

Inclusión Digital y Enseñanza de las Ciencias

Aprendizaje de competencias
del futuro para promover el desarrollo
del Pensamiento Científico

Mario Quintanilla-Gatica • Marja Vauras
Compiladores



GRECIA
Laboratorio de Investigación
en Didáctica de las
Ciencias Experimentales



Inclusión Digital y Enseñanza de las Ciencias

Aprendizaje de competencias
del futuro para promover
el desarrollo del Pensamiento Científico

Mario Quintanilla-Gatica
Marja Vauras

Compiladores

Autores/Colaboradores

Leonardo Abella P., Susana Abella P., María M. Álvarez L., Xavier Álvarez L.,
Manuel Caeiro R., Jenny Castelblanco C., Catalina Contreras M., Norbert Erdmann,
Mirjamaija Mikkilä-Erdmann, Gimena Fussero, Álvaro García M., Bastián Ibáñez L.,
Carol Joglar C., Alberto Labarrere S., María Lorenzo R.,
Miguel Manzanilla C., Maricel Occeci., Jaime Oyarzo E., Uxío Pérez R.,
Mario Quintanilla G., Mariano Rodríguez M., Núria Solsona P., Nora Valeiras.



CONICYT
Comisión Nacional de Investigación
Científica y Tecnológica



FACULTAD DE EDUCACIÓN
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE



BellaTerra
Sociedad Chilena de Didáctica,
Historia y Filosofía de la ciencia



GRECIA
Laboratorio de Investigación en
Didáctica de las Ciencias Experimentales



red
latinoamericana
de investigación en Didáctica
de las Ciencias Experimentales

Inclusión Digital y Enseñanza de las Ciencias

Aprendizaje de competencias
del futuro para promover
el desarrollo del Pensamiento Científico

Compiladores

Mario Quintanilla-Gatica
Marja Vauras

Asistente de edición

Rodrigo Páez Cornejo

Comité Editorial Científico Internacional

Leonor Bonan (Universidad de Buenos Aires, Argentina)
Isabel Martins (Universidad Federale do Río de Janeiro, Brasil)
Macarena Soto (Universidad Católica de Chile, Chile)
Yefrin Ariza (Universidad Católica del Maule, Chile)
Carla Hernández (Universidad de Santiago de Chile, Chile)
Silvio Daza (Instituto Universitario de la Paz, Colombia)
José Pereira (Universidad Nacional de Costa Rica)
Adrianna Gómez (CINVESTAV, México)
Rufina Gutiérrez (Universidad Autónoma de Barcelona, España)
Marja Vauras (Universidad de Turku, Finlandia)
Norbert Erdmann (Universidad de Turku, Finlandia)
Mirjamajja Mikkilä-Erdmann (Universidad de Turku, Finlandia)
Eero Sormunen (Universidad de Tampere, Finlandia)

Producto científico del Proyecto AKA EDU-03,
patrocinado por la Comisión Nacional de Investigación Científica
y Tecnológica (CONICYT) de Chile y la Red Latinoamericana de Investigación
en Didáctica de las Ciencias (REDLAD).

Santiago de Chile
2019

INCLUSIÓN DIGITAL Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Aprendizaje de competencias del futuro para promover el desarrollo del Pensamiento Científico

Director de la obra: Mario Quintanilla Gatica.

Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias (Bellaterra).

Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias (GRECIA).

Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Autores/Compiladores

© Mario Quintanilla-Gatica

Marja Vauras

De esta Edición:

© Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias.

Toesca 2946, Oficina 309, Santiago de Chile.

Teléfono (56)-(2) 226890028

www.sociedadbellaterra.cl

1ª edición: Septiembre 2019.

ISBN: 978-956-09033-7-2

Editorial Bellaterra Ltda.

Asistente de edición: Prof. Rodrigo Páez C.

Revisión de estilo y corrección literaria: María Eugenia Pino Q.

Diseño de cubierta y diagramación: María Eugenia Pino Q.

Impresión: Andros Impresores Ltda.

Impreso en Santiago de Chile.

Para fines comerciales, quedan rigurosamente prohibidas, bajo sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de ésta, por cualquier medio, tanto si es electrónico como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del copyright. Si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra, diríjase a: www.sociedadbellaterra.cl

Todos los Derechos Reservados.

ÍNDICE

Prólogo	13
<i>Alberto Labarrere Sarduy</i>	
Presentación	15
<i>Mario Quintanilla-Gatica</i>	
CAPÍTULO 1	
Alfabetización científica e inclusión digital	23
<i>Jaime Oyarzo</i>	
CAPÍTULO 2	
Competencias digitales y prácticas científicas	
Una guía tecno-educativa para la enseñanza de las Ciencias Naturales en Educación Primaria.	43
<i>Gimena Fussero, Alberto Labarere, Miguel Manzanilla</i> <i>Mario Quintanilla-Gatica, Norbert Erdmann, Mirjamaija Mikkilä-Erdmann</i>	
CAPÍTULO 3	
Acerca de la búsqueda y gestión de información científica en Internet	
Un estudio sobre el aprendizaje de las Ciencias Naturales a través de recursos digitales	65
<i>Bastián Ibáñez, Carol Joglar, Mario Quintanilla-Gatica,</i> <i>Norbert Erdmann, Mirjamaija Mikkilä-Erdmann</i>	
CAPÍTULO 4	
Actitudes hacia la enseñanza de competencias de consulta en línea	
Su relación con la formación del profesorado	85
<i>Mariano Rodríguez, Mario Quintanilla-Gatica,</i> <i>Norbert Erdmann, Mirjamaija Mikkilä-Erdmann</i>	
CAPÍTULO 5	
Modelizar, pensar y representar Ciencias Naturales con TIC	105
<i>Maricel Ocelli, Nora Valeiras</i>	
CAPÍTULO 6	
Las Tecnologías de la Información y la Comunicación y las diferencias de género	
Aportes para repensar la enseñanza de las ciencias	125
<i>Núria Solsona</i>	
CAPÍTULO 7	
La inclusión de recursos digitales para la enseñanza de la Química	
Qué se ha hecho y qué falta por hacer - Un estado del arte	147
<i>Leonardo Abella</i>	

