

Ciencias de la Ingeniería en el Siglo XXI

# Ciencias de la Ingeniería en el Siglo XXI

*Nuevos enfoques en su lógica,  
enseñanza y práctica*

Guillermo Cuadrado  
Luis Gómez  
EDITORES

ISBN 978-950



0 1789504

# **Ciencias de la Ingeniería en el Siglo XXI**

**Nuevos enfoques en su lógica,  
enseñanza y práctica**

## **Universidad Tecnológica Nacional**

Rector: Ing. Héctor Carlos Brotto  
Vicerrector: Ing. Pablo Andrés Rosso

## **Facultad Regional Mendoza**

Decano: Esp. Ing. José Balacco  
Vicedecano: Ing. Ricardo Antonio Fuentes  
Secretaria Académica: Ing. Nidia Viviana Brusadin  
Subsecretaria Académica: Ing. Ana Tinnirello  
Secretario Administrativo: Ing. Enrique Alberto Espeche  
Secretario de Extensión Universitaria: Ing. Carlos O. Mallea  
Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Esp. Ing. Gustavo José Mercado  
Secretario de Asuntos Estudiantiles: Ing. Adrián Sierra  
Secretario de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones: Ing. Jorge Abraham

## **Comisión académica evaluadora de los trabajos**

Luis Eduardo Gómez (FRM-UTN, UNCuyo)  
Guillermo Alberto Cuadrado (FRM-UTN, UNCuyo)  
Juan Redmond (U. de Valparaíso, Chile)  
Ana María Narvaez (FRM-UTN, UNCuyo)  
Carlos Bello (FRM-UTN)  
Oscar F. Orellana Estay (Univ. Federico Santa María, Chile)

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Mendoza

# **Ciencias de la Ingeniería en el Siglo XXI**

**Nuevos enfoques en su lógica,  
enseñanza y práctica**

Guillermo A. Cuadrado & Luis E. Gómez  
(Editores)

Universidad Tecnológica Nacional

2017

**Ciencias de la ingeniería en el siglo XXI. Nuevos enfoques en su lógica, enseñanza y práctica**

Editores:

Guillermo Alberto Cuadrado y Luis Eduardo Gómez

Diseño de cubierta

Guillermo José Cuadrado

Primera edición. Mendoza, 2017.

Cuadrado, Guillermo Alberto  
Ciencias de la ingeniería en el siglo XXI : nuevos enfoques en su lógica, enseñanza y práctica / Guillermo Alberto Cuadrado ; Luis Eduardo Gómez. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza, 2017.  
580 p. ; 21 x 15 cm.

ISBN 978-950-42-0177-9

1. Ingeniería. 2. Educación Superior. I. Gómez, Luis Eduardo II. Título  
CDD 620.00711

Grupo de Investigación en Matemática Aplicada a la Ingeniería y Gestión (IEMI)

Facultad Regional Mendoza,  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273, Ciudad  
M5502JMA Mendoza,  
República Argentina

ISBN 978-950-42-0177-9



9 789504 120177 9

Impreso en Argentina - Printed in Argentina  
Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723

## Índice

<b>Prólogo.</b> Guillermo Cuadrado y Luis Gómez	11
<b>Autores y Filiación</b>	15
<b>I. Matemática, Lógica, y Epistemología</b>	17
1 <i>La importancia de la simetría.</i> Dante Roberto Salatino	19
2 <i>Modelizaciones galileanas y objetos ideales.</i> Juan Redmond, Diego L. Valladares, Rodrigo López-Orellana	51
3 <i>Heurística demostrativa.</i> Luis Gómez	63
4 <i>Sobre perceptos, conceptos y fictos.</i> Oscar Orellana Estay	81
5 <i>Introducción al Cálculo Fraccional.</i> Eduardo Serdoch	103
6 <i>Las dos variantes de la inconmensurabilidad en Kuhn.</i> Juan Ernesto Calderón	121
7 <i>Análisis de datos con Lógica Difusa.</i> Matilde Césari, Nancy Ventreña, Adriana Gámbaro	129
8 <i>Propiedades y operaciones de la información en ciencia y tecnología.</i> Guillermo Cuadrado	143
9 <i>Los principales programas epistemológicos para la fundamentación de la Matemática.</i> Luis Gómez, Ana María Narvaez	169
<b>II. Enseñanza de la Ciencia y la Ingeniería</b>	181
10 <i>Un entorno adaptativo para la enseñanza.</i> Adriana Schilardi, Sandra Segura, Julio Monetti, Mariana Brachetta, Oscar León	183
11 <i>Aprendizaje por indagación en el laboratorio de Química investigando la calidad del agua.</i> Marcela Rodríguez, Viviana Brusadín, Cristina Quiroga, Marcela Forte	191

