicial que en sus ensayos establecieron una relación uno a uno entre el modelo y la realidad (MAT de nivel 1), no existen variaciones posibles del modelo de periodicidad; no alcanzan a reconocer los propósitos de la postulación del modelo que guían la selección de “grados y aspectos” que se van a modelizar.

Los profesores que lograron un nivel de modelización 2 son aquellos que pueden recuperar la idea de que los modelos remiten *mediadamente* a objetos o eventos del mundo real; sus modelos abstractos develan a una estructura conceptual y metodológica elaborada con rigor académico, pero con poca flexibilidad.

Aplicada la estrategia metodológica se esperaría que los profesores en formación inicial reconstruyeran sus modelos y que en el ensayo de salida se reflejaran cambios. Los resultados muestran que efectivamente existen tales cambios en algunos de los sujetos; sin embargo, es de resaltar que, aun después de implementada la estrategia de modelización, muchos de estos conservan modelos abstractos intuitivos o no avanzan en el nivel de modelización de sus MAT.

Nuevamente podemos buscar explicación a esto en la naturaleza misma de la estrategia metodológica utilizada para acercar a estos profesores en formación al modelo científico. La propuesta de “hablar y escribir química”, en la que los profesores tienen que leer, repensar lo leído, escribir un texto original y releer y repensar este texto, resulta muy demandante y extraña al “contrato didáctico” instituido.

La presentación del modelo teórico de periodicidad química, entendido como objeto de estudio dentro de los procesos de formación de los futuros docentes de esta ciencia, no solo implicaba volverlos a acercar, desde un mayor nivel de complejidad, a ideas químicas muy elaboradas, sino que también suponía introducirlos en el mundo de la epistemología y la historia de la ciencia, prácticamente desconocido para ellos. Por tanto, y teniendo en cuenta todos estos obstáculos que se presentan, resulta auspicioso encontrar que un número no menor de profesores lograron niveles de modelización superiores al del MAI. Cabe recordar, sin embargo, que, tanto en la prueba de entrada como de salida, la mayoría de los ensayos presentados por los profesores en formación se mantuvieron en la categoría de modelos abstractos intuitivos.

La “progresión” en los ensayos de algunos de los profesores permite identificar procesos de construcción y reconstrucción como los que hemos caracterizado teóricamente más arriba, de los cuales se tiene indicio a través del análisis de contenido de los textos recogidos (Garay, 2007). Los profesores van avanzando paulatinamente hacia modos de modelización diferentes en los que ya están habilitadas algunas transformaciones.

## A modo de conclusión

La muy marcada tendencia de los profesores en formación inicial a construir modelos abstractos intuitivos aun después de una intervención didáctica diseñada *ex profeso* indica la persistencia de un modo de operar: ellos ejecutan sobre el input teórico una elaboración “reductiva”, que mayor-



mente repite conceptos eruditos sin someterlos a una instancia de crítica.

Por otra parte, la mejora de algunas de las pruebas realizadas por los profesores en formación post-intervención deja entrever que existe un cambio en sus modelos abstractos cuando ellos consiguen establecer relaciones más sustantivas entre hablar, leer y escribir en química. Operaciones propias de la lectura crítica, como la reorganización y jerarquización de la información o la rescritura en nuevo contexto, parecen necesarias para “expresar” un modelo construido a partir del input del modelo teórico erudito trabajado en las clases.

En una visión de conjunto, creemos que nuestros resultados dan apoyo a una tesis muy extendida en la actual didáctica de las ciencias experimentales: que la formación inicial de profesores de química debería incluir un fuerte componente metacientífico que acompañe la construcción y reconstrucción de los modelos abstractos. Si entendemos la modelización como una mediación para la aplicación de teorías químicas en el mundo material, la inclusión de una fuerte perspectiva histórico-epistemológica en la clase puede hacer que los futuros profesores queden mejor preparados para repensar el “componente teórico” de la ciencia, considerándolo una “conquista humana” que los currículos de ciencias prescriben transmitir a las nuevas generaciones.

La estrategia didáctica innovadora para la enseñanza de la periodicidad química que presentamos en este trabajo está fundamentada en tres componentes: 1. pensar con modelos; 2. leer, escribir y hablar con los lenguajes específicos de la ciencia; y 3. reflexionar metateóricamente sobre la química como actividad. Al volver al proceso completo con estas ideas, identificamos numerosas falencias de tipo conceptual en los profesores en formación, que las actividades presupuestadas pudieron subsanar solo muy parcialmente. En este artículo trabajamos con la idea de que nos resulta absolutamente necesario clasificar los modelos de los profesores participantes para encontrar maneras de intervenir en la línea de modificar tales modelos desde lo conceptual y metodológico.

### Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 1-9.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A semantic view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1612.
- Adúriz-Bravo, A. (2014). Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. En M.R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, pp. 1443-1472. Dordrecht: Springer.
- Adúriz-Bravo, A. (2018). Argumentación basada en modelos desde la perspectiva de la epistemología y la historia de la ciencia. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*, núm. extra, 1-6.
- Adúriz-Bravo, A., e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, 40-49.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo-Aymerich, M., y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 465-476.

- Adúriz-Bravo, A., Labarca, M., y Lombardi, O. (2014). Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química. En C. Merino, M. Arellano y A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguajes* (pp. 37-49). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Arcà, M., Guidoni, P., y Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia: Cómo empezar: Reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- Camacho González, J., Colicoy, N., Morales Orellana, C., Rubio García, N., Muñoz Guerrero, T. y Rodríguez Tirado, G. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 196-212.
- Clement, J., Brown, D. E., y Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11(5), 554-565.
- Driver, R., Guesne, E., y Tiberghien, A. (Eds.). (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Felipe, A., Gallareta, S. y Merino, G. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(3).
- Galagovsky, L., y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 232-242.
- Gallego, R. (2004). Un concepto epistemológico del modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 301-319.
- Garay, F. (2007). Modelos abstractos en la formación inicial de profesores: Constructos en la enseñanza/aprendizaje de periodicidad química. *Disertación*. 214f. Maestría en Educación, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Garay, F., Gallego, R., y Pérez Miranda, R., (2006). Un análisis histórico-epistemológico de los trabajos de Mendeleiev sobre la periodicidad química. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 20, 110-123.
- García Rovira, M. P. (2005) Los modelos como organizadores del currículo en Biología. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VII Congreso*.
- Giere, R. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K. (1993). *Models and modelling in Science education*. Hatfield: Association for Science Education.
- Gilbert, J. K. (2002). Moving between the modes of representation of a model in science education: some theoretical and pedagogic implications. *Conference Philosophical, Psychological, Linguistic Foundations for Language and Science Literacy Research*, University of Victoria, Canada.
- Gilbert, J. K. (2004) Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, J. K. (2010) The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1), Foreword, 2.
- Gilbert J. K., y Justi R. (2016) *Modelling-based teaching in Science education*. Switzerland: Springer
- Gobert, J., y Buckley, B. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *Internacional Journal of Science Education*, 22, 891-894.
- Gómez, A. (2005). *La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escolar*. Tesis. Facultad de Ciencias de la Educación Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. Tesis Doctoral. Bellaterra: UAB.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., y Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in Science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique*, 42, 8-18.

- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto “modelo mental”: Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226.
- Harrison, A., y Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Izquierdo-Aymerich, M., Sanmartí, N., Espinet, M., García, M. P., y Pujol, R. M. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, 79-92.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. J. Perales y P. Cañal (Comps.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, pp. 35-64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M., y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school Science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Izquierdo-Aymerich, M., y Adúriz-Bravo A. (2005) Los modelos teóricos para la ciencia escolar: Un ejemplo de química. *Enseñanza de las Ciencias*, nº Extra VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 1-4.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2014). Los modelos teóricos en la “enseñanza de ciencias para todos” (ESO, nivel secundario). *Bio-grafía: Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7, 69-85.
- Jiménez-Alexandre, M. P., y Sanmartí, N. (1997). ¿Qué ciencia enseñar?: Objetivos y contenidos en la educación secundaria. En L. del Carmen y M. J. Caballer (Eds.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*, pp. 30-35, Barcelona: Horsori.
- Jiménez-Alexandre, M. P. (2010). *Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 173-184.
- McComas, W., Clough, M., y Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. En W. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, pp. 3-39. Dordrecht: Kluwer.
- Moreira, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. *ABRAPEC*, 2(3), 36-56.
- Osborne, R.J., y Gilbert, J.K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*, 15(6), 376-379.
- Rodríguez Palmero, M.L., Marrero Acosta, J., y Moreira, M.A. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: Una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitario, *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(3), 243-268.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71-87.
- Vosniadou, S., y Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.