CAPÍTULO 8	
Modelización en Ciencias Naturales mediante el uso de TIC-SIG para la inclusión en el aula	169
<i>Susana Abella</i>	
CAPÍTULO 9	
El Videojuego y la enseñanza de las ciencias	195
<i>Leonardo Abella, Jenny Castelblanco, Álvaro García</i>	
CAPÍTULO 10	
Pensamiento Científico y Pensamiento Computacional	
Una experiencia en formación inicial del profesorado	233
<i>María Álvarez, Xavier Álvarez, Manuel Caeiro, María Lorenzo, Uxío Pérez</i>	
CAPÍTULO 11	
Evaluación de la confiabilidad de las páginas web enfocadas a las Ciencias Naturales	
La experiencia de estudiantes de sexto básico en Chile	255
<i>Carolina Contreras, Carol Joglar, Norbert Erdmann, Mirjamaija Mikkilä-Erdmann</i>	
REFLEXIONES	
Relatos de experiencias docentes en el Proyecto AKA-EDU/ 03	269
AUTORES Y AUTORAS	277

CAPÍTULO 5

MODELIZAR, PENSAR Y REPRESENTAR CIENCIAS NATURALES CON TIC

Maricel Occelli, Nora Valeiras*

Contenido

- Resumen
- Introducción
- Justificación teórica
- Enseñanza de las ciencias y modelización
- Las TIC y la modelización en la enseñanza de las ciencias
- Los videojuegos y la modelización
- Las experiencias de aprendizaje
 1. *El videojuego Kokori y el metabolismo celular*
 2. *Modelización con animación digital y la división celular*
- Proyecciones y conclusiones
- Referencias bibliográficas

(*) Profesora visitante del proyecto AKA EDU-03, 2018 y 2019.

Resumen

En este capítulo nos referimos a la práctica científica de la modelización en ciencias naturales, la cual ha sido ampliamente abordada desde la producción académica. Se propone una perspectiva que asume al aprendizaje como un proceso social y que en él se ponen en juego diferentes medios, entre los cuales tienen lugar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). En particular, discutimos cómo las tecnologías fomentan procesos vinculados a la modelización, al razonamiento y a la representación del conocimiento científico. Desde la enseñanza de las ciencias, la incorporación de la modelización puede ser un modo de aproximación a la actividad científica ya que fomenta el desarrollo de habilidades intelectuales potentes, que promueven la comprensión del mundo natural. La modelización es una forma de representar sistemas incluyendo diversos elementos lingüísticos o iconográficos. Se entiende a los modelos como construcciones mediadoras entre el campo teórico y el campo empírico y que, por lo tanto, permiten la exploración de ambos dominios. A su vez, la modelización, además de la construcción y uso de modelos, incluye el uso de otras representaciones y su comunicación con elementos visuales. Por su parte, las representaciones se construyen a partir de diversos registros semióticos y pueden crearse bajo varios soportes, como por ejemplo, en el formato de dibujos, maquetas, imágenes digitales entre otros. Nos enfocamos en cómo las TIC pueden mediar la expresión e interacción con modelos en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, aportando el análisis de dos experiencias educativas referidas a temáticas de biología celular. Los resultados de ambas experiencias muestran las características de diseños didácticos, que al incorporar tecnologías fomentan un pensamiento basado en modelos.

Introducción

En los últimos años se ha enfatizado en la importancia de orientar la enseñanza de las ciencias para que las y los ciudadanos puedan comprender los fenómenos de su entorno y tomar decisiones fundamentadas ante debates o disyuntivas que implican cuestiones científicas, tecnológicas, ambientales y sociales. Para ello, resulta esencial que la educación en ciencias promueva la comprensión de las prácticas científicas, entre las cuales la modelización se destaca por su potencialidad teórica y metodológica.

La modelización como práctica científica ha sido muy estudiada por la comunidad académica, lo cual ha permitido poner de manifiesto su importancia a la hora de

pensar en la educación científica (Couso, 2014; Gilbert y Justi, 2016). Nuestra contribución a esta discusión proviene de enriquecer el abordaje didáctico de esta práctica científica a partir de integrar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), las cuales se presentan como herramientas potentes que abren nuevas oportunidades para el diseño de ambientes de aprendizaje en ciencias.

Comenzamos este capítulo situando nuestra perspectiva teóricamente, a través de un diálogo de ideas y proposiciones provenientes de diferentes campos como la filosofía de las ciencias, la tecnología educativa y la didáctica de las ciencias. Delimitamos conceptos y exponemos las perspectivas desde las cuales la modelización, los razonamientos y las representaciones de los conocimientos científicos pueden ser potenciados con la mediación de las TIC.

Seguidamente, a modo de aporte tanto para prácticas de enseñanza como para la investigación, analizamos dos experiencias que integran recursos tecnológicos para el abordaje de modelos teóricos científicos. La primera de ellas aborda el proceso de metabolismo celular e incorpora la utilización del videojuego educativo *Kokori*, y la segunda propone la modificación de una técnica de rodaje, como lo es el *stopmotion*, para la temática de mitosis o división celular.

Justificación teórica

Las TIC constituyen herramientas con las cuales es posible pensar, imaginar y crear. La perspectiva teórica desde la cual se asume dicha posibilidad reconoce a los seres humanos como personas que piensan con y a través de herramientas, en colectivos constituidos por humanos-con-medios (Villarreal y Borba, 2010). Esta perspectiva teórica implica asumir que el aprendizaje es un proceso social y que en él se ponen en juego diferentes “medios”, es decir, herramientas, instrumentos, dispositivos, artefactos u objetos tecnológicos (materiales o simbólicos). De este modo, las tecnologías pasan a tener rol como mediadoras de los procesos epistémicos, y por lo tanto resultan de especial interés para la modelización, el razonamiento y la representación del conocimiento científico.