12	<i>Experiencia con sensores para la enseñanza de la Química.</i> María Cristina Quiroga, Viviana Brusadín, Marcela Forte, Marcela Rodríguez	199
13	<i>Competencia en Matemáticas y resolución de problemas.</i> Graciela Escardini, Delia L. Pujadas	209
14	<i>Articulación educativa entre Ingeniería y Sociedad y Álgebra y Geometría Analítica.</i> Ana María Narvaez, Luis Gómez	223
15	<i>Estrategias de aprendizaje para abordar contenidos de Ingeniería y Sociedad.</i> Norma Sirmovitsch, Susana Gallar	235
16	<i>Articulación entre cátedras como instrumento de mejora para el aprendizaje.</i> Patricia Vera, Rolando C. Conde	243
17	<i>El diseño instruccional y la bimodalidad en las carreras de posgrado: Experiencia en la UTN.</i> Santiago Pérez, Higinio Alberto Facchini	255
18	<i>Aprendizaje organizacional en la educación superior. Evolución del modelo de decisión.</i> Silvia Curadelli, Esteban Anzoise, Cristina Scaraffia	265
19	<i>El uso de SERVQUAL® como herramienta de decisión en cátedras electivas. El proceso de adaptación al contexto de los equipos de cátedra.</i> Cristina Scaraffia, Esteban Anzoise, Silvia Curadelli	277
20	<i>Universidad, conocimiento y desarrollo según el modelo cualitativo 'UI /Triple Hélice'.</i> Gustavo A. Masera, Javier U. Ortiz, Ricardo R. Palma	291
21	<i>Sistema de calificación con Lógica Difusa.</i> Matilde Césari, María Eugenia Stefanoni, Ricardo Césari	309
22	<i>El papel de las situaciones problemáticas en el desarrollo de las capacidades.</i> Consuelo Escudero, Sonia Beatriz González	323
23	<i>Escuela rodeada por líneas de alta tensión: lo que se observó en los niños.</i> María Gabriela Paoletti	329

<b>III. Investigaciones en Ciencias e Ingeniería</b>	<b>339</b>	
24	<i>El efecto térmico producido por la energía radiante de los teléfonos celulares.</i> José Balacco, Edgardo Sparacino, Martín Wiens, Carlos Puliafito, Néstor Manzur, David Saldeña, Ricardo Césari, Matilde Césari	341
25	<i>Evaluación y caracterización de los teléfonos celulares por su riesgo precautorio de uso.</i> José Balacco, Carlos Puliafito, Matilde Césari, Edgardo Sparacino, Martín Wiens, David Saldeña, Néstor Manzur, Ricardo Césari	355
26	<i>Estudio de factibilidad de ensayos de fatiga mediante ultrasonido por modelado numérico.</i> Carlos Bello, Cristian Carrizo	369
27	<i>Identificación de modelos predictivos de rendimiento de equipos de trabajo multidisciplinarios en ingeniería en contexto real.</i> Esteban Anzoise, Gisela Hassekief, Julio Héctor Cuenca, Hugo E. C. Baragiola, Adriana Montorzi	385
28	<i>Trabajo en equipos multidisciplinarios en contexto real. Resultados preliminares de evaluación de rendimiento.</i> Esteban Anzoise, Gisela Hassekief, Julio Héctor Cuenca, Hugo E. C. Baragiola, Adriana Montorzi	397
29	<i>Calibración estadística de instrumentos de medición para ensayos físicos y químicos.</i> Julio Ortigala	409
30	<i>Modelo atmosférico de presión para estudios operativos (MAPEO).</i> Raúl Pérez	419
31	<i>Vinculación tecnológica: Un concepto para el fortalecimiento de los SIN.</i> Rodolfo Echegaray, Gustavo Masera, Ricardo Palma	435
32	<i>Aplicación de matrices homogéneas para la obtención del modelo cinemático inverso en manipuladores robóticos industriales.</i> Alejandro Hossian, Verónica Olivera, Lilian Cejas, Roberto Carabajal, César Echeverría, Diego Rodríguez, Maximiliano Alveal	449
33	<i>Análisis de la conducta de robots navegadores en entornos de trabajo estructurados mediante la aplicación de tecnologías inteligentes.</i> Alejandro Hossian, Verónica Olivera, Lilian Cejas, Roberto Carabajal, César Echeverría, Diego Rodríguez, Maximiliano Alveal	469