La modelización es una forma de representar sistemas incluyendo diversos elementos lingüísticos o iconográficos. Se entiende aquí a los modelos como construcciones representacionales mediadoras entre el campo teórico y el campo empírico y que por lo tanto permiten la exploración de ambos dominios (Giere, 2005; Adúriz-Bravo y Ariza, 2014; Lombardi, 2010). De modo que un modelo

puede interpretarse como objetos abstractos cuyas estructuras pueden ser similares a los aspectos de los objetos y procesos del mundo “real”. Esto significa que las relaciones entre el modelo y los objetos o procesos de la realidad son de similitud y no de correspondencia, y se establecen a través de consideraciones teóricas (Giere, 2005). En este sentido, los modelos se construyen y modifican con el objetivo de proporcionar interpretaciones y predicciones sobre fenómenos compatibles con los conocimientos teóricos y datos empíricos existentes. A su vez, en la construcción de modelos se producen diálogos continuos en los que se ponen en juego procesos de teorización, experimentación y argumentación. Así, tiene lugar un análisis comparativo entre las predicciones de los modelos con los datos empíricos sobre los sistemas modelados, de modo que se pueda –a partir este proceso– establecer una aceptación, mejora o rechazo de los modelos analizados (Giere, 2001).

En la producción de conocimiento científico en ciencias naturales se advierte que la modelización tiene lugar en todos los contextos identificados por Echeverría (1995) para la actividad científica: innovación, aplicación, evaluación y educación. En este sentido Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) indican que la ciencia elabora modelos teóricos para resolver problemas científicos, los cuales pueden surgir como transformación de modelos anteriores o como estructuras totalmente nuevas. Cuando estos modelos se establecen, pueden ser utilizados para la explicación de hechos problemáticos mediante razonamientos abductivos y analógicos, los cuales permiten subsumir un fenómeno o caso en estudio bajo un modelo teórico, en virtud de que se le reconoce un parecido de familia entre el fenómeno y el modelo que puede explicarlo (Adúriz-Bravo, 2017). Este proceso de vincular datos y modelo, nuevos fenómenos, datos empíricos o conocimientos teóricos puede llevar a revisar el modelo, ajustarlo o mejorarlo de modo sustantivo.

Por otra parte, tanto en la construcción como en la comunicación del conocimiento científico interactúan dispositivos o “inscripciones” en los términos definidos por Bruno Latour (1986), es decir, como herramientas representacionales que pueden complementarse o superponerse. Así, se construyen nuevos conceptos a través de un proceso de razonamiento recursivo que incluye la visualización, su representación (con dispositivos materiales o simbólicos) y su registro. En las aulas de ciencias, puede suceder un proceso epistémico similar cuando los estudiantes, a partir de sus recursos conceptuales y de representación, tienen el reto de visualizar, desarrollar y justificar explicaciones para los fenómenos o patrones observados (Tytler *et al.*, 2013). Entendemos a la visualización como el

proceso complejo mediante el cual las y los científicos desarrollan o producen imágenes, esquemas y representaciones gráficas que pueden referirse tanto a objetos que se cree que tienen algún tipo de existencia material o física, como a constructos puramente mentales, conceptuales y abstractos. En este contexto proponemos a la visualización como una práctica científica que constituye un aspecto esencial en la modelización del conocimiento (Evagorou *et al.*, 2015).

Desde la enseñanza de las ciencias, se plantea que la incorporación de la modelización puede ser una puerta de aproximación al razonamiento científico, fomentando el desarrollo de habilidades intelectuales potentes que promueven la comprensión del mundo natural (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Aragón *et al.*, 2018). El razonamiento científico depende de tres formas específicas de conocimiento: el conocimiento de los conceptos específicos del dominio en cuestión; el conocimiento del procedimiento, es decir, la metodología que se utiliza para conocer; y, por último, el conocimiento epistémico que es el conocimiento de las construcciones y valores epistémicos y de cómo éstos se utilizan para justificar las afirmaciones de la ciencia. Tomando esta distinción, Kind y Osborn (2017) sintetizan seis estilos de razonamiento científico que han sido identificados desde la historia de la ciencia: matemático deductivo, evaluativo experimental, de modelación hipotética, de categorización y clasificación, probabilístico y de razonamiento histórico evolutivo. Estos estilos de razonamiento tienen lugar en los procesos de modelización; de hecho, se podría decir que un razonamiento basado en modelos abarca la mayoría de los tipos de razonamiento científico, los unifica y correlaciona en la noción de un modelo. Así, por ejemplo, mediante procesos inductivos se generan modelos basados en datos empíricos, principios teóricos o ecuaciones matemáticas, o se justifican explicaciones y predicciones en base a los modelos utilizados mediante procesos deductivos (Develaki, 2017). De manera que enseñar ciencias a través de la modelización es una manera de acercar al estudiantado a los modos del pensamiento científico.

Al respecto Agustín Adúriz-Bravo (2015) enfatiza la potencialidad del pensamiento “basado en modelos” para la enseñanza de las ciencias naturales desde una perspectiva modelo-teórica. El autor propone un modo de pensamiento que surge de una mixtura entre el “pensamiento lógico” relacionado a la estructura sintáctica de las disciplinas y validado en el contexto de justificación y, el “pensamiento narrativo” vinculado a los aspectos argumentativos de la actividad científica y a su construcción histórica, por lo que tendría lugar en el contexto de descubrimiento. Así, el pensamiento basado en modelos, que surge como

un tercer modo y que podría semejarse a un “híbrido” entre los dos anteriores, se sustenta en un razonamiento que postula hipótesis desde un modelo teórico (razonamiento abductivo). El modelo teórico permite la interpretación de las situaciones y da lugar a razonamientos hipotéticos que incluyen la construcción de predicciones contrastables y su evaluación crítica. En este capítulo buscaremos argumentar cómo este tercer modo de pensamiento puede medirse con el uso de las TIC en clases de Ciencias Naturales. Pero antes de abocarnos directamente a esta sinergia entre la perspectiva modelo-teórica y las potencialidades que proveen las TIC brindaremos una ubicación de esta discusión en el campo de la didáctica de las ciencias.