34	<i>Metodología Blend aplicada a gestión de datos.</i> María Eugenia Stefanoni	487
35	<i>Nuevo método de medida del color para alimentos vegetales.</i> Matilde Césari, María Eugenia Stefanoni, Nancy Ventreira, Adriana Gámbaro, Ricardo Césari	501
36	<i>La Lacunaridad, un complemento al análisis fractal. Simple interpretación y algoritmo computacional.</i> Jesús Rubén Azor Montoya	513
<b>IV. Derecho y Ética en Ciencias e Ingeniería</b>		525
37	<i>Principios generales del Código Civil y Comercial de la Nación.</i> María Elena Sottano	527
38	<i>Consecuencias patrimoniales resarcibles cuando la persona humana sufre lesiones.</i> Silvina del Carmen Furlotti Moretti	539
<b>V. Historia de la Ciencia y la Tecnología</b>		549
39	<i>Psicología de la creatividad e historia de la ciencia: codificación selectiva en la generación de ideas en ciencias empíricas.</i> Jerónimo Torres Mateos	551
40	<i>Marie Curie: el precio de ser mujer.</i> María Gabriela Paoletti	559
41	<i>Fundamentos teóricos para una reconstrucción estructuralista del movimiento terrestre en la astronomía de Copérnico.</i> Luciano Paolo Russo	567

## Prólogo

Los cambios tecnológicos están modificando el modo de ser y hacer de las sociedades. Naturalmente, la ingeniería es fuente y a la vez destino de esas transformaciones, cuyas iteraciones también incluyen las carreras donde se forman sus profesionales. Estas últimas requieren de una debida atención, por los beneficios que prometen y porque podrían encubrir riesgos recónditos. En efecto, dirigir el interés hacia los asuntos de la tecnología para tratar de resolverlos acertadamente, determinando supuestos previos y consecuencias posibles, es una responsabilidad de las comunidades académico-científicas en general y de las facultades de ingeniería en particular.

No menos importante son las reflexiones y nuevas perspectivas que justifican cambios en los conocimientos, principios, ideas y prácticas que se enseñan en las carreras de ingeniería. Cabe señalar que desde la expansión en todo el mundo de la computación y las tecnologías de la comunicación, las personas han incrementado su interacción con la información y el conocimiento, usando aparatos y dispositivos para esos propósitos. Este hecho genera nuevas situaciones epistémicas que es necesario comprender para desempeñarse en esta nueva realidad. En ese mismo sentido, la actividad universitaria debe señalar el rumbo desde un protagonismo destacado.

A propósito de esta última afirmación, el Grupo de Investigación en Matemática Aplicada a la Ingeniería y Gestión (IEMI), de la Facultad Regional Mendoza, UTN, organiza cada dos años los Congresos Internacionales de Enseñanza de Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería (ECEFI). Esta actividad se realiza con el auspicio de la Universidad de Valparaíso (Chile) y la Universidad Nacional de Cuyo, y la colaboración de docentes de Facultades, Centros e Institutos, de esas instituciones, que han participado en el evento como organizadores, evaluadores y expositores. Además, es importante resaltar el hecho que esos académicos poseen una

estrecha relación con los docentes de la Facultad Regional Mendoza, a través de un vínculo forjado en distintos encuentros realizados en Chile y en Mendoza, en los que los Profesores Juan Redmond de la U. de Valparaíso y Oscar Orellana Estay de la U. Federico Santa María han sido destacados protagonistas.