Enseñanza de las ciencias y modelización

La modelización en la enseñanza de las ciencias ha sido abordada y discutida de modo prolífero. A fin de contextualizar nuestro aporte desde este capítulo, reseñamos brevemente a continuación las perspectivas didácticas desde las cuales se puede pensar la modelización.

Como ya hemos expresado, trabajar la modelización en clases de ciencia es un modo de aproximar al estudiantado a la actividad científica. Resulta importante destacar que en la historia de la didáctica de las ciencias se registran numerosas corrientes curriculares y didácticas para acercar a las y los estudiantes al trabajo científico, dentro de las cuales se encuentra el enfoque denominado IBSE (*Inquiry-Based Science Education*), por sus siglas en inglés, que podría traducirse como “enseñanza de las ciencias como indagación” o “enseñanza de las ciencias centrada en la indagación”. Al respecto, Digna Couso (2014) analiza críticamente las diferentes formas que ha tomado este enfoque en la enseñanza de las ciencias e indica cómo la discusión en este campo ha reorientado la mirada hacia la “indagación centrada en la modelización” (*Model-Based Inquiry, MBI*). Esta última propone la actividad de indagación para la generación, utilización y revisión de modelos. Así, los modelos que se construyen desde esta perspectiva no son solo descriptivos o empíricos, sino interpretativos y conjeturales. Por lo tanto, permiten poner en juego razonamientos que vinculan evidencia empírica con construcciones teóricas.

Por su parte, Gilbert y Justi (2016) exponen los diferentes modos en que se ha hecho referencia a la enseñanza de las ciencias a través de la modelización, y distinguen dos perspectivas distintas que en ocasiones se han utilizado de modo erróneo como sinónimos, quizás al reducirse a sus siglas en inglés. La primera

de ellas es lo que podría traducirse como “enseñanza basada en modelos” (*Model-Based Teaching, MBT*) y se vincula al proceso de enseñanza en el cual los modelos son proporcionados por la/el docente, el libro de texto o cualquier otra fuente, y en la cual dichos modelos son utilizados por el estudiantado en diversas actividades. La segunda perspectiva, puede traducirse como “enseñanza basada en la modelización” (*Modelling-Based Teaching, MBT*) y refiere a un proceso educativo en el que los estudiantes participan en la modelización de una entidad determinada.

A su vez, en función de los aportes que brinda la bibliografía referida al aprendizaje de modelos y la modelización, Gilbert (2004) caracteriza cinco enfoques educativos que no son mutuamente excluyentes sino que pueden presentarse en las aulas como un proceso que da lugar a distintos niveles de complejidad cognitiva.

- *Aprendizaje de modelos curriculares*: el foco está puesto en el contenido científico, es decir, en que los estudiantes aprendan un “producto” que podría denominarse como el modelo curricular. A su vez, para lograr este objetivo puede que se utilicen modelos de enseñanza o dispositivos desarrollados especialmente, como –por ejemplo– los modelos analógicos.
- *Aprender a utilizar modelos*: después de presentar a los estudiantes un modelo, éstos tienen que aplicarlo en contextos en los cuales el modelo también funcionará; es decir, que a partir de su estructura es posible la explicación del fenómeno o la resolución de problemas.
- *Aprender a revisar modelos*: las y los estudiantes tienen la oportunidad cambiar un modelo ya sea para aplicarlo a un contexto distinto del que se encontró inicialmente o para utilizarlo con fines diferentes de los que dieron origen al modelo.
- *Aprender a reconstruir un modelo*: el estudiantado recrea un modelo, cuya esencia ya conoce, utilizando modos de representación distintos a los que originalmente se utilizaron para expresar el modelo. Este modo creativo promueve que también se aprendan algunos detalles o relaciones del modelo que, en principio, el grupo desconoce.
- *Aprender a construir un modelo de “novo”*: una situación en la que las y los estudiantes trabajan sin conocer de antemano el modelo resultante. Esto significa que el grupo tiene que pensar en la entidad que se está modelando, haciendo y respondiendo preguntas sobre ella, expresando de la mejor manera

posible la construcción del modelo, planificando y llevando a cabo pruebas del modelo, y evaluando el resultado general.

Estas formas de aprender ciencias vinculadas a la modelización, pueden tener lugar en las aulas a través de diferentes diseños didácticos. Adúriz-Bravo e Izquierdo Aymerich (2009) proponen vincular en las clases de ciencias naturales hechos y modelos, ya sea para que las y los estudiantes reconstruyan estos modelos o para que a través de éstos puedan explicar cuestiones de interés. Desde esta perspectiva, la recreación de los modelos no se plantea como un 'redescubrimiento' de aquellas ideas complejas que requirieron siglos de trabajo, sino como una apropiación de herramientas intelectuales que se representan en el aula según el nivel de formalidad que sea necesario para cada problema y cada momento del aprendizaje.

A su vez, el trabajo áulico vinculado a la modelización puede integrar un conjunto de actividades y responder a diversos objetivos. Al respecto, Aragón *et al.* (2018) sintetizaron los aportes de diversos autores y proponen, a modo operativo, ocho categorías para analizar los objetivos didácticos que pueden tener las actividades implicadas en procesos de modelización: integrar nuevas informaciones; representar con imágenes o simulaciones o trabajar con otras ya hechas; interpretar la realidad de forma verbal; estimular la utilización de los modelos; aplicar modelos a nuevas situaciones; revisar modelos; admitir el carácter evolutivo de los modelos; gestionar la variedad de modelos disponibles y aportar ideas de manera creativa para la génesis de nuevos .

Por último, los modelos pueden expresarse en una variedad de formas o representaciones a partir de diversos registros semióticos y utilizando múltiples soportes (Evagorou *et al.*, 2015). Cuando estas representaciones son construidas por el estudiantado, se puede hablar de representaciones externas (RE). Las RE son construcciones semióticas que de modo dialéctico interactúan con las representaciones internas permitiendo su exteriorización, pero a su vez también promueven la adquisición de nuevos conocimientos. Estas expresiones concretas son creadas para comunicar, negociar significados, resolver problemas, mejorar la cognición, el razonamiento o las habilidades operativas (Adúriz-Bravo *et al.*, 2005). De esta manera, no solo se constituyen en vías para la circulación del conocimiento sino que son en sí mismas formas de conocer y aprender (Pérez Echeverría y Scheuer, 2009). Es en este sentido que los sistemas de representación generan nuevas funciones epistémicas, nuevas formas de conocer y operar sobre mundos simbólicos, permitiendo re-presentar no sólo objetos reales, sino

sobre todo mundos posibles (Pérez-Echeverría *et al.*, 2010). En particular, se pueden distinguir representaciones materiales o maquetas; representaciones visuales como imágenes, dibujos y diagramas; representaciones simbólicas/abstractas (también llamadas “modelos conceptuales”) y representaciones en simulaciones computacionales que incorporan un componente dinámico en los sistemas modelados. En este capítulo queremos enfatizar cómo las TIC pueden mediar la expresión e interacción con modelos en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, aportando análisis y experiencias vinculadas a la escuela secundaria.

Las TIC y la modelización en la enseñanza de las ciencias

Al integrar las TIC, los modelos pueden expresarse en forma de simulaciones computacionales; de hecho, las simulaciones son programas computacionales que se basan en un modelo conceptual para representar de manera dinámica el funcionamiento de un sistema o proceso determinado (De Jong y Van Joolingen, 1998). Esto significa que la base o el núcleo de la simulación es una teoría y, desde esta perspectiva, también se podría decir que, en esencia, las simulaciones computacionales son modelos teóricos (Smetana y Bell, 2012). En la programación de una simulación computacional los modelos teóricos se traducen en algoritmos y códigos que responden a un sistema de ideas y condiciones (Develaki, 2017). Estos programas permiten visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, la evolución de un sistema, la interacción entre los elementos que lo integran o las consecuencias de tales interacciones (Occelli y García Romano, 2018).

Deseamos orientar la mirada hacia dos recursos tecnológicos vinculados a las simulaciones: los videojuegos y la construcción de videos a través de la técnica de *stopmotion*. Los videojuegos son un tipo de simulación digital; combinan características “reales” de los fenómenos naturales con elementos del ámbito de la ficción e incorporan una dimensión lúdica (Lacasa, 2011), de manera que se constituyen en herramientas de interés para su incorporación en las aulas de ciencia. Por otra parte, las TIC pueden facilitar la construcción de representaciones digitales cuando son las y los estudiantes quienes deben simular un proceso natural. A continuación presentamos el análisis de dos experiencias didácticas que integran recursos tecnológicos para temáticas de ciencia y que han tenido lugar con estudiantes de escuela secundaria. Para cada caso sintetizamos la experiencia y exponemos cómo tienen lugar razonamientos basados en modelos.

Los videojuegos y la modelización

Los videojuegos se caracterizan por presentar una estructura a partir del guión de una historia en el cual interactúan cuatro cuestiones: las decisiones de quienes diseñan el juego; las formas en que esas decisiones se desplieguen según las acciones que desarrolla la persona que juega; las acciones que el/la jugador/a lleva a cabo como personaje principal de la historia y su propia proyección imaginativa sobre las y los personajes; la trama y el mundo de la historia (Gee, 2004). Por lo tanto, en el desarrollo del juego se pone en interacción un modelo teórico que orientó el diseño del videojuego con las decisiones de la o el jugador, según su comprensión de dicho modelo y sus habilidades para movilizarse en el contexto virtual ofrecido.

Se podría decir que en todo videojuego la persona que juega tiene que probar el mundo virtual, y a partir de la reflexión que sea capaz de hacer mientras experimenta ese mundo, se forma una “hipótesis” sobre lo que puede significar o sobre su funcionamiento (Ocelli y Malin Vilar, 2018). En otros términos significa que quien juega, al experimentar este mundo virtual, tiene la oportunidad de vincularse con las premisas simplificadas del modelo teórico que lo sostiene y construye una idea probable de cómo funciona. Teniendo en cuenta esta hipótesis, quien juega vuelve a probar dicho mundo para ver qué efecto produce, y trata ese efecto como retroalimentación del mundo que tiene ante sí y acepta o repiensa su hipótesis original. Es decir que el videojuego presenta oportunidades para testear las ideas que se generan acerca del modelo teórico, y promueve un tipo de razonamiento hipotético desde el cual se construyen predicciones que el propio videojuego le permite contrastar y evaluar críticamente. Por lo tanto, los videojuegos se constituyen en herramientas que exponen de modo lúdico la interacción con un modelo teórico y que exige poner en juego un pensamiento híbrido lógico-narrativo en los términos definidos por Adúriz-Bravo (2015). A continuación ejemplificamos cómo un videojuego puede ser una herramienta que permite este tipo de razonamiento; y para ello, tomamos como ejemplo un diseño didáctico que realizamos para la enseñanza de la temática “metabolismo celular”, que integra al videojuego Kokori (Ocelli *et al.*, 2015). En la literatura específica, y en particular desde nuestro grupo de investigación, se presentan otros diseños didácticos que integran videojuegos para el abordaje de temáticas de ciencias naturales que también permitirían un análisis similar al que presentamos aquí y que por otro lado podrían inspirar el diseño de otras secuencias didácticas para materias de esta área (Ocelli *et al.*, 2018). A continuación sintetizamos la propuesta seleccionada y explicitamos cómo estas actividades fomentan un pensamiento con modelos.

Las experiencias de aprendizaje

1. El videojuego Kokori y el metabolismo celular

El videojuego Kokori⁶ es una herramienta digital educativa de gráfica 3D que se desenvuelve en tiempo real y cuenta con dos escenarios. El primero es un “navegador de célula”, el cual permite a través de una estructura dinámica en 3D visitar a una célula eucariota animal y sus organelas. El segundo escenario es un videojuego con una historia de ficción ambientada en un laboratorio de nanotecnología en la isla de Pascua (Chile) y cuyo personaje principal es el investigador Mirco Farías, quien invita al jugador o jugadora a ser un “nano operador” con siete “misiones” a cumplir. Por lo tanto, el “navegador de célula” es una simulación didáctica basada en una simplificación de los modelos teóricos, que permite explicar el funcionamiento celular; y el segundo escenario plantea situaciones problema a modo de misiones, que coloca a quien juega ante la necesidad de tomar decisiones. Así, a través de resolver estas situaciones problemáticas, se aprende a utilizar un modelo teórico de modo situado (Gilbert, 2004).