De hecho, este IV Congreso tuvo la finalidad de reflexionar sobre la enseñanza y la práctica de las ciencias de la ingeniería. A juicio de los editores, la racionalidad y la inteligencia crecen cuando las ideas se presentan en público, en un ámbito de interacción social, cordialidad y con el diálogo directo y abierto entre los autores y los participantes. En lo que se refiere a este volumen, el mismo es el resultado de una selección de los trabajos que fueron evaluados para el IV ECEFI 2016 y algunos tienen ligeras modificaciones que introdujeron los autores por las sugerencias y críticas hechas antes o después de su exposición.

Esta publicación está organizada en cinco secciones: I. Matemática, lógica y epistemología; II. Enseñanza de la ciencia y la ingeniería; III. Investigaciones en ciencias e ingeniería; IV. Derecho y ética en ciencias e ingeniería; V. Historia de la ciencia y la tecnología. Cabe agregar que los capítulos que integran cada una de las secciones ponen de manifiesto la riqueza de temas y perspectivas contenidas en estos campos de conocimiento.

La sección I, "Matemática, lógica y epistemología", agrupa nueve capítulos referidos a problemas que fundamentan conceptos y prácticas en las ciencias de la ingeniería. Resulta oportuno destacar que los aspectos relacionados con los fundamentos disciplinares han alcanzado hoy una relevancia que los vuelve necesarios para la comprensión de ciertas asignaturas científicas que conforman los cimientos de la ingeniería y movilizan sus factores creativos. En esta sección sobresalen las contribuciones referidas a los asuntos de fundamento como: la importancia de la simetría en la ciencia; los roles que tienen en ésta los modelos, las demostraciones, las idealizaciones, los conceptos, los perceptos y los fictos.

También se destacan los programas que fundamentan la matemática o, las diferentes lógicas y cálculos matemáticos que introducen racionalidad en actividades de búsqueda y análisis de la información en ciencia y tecnología.

Para continuar, la sección II "Enseñanza de la ciencia y la ingeniería", con catorce capítulos, reúne autores que sostienen que las mejoras en la enseñanza de la ingeniería de algún modo provienen de los esfuerzos que los profesores hacen en ese sentido. Este aspecto ubica a los docentes en un rol relevante de los procesos de enseñanza-aprendizaje y los convierte en investigadores de sus propias experiencias relativas a la orientación y acompañamiento de los alumnos. La pluralidad de contenidos de estos capítulos abarca: entornos adaptativos de enseñanza; indagación y experiencias en laboratorios de Química; temas de articulación entre asignaturas; resolución de problemas, desarrollo de competencias y nuevas estrategias de evaluación.

La sección III tiene trece capítulos acerca de "Investigaciones en ciencias e ingeniería" y tiene que ver con los objetos de conocimiento propios de las ciencias de la ingeniería que los docentes, en su rol de investigadores, realizan frente al sistema institucional. Este hecho pone en evidencia la actividad de la Facultad en la producción y evaluación de tecnologías. La diversidad de temas presentados es coherente con la variedad de campos de conocimiento que atiende la Facultad Regional Mendoza. Las temáticas presentadas se relacionan con: la evaluación de la energía radiante en telefonía celular y las precauciones de uso; estudios de fatiga, ultrasonido y modelado numérico; calibración estadística de instrumentos de medición; rendimiento de equipos multidisciplinarios y la evaluación de modelos predictivos en gestión de recursos humanos. El uso de modelos también se destaca: en aplicaciones y estudios de la presión atmosférica; el movimiento de manipuladores robóticos industriales, y el análisis de la conducta de robots navegadores. También se han presentado metodologías para la gestión de datos; evaluación del color en alimentos vegetales, y la lacunaridad como complemento del análisis fractal.

Finalmente, las secciones IV "Derecho y ética en ciencias e ingeniería" y la V "Historia de la ciencia y la tecnología", si bien sólo completan cinco capítulos, exhiben la diversidad de perspectivas que convocan las ciencias de la ingeniería. La sección IV se ocupa de temas relacionados con el nuevo Código Civil y Comercial de la Nación, Ley 26.994. En tanto que la sección V se ocupa de: la psicología de la creatividad relacionada con la historia de la ciencia; la actividad de investigación y sus consecuencias en la figura de Marie Curie, y finalmente una reconstrucción del movimiento terrestre en la astronomía de Copérnico.

En las cinco secciones señaladas, el lector podrá encontrar una importante variedad de temas con enfoques novedosos, que ponen de manifiesto, entre otras cosas, el interés de los autores hacia los problemas que surgen de las ciencias de la ingeniería, así como el esfuerzo que los mismos realizan para intentar resolverlos acertadamente. Y para terminar, hay que destacar el rol como anfitriona de la Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, que hizo posible el IV ECEFI 2016 y la publicación de esta selección de trabajos.

*Guillermo Cuadrado y Luis Gómez*

Mendoza, octubre de 2017

\*\*\*

## **Autores y Filiación**

Gámbaro, Adriana; Universidad de la República, Montevideo, Uruguay  
López Orellana, Rodrigo; Universidad de Salamanca, España  
Orellana, Oscar Fernando; Universidad Técnica Federico Santa María, Chile  
Redmond, Juan; Universidad de Valparaíso, Chile

### Autores de Argentina

Alveal, Maximiliano; Universidad Tecnológica Nacional  
Anzoise, Esteban; Universidad Tecnológica Nacional  
Azor Montoya, Jesús Rubén; Universidad de Mendoza  
Balacco, José; Universidad Tecnológica Nacional  
Baragiola, Hugo E. C. ; Universidad Tecnológica Nacional  
Bello, Carlos; Universidad Tecnológica Nacional  
Brachetta, Mariana; Universidad Tecnológica Nacional  
Brusadín, N. Viviana; Universidad Tecnológica Nacional  
Calderón, Juan Ernesto; Universidad Nacional de Cuyo  
Carabajal, Roberto; Universidad Tecnológica Nacional  
Carrizo, Cristian; Universidad Tecnológica Nacional  
Cejas, Lilian; Universidad Tecnológica Nacional  
Césari, Matilde; Universidad Tecnológica Nacional  
Césari, Ricardo; Universidad Tecnológica Nacional  
Conde, Rolando C.; Universidad Tecnológica Nacional  
Cuadrado, Guillermo; Universidad Tecnológica Nacional  
Cuenca, Julio Héctor; Universidad Tecnológica Nacional  
Curadelli, Silvia; Universidad Tecnológica Nacional  
Echegaray, Rodolfo; Universidad Nacional de Cuyo  
Echeverría, César; Universidad Tecnológica Nacional  
Escardini, Graciela; Universidad Tecnológica Nacional  
Escudero, Consuelo, Universidad Nacional de San Juan  
Facchini, Higinio Alberto; Universidad Tecnológica Nacional  
Forte, Marcela; Universidad Tecnológica Nacional  
Furlotti Moretti, Silvina del Carmen; Universidad Nacional de Cuyo  
Gallar, Susana; Universidad Tecnológica Nacional  
Gómez, Luis; Universidad Tecnológica Nacional  
González, Sonia Beatriz; Universidad Nacional de San Juan