En esta experiencia, propusimos a un grupo de estudiantes un trabajo con las principales ideas que explican el metabolismo celular, mediado con el videojuego Kokori (Occelli *et al.*, 2015). La propuesta se inicia a partir de una situación problemática de la vida cotidiana que exige, para su explicación, conocer cuestiones del modelo teórico del metabolismo celular; para ello les invitamos a jugar las misiones 2, 4 y 6 (Figura 1). La situación problemática propone pensar en el efecto del veneno de una araña y en las reacciones metabólicas que tienen lugar en las células como respuesta a ello.



Figura 1. Estudiantes jugando las misiones del videojuego.

6 Creado en 2009 por un grupo de investigadores del Centro Tekit de la Universidad SantoTomás, Chile.

Las situaciones presentadas en cada misión constituyen una oportunidad para poner a prueba el modelo teórico que sustenta la simulación, tal como se detalla en la Tabla 1. El videojuego proporciona una retroalimentación en función de las decisiones que se tomen, por lo que es posible evaluar diferentes hipótesis y observar la respuesta desde el modelo teórico simulado. Así, por ejemplo, en la misión 2 –que plantea la falta de energía en la célula– el modelo teórico indica que se requiere glucosa, para que a través de la respiración celular la célula obtenga energía que es almacenada en ATP. En función de esta explicación teórica se da lugar a un razonamiento del tipo “híbrido lógico/narrativo”, en el cual es posible plantear que: “Si la falta de energía es debida a la ausencia de sustancias que son necesarias para la respiración, y considerando que estas células tienen una fisiología aeróbica, entonces debería pasar que si llega glucosa a las mitocondrias, éstas –a través de un proceso de respiración aeróbico– generarán energía; mientras que si no llegan estas moléculas, la respiración no tendrá lugar y la célula morirá”.

Tabla 1. “Para cada misión se indican las actividades propuestas, la evidencias que proporciona el juego y los conceptos del modelo teórico implicado”

Misión del juego	Preguntas de reflexión propuestas para completar luego de cada misión	Hechos o evidencia empírica simulada en el videojuego	Idea del modelo teórico
<p><i>Misión 2:</i> “Falta energía en la célula, mitocondrias en problemas”. El/la jugador/a debe utilizar nano robots para transportar glucosa hasta las mitocondrias.</p>	<p>¿Dónde está la glucosa al comenzar la misión? (Observa el visor de comando). ¿Qué proceso ocurre en las mitocondrias y qué se obtiene como resultado? ¿Qué otra molécula (que no está en el juego) es imprescindible para la actividad de las mitocondrias?</p>	<p>Si le falta glucosa a la mitocondria, falta energía en la célula. Sin energía la célula no puede mantener su funcionamiento.</p>	<p>Se identifica la función de las mitocondrias en la respiración celular aeróbica y el rol del ATP (Adenosin Tri Fosfato). Se reconoce que para cualquier actividad metabólica se requiere energía, y que ésta se obtiene a través de la respiración celular.</p>

<p><i>Misión 4:</i> "Organelas dañadas". El/la jugador/a debe utilizar nano robots para transportar macromoléculas hacia las porciones del retículo endoplasmático rugoso que se encuentran dañadas.</p>	<p>¿Qué macromoléculas son necesarias para la reconstrucción de estructuras celulares? ¿Qué organelas participan en este proceso de reconstrucción? ¿Requiere energía la célula para este proceso? ¿Cómo la obtiene?</p>	<p>Si una organela está dañada no puede cumplir su función. Se requieren macromoléculas para recuperar estructuras celulares.</p>	<p>Se identifica la función del retículo endoplasmático rugoso y de las macromoléculas necesarias para las estructuras celulares.</p>
<p><i>Misión 6:</i> "Alcohol en la célula". El/la jugador/a debe utilizar nano robots para transportar macromoléculas hacia las porciones del retículo endoplasmático liso que se encuentran dañadas por un agente externo.</p>	<p>El efecto del veneno de la araña puede compararse a alguna sustancia simulada en el juego, ¿por qué? En función de lo trabajado y retomando el problema inicial de la picadura de una araña, cómo explicarías qué sucede a nivel celular, qué procesos ocurrirán en las células para reconstituirse y qué sustancias resultarían necesarias para ello.</p>	<p>Un agente nocivo provoca lisis de estructuras celulares.</p>	<p>Función del retículo endoplasmático liso ante el ingreso de una sustancia tóxica. Como síntesis se puede explicar de manera integral los procesos de necrosis celular y las reacciones de reparación.</p>

De acuerdo a lo expuesto, el videojuego se constituye en una herramienta que permite interpretar situaciones desde un modelo teórico y poner en juego un razonamiento que implica generar hipótesis, ponerlas a prueba y evaluarlas en el marco del modelo teórico; es decir que el videojuego abre oportunidades para desarrollar un pensamiento basado en modelos.

2. Modelización con animación digital y la división celular

El conocimiento científico se construye a través de representaciones, y su elaboración responde a diversas relaciones entre los signos y sus referentes conceptuales. Dicha relación puede ser de correspondencia directa o responder a reglas arbitrarias que se establecen para lograr la representación. De modo

que la RE (representación externa) es el resultado de un conjunto de reglas de composición que permiten la transformación y representación de los conceptos (Pérez Echeverría y Scheuer, 2009). En la elaboración de una RE se promueven procesos pragmáticos y epistémicos, y cuando su construcción está mediada a través de las TIC se abre un abanico de nuevas oportunidades, ya que es posible incorporar la dimensión dinámica de los fenómenos naturales. Es por ello que existe una gran cantidad de simulaciones que representan procesos naturales; sin embargo, si cada estudiante debe crear una nueva, se provoca un compromiso cognitivo mucho mayor, ya que su construcción requiere comprender en profundidad el proceso que se desea representar.

Una manera de crear simulaciones es a través de *stopmotion*, la cual es una técnica de rodaje que consiste en el registro fotográfico estático y secuencial de imágenes –dibujos, figuras, siluetas u otros objetos–, para simular su movimiento por medio de la proyección consecutiva de los registros fotográficos, utilizando algún software. Una película creada con la técnica de *stopmotion* proyecta entre 24 y 32 fotos por segundo. Por lo tanto, para generar un video de 30 segundos, se requiere contar con más de 750 fotogramas, lo cual resulta un factor limitante para su implementación en espacios escolares. Es por ello que propusimos una simplificación a través de *slowmation* (como abreviatura de *slow* y *animation*) (Ocelli *et al.*, 2017). Esta técnica requiere una menor cantidad de fotografías por segundo, simplificación que permite utilizar los recursos tecnológicos que puedan estar disponibles en un aula, como por ejemplo teléfonos móviles, *notebook* o *tablets* (Hoban, 2005). En la construcción de una animación, es necesario pensar en un guión o secuencia de movimientos que se desea representar; y, por lo tanto, es durante el diseño que se generan espacios para pensar, cuestionar, construir y reconstruir los procesos que se desea animar (Hoban y Nielsen, 2014). Considerando estas características de la creación de animaciones, a continuación presentamos cómo un diseño didáctico generado para el abordaje de la división celular, a través de su representación con *slowmation*, fomenta el pensamiento con modelos teóricos. Esta propuesta podría enmarcarse dentro de aquellas secuencias didácticas que buscan fomentar el aprendizaje de la reconstrucción de los modelos (Gilbert, 2004).

El modelo teórico de la mitosis o división celular indica que a partir de una célula se obtiene como resultado dos células idénticas. Sin embargo, quizás por el nombre que este proceso toma, “división” celular, o por la utilización de imágenes iniciales en las cuales se muestra a los cromosomas con el material genético ya duplicado, el estudiantado suele asociar erróneamente a la división celular con

una disminución en el número de cromosomas (Riemeier y Gropengießer, 2008). En la construcción de un video que simule una división celular se expone a las y los estudiantes ante el desafío de representar todo el proceso, expresando de este modo, en detalle, cómo entienden el modelo teórico en cada uno de sus estadios o fases (Ocelli *et al.*, 2017).

En la experiencia que aquí estamos compartiendo, se propuso a estudiantes de tres escuelas secundarias (14-17 años de edad) que representaran el proceso de división celular o mitosis que tiene lugar en una célula de una mosca ($2n = 4$), a través de un circuito de trabajo basado en una modificación de la estrategia “5Rs” aportada por Hoban y Nielsen (2010), en referencia a cinco instancias o fases de representación multimodales: R1) Observación de un video del proceso de mitosis; R2) Escritura del guión de la película por crear; R3) Construcción de los elementos a ser representados (cromosomas, las fibras de huso, los límites de las membranas celulares, etc.), simulación del proceso y toma fotográfica de cada estadio intermediario; R4) Construcción de la película utilizando un *software* para su edición (Monkey Jam – *Software* libre) y R5) Observación de todos los videos construidos por el grupo de clase. Para su evaluación utilizamos un cuestionario anónimo, en la cual se indagó sobre los aprendizajes promovidos y su opinión acerca de la experiencia. Asimismo, se grabó los diálogos que tuvieron lugar en los grupos de estudiantes durante todo el proceso de animación y se tomó registros fotográficos.

En función de los resultados que obtuvimos en la evaluación de la experiencia, se puede afirmar que la actividad de crear representaciones externas digitales fomentó un trabajo en detalle con el modelo teórico implicado. Por un lado, planteó la actividad de modo situado exigiendo que se represente el proceso desde una célula madre que tiene que duplicar su material genético y luego requiere un proceso de separación de cromosomas hasta producir dos células idénticas. Así, se trabajó específicamente con un aspecto del modelo que ha sido identificado como problemático para su aprendizaje desde la didáctica de las ciencias naturales. Por otra parte, mientras los grupos de estudiantes construían sus animaciones, también fue posible que el profesor identificara –en función de lo que iban representando– ésta u otras problemáticas de comprensión del modelo e interviniera a través de preguntas para orientar la autoevaluación de sus creaciones y la reubicación de las mismas hacia el modelo teórico.

Para ejemplificarlo, relatamos la situación de un grupo de tres estudiantes, quienes para construir su representación eligieron un color diferente para cada

cromosoma (verde, naranja, amarillo y negro). En determinado momento, la profesora se acerca al grupo y observa que los estudiantes están representando solo los cromosomas verde y naranja (Figura 2). A partir de ello se genera un diálogo entre la profesora y los estudiantes quienes advierten que han cometido un error; revisan junto a la docente las fotografías tomadas e identifican el momento en que salieron de la escena los cromosomas representados en amarillo y negro; discuten acerca del significado de una y otra representación y deciden cómo volver a modelar la situación para lograr obtener dos células idénticas a la que inició el proceso de mitosis. De este modo, la construcción de la representación se convierte en una oportunidad para conocer y aprender, en este caso sobre el modelo conceptual de la mitosis celular (Pérez Echeverría y Scheuer, 2009).



Figura 2. Representación creada por estudiante a partir de una célula ($2n=4$)

Proyecciones y conclusiones

En este capítulo hemos expresado los fundamentos teóricos a partir de los cuales las TIC se presentan como herramientas potentes para fomentar el trabajo de la modelización, el razonamiento y la representación de conceptos científicos en las aulas. A través de los diferentes aportes teóricos discutidos, profundizamos acerca del valor de estas prácticas científicas en la enseñanza de las ciencias y de cómo las TIC abren nuevos caminos para abordar una educación científica que fomente el razonamiento basado en modelos y de este modo provea herramientas para el análisis y la toma de decisiones fundamentadas, es decir que empodere a la ciudadanía.