Hassekieff, Gisela; Universidad Tecnológica Nacional  
Hossian, Alejandro; Universidad Tecnológica Nacional  
León, Oscar; Universidad Tecnológica Nacional  
Manzur, Néstor; Universidad Tecnológica Nacional  
Masera, Gustavo A.; Universidad Nacional de Cuyo  
Monetti, Julio; Universidad Tecnológica Nacional  
Montorzi, Adriana ; Universidad Tecnológica Nacional  
Narvaez, Ana María; Univ. Tecnológica Nacional, Univ. Nacional de Cuyo  
Olivera, Verónica; ; Universidad Tecnológica Nacional  
Ortigala, Julio; Universidad Tecnológica Nacional  
Ortiz, Javier U., UNDEF, Buenos Aires  
Palma, Ricardo; Universidad Nacional de Cuyo  
Paoletti, María Gabriela; Universidad Tecnológica Nacional  
Pérez, Raúl; Universidad Tecnológica Nacional  
Pérez, Santiago Cristóbal; Universidad Tecnológica Nacional  
Pujadas, Delia L.; Universidad Tecnológica Nacional  
Puliafito, Carlos; Universidad de Mendoza  
Quiroga, María Cristina; Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez, Diego; Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez, Marcela; Universidad Tecnológica Nacional  
Russo, Luciano Paolo; Universidad Nacional de Cuyo  
Salatino, Dante; Universidad Nacional de Cuyo  
Saldeña, David; Universidad Tecnológica Nacional  
Scaraffia, Cristina; Universidad Tecnológica Nacional  
Schilardi, Adriana; Universidad Tecnológica Nacional  
Segura, Sandra; Universidad Tecnológica Nacional  
Serdoch, Eduardo; Universidad Tecnológica Nacional  
Sirmovitsch, Norma; Universidad Tecnológica Nacional  
Sottano, María Elena; Universidad Tecnológica Nacional  
Sparacino, Edgardo; Universidad Tecnológica Nacional  
Stefanoni, María Eugenia; Universidad Tecnológica Nacional  
Torres Mateos, Jerónimo; Universidad del Aconcagua  
Valladares, Diego L.; Universidad Nacional de San Luis  
Ventrera, Nancy; Universidad Nacional de Cuyo  
Vera, Patricia; Universidad Tecnológica Nacional  
Wiens, Martín; Universidad Tecnológica Nacional

\* \* \*

# Matemática, Lógica

## y Epistemología

## 2 Modelizaciones galileanas y objetos ideales

Juan Redmond, Diego L. Valladares,  
Rodrigo López-Orellana

**Resumen:** En este trabajo estudiamos las idealizaciones galileanas como han sido abordadas en el artículo señero de McMullin (1985) con el objeto de profundizar en las consecuencias ontológicas de este proceso fundamental que gana cada día mayor lugar en las prácticas de modelización en ciencia. Nos focalizaremos en el tipo de entidades que resultan de su operatividad —si es que hay alguna— y qué efectos tienen sobre los procesos de ganancia de conocimiento.

**Palabras clave:** modelización, idealizaciones, modelos, propiedades relevantes, simplificación, objetos, Galileo, Ernan McMullin.

*Los arquitectos tapan sus errores con enredaderas, los médicos los entierran, los físicos hacen todo esférico y sin masa (MECHETTI, Humberto, 1984, viva voce, clases de Física, Univ. de San Luis).*

### 1. Las técnicas de idealización de Galileo

La literatura general en torno a las prácticas científicas orientadas a aumentar nuestro conocimiento sobre el mundo (como la modelización, entre otras) nos informa que cierto tipo de ellas se identifica con idealizaciones. Y de entre los diferentes tipos de idealizaciones, las galileanas tendrían un rol predominante en ciertas áreas del modelamiento científico. En efecto, la noción de idealización galileana ganó un interés especial a partir del artículo señero de Ernan McMullin (1985) titulado "Galilean Idealization".

McMullin realiza un estudio sobre las técnicas de Galileo y sus implicaciones epistémicas en la ciencia. Es decir, por un lado, realiza un análisis detallado para identificar estas técnicas y definir las del mejor modo posible; por otro lado, estudia cuál es la relación de estas técnicas con las exigencias epistemológicas de la ciencia respecto de la verdad o correspondencia con los llamados hechos del mundo.

Sin embargo, McMullin reconoce desde el inicio de su artículo que la noción de idealización es imprecisa (*loose*)<sup>1</sup>. No obstante, para avanzar con su investigación, la considera del siguiente modo: una idealización es una simplificación deliberada de algo complicado que se aplica tanto a una situación como a un concepto, con el objetivo de lograr al menos una explicación parcial de ese algo. Esta idealización consiste, según el autor, en una distorsión del original o simplemente en dejar de lado ciertas propiedades o características (1985: 248). A nuestro entender esta definición es demasiado amplia. Desarrollaremos esta crítica más abajo.