A su vez, el análisis que presentamos acerca de ambas experiencias constituyen pruebas empíricas de cómo estos diseños que incorporan tecnologías fomentan un pensamiento basado en modelos; por lo tanto, reafirman los aspectos teóricos que hemos reseñado y los enriquecen desde una reflexión basada en la práctica. Por último, consideramos que las experiencias en sí mismas resultan ejemplos de diseños didácticos que pueden ser invitaciones a pensar otros recorridos posibles para la formación docente o para el desarrollo de prácticas escolares.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A.; Gómez, A.; Márquez, C. & Sanmartí, N. (2005) La mediación analógica en la ciencia escolar: la propuesta de «función modelo teórico». *Enseñanza de las Ciencias* número extra, 1-5.
- Adúriz-Bravo, A. (2015). Pensamiento “basado en modelos” en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista del Instituto de Investigaciones en Educación. Facultad de Humanidades – UNNE*, 6 (6), 20-31.
- Adúriz-Bravo, A. (2017). Pensar la enseñanza de la física en términos de “competencias”. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29 (2), 21-31.
- Adúriz-Bravo, A. & 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 (Número Especial 1), 40-49.
- Adúriz-Bravo, A. & Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Bio-grafía*, 7(13), 25-34.
- Aragón, L.; Jiménez-Tenorio, N.; Oliva-Martínez, J. M. & Aragón-Méndez, M. M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso. *Revista Científica*, 32(2).
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. XXVI *Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Huelva (Andalucía)*. Recuperado de:
http://uhu.es/26edce/actas/docs/conferencias/pdf/26ENCUENTRO_DCE-ConferenciaPlenariaInaugural.pdf
- De Jong, T. & Van Joolingen, W. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-201.
- Develaki, M. (2017). Using Computer Simulations for Promoting Model-based Reasoning. Epistemological and Educational Dimensions. *Science & Education* 26 (7–9), 1001–1027.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.

- Evagorou, M.; Erduran, S. & Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: from conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. *International Journal of STEM Education*, 2 (11).
- Gee, J. P. (2004). *Lo que nos enseñan los videojuegos sobre el aprendizaje y el alfabetismo*. Granada: Aljibe.
- Giere, R. N. (2001). A new framework for teaching scientific reasoning. *Argumentation*, 15, 21–33.
- Giere, R. N. (2005). Scientific Realism: Old and new problems. *Erkenntnis*, 1-18.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115–130.
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education, Models and Modeling in Science Education* 9. Springer International Publishing Switzerland.
- Hoban G. (2005) From claymation to slowmation: A teaching procedure to develop students' science understandings. *Teaching Science* 51(2), 26-30.
- Hoban G. & Nielsen W. (2010) The 5 Rs: A new teaching approach to encourage slowmations (student generated animations) of science concepts. *Teaching Science*, 56 (3), 33-38.
- Hoban G. & Nielsen W. (2014) Creating a narrated stop-motion animation to explain science: The affordances of "Slowmation" for generating discussion. *Teaching and Teacher Education* 42, 68-78.
- Kind, P. & Osborne, J. (2017). Styles of scientific reasoning: a cultural rationale for science education? *Science Education*, 101(1), 8–31.
- Lacasa, P. (2011). *Los videojuegos. Aprender en mundos reales y virtuales*. Ed. Morata. Madrid.
- Latour, B. (1986). Visualization and Cognition: Thinking with Eyes. *Knowledge and Society - Studies in the Sociology of Culture Past and Present*, 6, 1-40.
- Lombardi, O. (2010). Capítulo 4: Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En: Galagovsky, L. *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos*. Buenos Aires: Lugar Editorial. S.A.
- Occelli, M.; Valeiras, N. & Willging, P. (2015). ¡Los nanobots invaden la clase de biología! *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, pp. 59-66.
- Occelli, M.; García Romano, L.; Valeiras, N. & Quintanilla, M. (Comp.). (2018). *Las tecnologías de la información y la comunicación como herramientas mediadoras de los procesos educativos*. Volumen I: Fundamentos y Reflexiones. Volumen II: Recursos y Experiencias. Santiago de Chile: Editorial Bellaterra Ltda.
- Occelli, M. & García Romano, L. (2018). Las simulaciones en la enseñanza de la Biología. *Docentes conectados*, 1 (1), 3-16.
- Occelli, M. & Malin Vilar, T. (2018). Capítulo 13: "Los videojuegos: ¿Un problema de distracción o una oportunidad para aprender?" (pág. 190-208). En Occelli, M.;

- García Romano, L.; Valeiras, N. & Quintanilla, M. (Comp.). *Las tecnologías de la información y la comunicación como herramientas mediadoras de los procesos educativos. Volumen I: Fundamentos y Reflexiones*. Santiago de Chile: Editorial Bellaterra Ltda.
- Occelli, M.; García Romano, L.; Valeiras, N. & Willging, P. A. (2017). Animar la división celular (mitosis): una propuesta didáctica con la técnica de slowmation. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14 (2), 398-409.
- Pérez Echeverría, M. P. & Scheuer, N. (2009). External representations as learning tools. En Andersen, C.; Scheuer, N.; Pérez Echeverría, M. P. & Teubal, E. (Eds.), *Representational systems and practices as learning tools in different fields of knowledge* (pp.1-18). Rotterdam: Sense.
- Pérez-Echeverría, M. P.; Martí, E. & Pozo, J. I. (2010). Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educación*, 22 (2), 133-147.
- Riemeier T. & Gropengießer H. (2008). On the Roots of Difficulties in Learning about Cell Division: Process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. *International Journal of Science Education* 30 (7), 923-939.
- Smetana, L. K. & Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370.
- Tytler, R.; Prain, V.; Hubber, P. & Waldrip, B. (Eds.). (2013). *Constructing Representations to Learn in Science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Villarreal, M. & Borba, M. (2010). Collectives of humans-with-media in mathematics education: notebooks, blackboards, calculators, computers and ... notebooks throughout 100 years of ICMI. ZDM. *The International Journal on Mathematics Education*, 42(1-2), 49-62.