La primera técnica que reconoce McMullin en Galileo es la idealización matemática. Se trata, en pocas palabras, de la utilización del formalismo matemático para describir una situación física (1985: 254). A sabiendas de que esto presupone un mundo independiente al cual el científico intenta adecuar sus esquemas de modo aproximado (*realismo tenue*):

La idealización matemática ha funcionado bien para las ciencias naturales [...] Sería peligroso argumentar hoy [...] que hay factores causales que actúan en el mundo natural que son intrínsecamente incapaces de ser capturados en condiciones físico-matemáticas. El peso del argumento inductivo está seguramente en la dirección opuesta. Pero hay que subrayar una vez más que lo que ha hecho posible esto, no es tanto la *reducibilidad* de lo físico como la *plasticidad* casi ilimitada de lo matemático (McMullin, 1985: 254. Trad. nuestra; *itálicas nuestras*).

Las dos siguientes de la lista son los *constructos idealizados* (*construct idealization*) y las *modelizaciones causales*. Ambas proceden de una distinción de la mayor importancia para nuestro trabajo. En efecto, dice McMullin que la primera proviene de una simplificación que opera sobre la representación del objeto; la segunda, sobre la situación problemática misma. Aspectos a considerar en los constructos

<sup>1</sup> "El término 'idealización', en sí mismo, es bastante flojo. Lo consideraré como una simplificación deliberada de algo complicado (una situación, un concepto, etc.) con miras a lograr, al menos, una comprensión parcial de esa cosa" (McMullin, 1985: 248. Trad. nuestra).

<sup>2</sup> "Every theoretical model idealizes, simplifies to some extent, the actual

idealizados son las idealizaciones formales, en tanto soportan leyes teóricas que explican las regularidades de la porción de mundo a explicar; y las idealizaciones materiales, donde los modelos como idealizaciones son los materiales con los cuales trabaja el científico. También están las idealizaciones causales de las que hablaremos más abajo.

Las idealizaciones, para McMullin, están estrechamente ligadas a las prácticas científicas que utilizan modelos. En efecto, McMullin se refiere especialmente a los modelos teóricos como idealizaciones. Esto es, simplificaciones de la estructura de la porción de realidad que desea conocer o, como él lo llama, el objeto a explicar o interpretar (*explanandum object*)<sup>2</sup>. Por su complejidad, una simplificación permitiría considerar solo las propiedades relevantes. Así, con esta simplificación (idealización) —que es el modelo— se infieren leyes y se explica (hasta donde se pueda) la porción del mundo que fue objeto de modelación. De este modo, afirma McMullin (1985: 258), se introduce "falsedad" en el análisis y es de nuestro total interés encontrar la manera de tener en cuenta esa falsedad y sacar provecho de ello (por ejemplo cuantificando el grado de la aproximación).

Ahora bien, según McMullin (1985: 264) esta idea de idealización y falsedad viene acompañada de un compromiso realista. Esto se pone de manifiesto cuando un modelo resulta insuficiente para explicar nuevos efectos o datos que se leen en la porción de mundo que estamos estudiando a través de ese modelo y procedemos con una mayor profundización en la idealización sobre la base del mismo modelo. Es el caso, entre otros, de la postulación de la existencia del *spin* del electrón para solucionar los problemas puestos de manifiesto por el experimento de Stern-Gerlach y que se evidencia en el efecto Zeeman. McMullin entiende que el éxito de esto último reside en la convicción (metafísica) de que el modelo original

<sup>2</sup> "Every theoretical model idealizes, simplifies to some extent, the actual structure of the explanandum object(s)" (McMullin, 1985: 258).

realmente corresponde a la realidad, es decir, que no solo es una aproximación instrumental que salva las apariencias.

Llegamos así a las idealizaciones causales. Este tipo de idealizaciones son, según McMullin (1985: 264-265), las más distintivas de Galileo. En términos generales, la idea sería la siguiente: conocer una porción de mundo supone entenderla como una red compleja (enmarañada) de líneas causales. Solo es posible lograr este entendimiento si primero estudiamos estas líneas causales separadamente y luego las combinamos. Según lo entiende McMullin, no hay esperanza de una "ciencia firme" a menos que alguien pueda simplificar el enredo, eliminando o neutralizando las líneas causales que impiden o complican el buen entendimiento de aquello que nos proponemos conocer (1985: 264).

Hasta aquí todas estas técnicas de simplificación debían permitir una materialización en forma de experimentos. Dicho de otro modo, todas estas técnicas deben permitir la realización de experimentos reales como los entendía Galileo. Considerado esta o aquella propiedad solamente (simplificando las otras) se debía poder llegar a la puesta en acto de un ejercicio práctico que condujera a lo que buscábamos (dejar caer un cuerpo, dejarlo rodar por una superficie plana, dejarlo caer dentro de una solución viscosa, etc.) Esto último es importante para entender la siguiente técnica.

En efecto, las últimas que trata McMullin son las idealizaciones subjuntivas. Estas idealizaciones tienen lugar cuando la simplificación no se realiza sino en el nivel "conceptual", como lo llama McMullin, es decir, no salimos "de nuestras cabezas". En este caso también hay una práctica científica pero como no salimos de nuestra cabeza lleva el nombre conocido de "experimento mental". Este tipo de idealizaciones no las inventó Galileo. El investigador, en su mente, se focaliza en una causa (con exclusión de las otras), y da respuesta así a la pregunta "¿qué pasaría si tal o cual cosa...?".

## 2. Observaciones críticas: la idealización como simplificación deliberada

Como señalamos más arriba, según la definición de McMullin se puede considerar como idealización un amplio espectro de ideas. A nuestro entender parece correcto decir que —acorde a esta definición— una idealización es la acción de pensar o su resultado, o ambos, y que se caracteriza por estar dirigida a un objeto u objetivo. Nuestra mente se "dirige" hacia algo (objeto u objetivo) y esta acción misma o su resultado es una idealización. De modo esquemático y en relación a la práctica científica: hay algo en el mundo que me interesa, y la mera acción de pensar en ello como "algo" es una idealización. Esto es, la idealización no es el "algo" en el mundo, sino el pensarlo como "algo". Esto último puede ganar complejidad si pensamos en ese algo como poseyendo una estructura determinada (un Modelo, por ejemplo).

Veamos más en detalle esto último: (1) hay y *considero* una porción del mundo que me interesa científicamente (objeto u objetivo de mi pensamiento), donde en general se presentan las siguientes situaciones extremas: (1.1) la porción de mundo es un conjunto de datos desconocidos, no sabemos qué significan o qué relación guardan entre ellos o cuáles son los relevantes y cuáles no [pero que normalmente provienen de haber considerado parcialmente (simplificadamente) ciertas propiedades de la porción de mundo estudiada, como son las propiedades lumínicas (electromagnéticas, etc.), acústicas, materiales, etc.]; (1.2) la porción de mundo es un conjunto de propiedades reconocibles; (2) *pienso* en ello considerando las propiedades relevantes para todos los casos, y esto último ya es una idealización. (3) este "pensar en ello" supone cierta unidad y coherencia de lo pensado. En cierto modo, y para decirlo de modo directo, este pensar en ello debe sentar condiciones de identidad: la idealización  $\alpha$  de la porción de mundo A debe poder diferenciarse de la idealización  $\beta$  de la misma A o de la idealización  $\gamma$  de G; si este pensamiento conduce (deliberadamente) a una estructura donde las propiedades consideradas en (2) toman relaciones matematizables entre sí, o proporción geométrica o permiten

una representación tridimensional, entonces estamos también frente a un tipo de idealización que puede ser identificada con un objeto abstracto. Ejemplos de estas idealizaciones serían tanto las teorías (entendidas como un conjunto organizado de ideas que explican un fenómeno, deducidas a partir de la observación [simplificada] de una porción de la realidad) como los modelos teóricos (el átomo).

En general, nos preguntamos, ¿es posible pensar en algo sino de modo simplificado? O ¿se puede pensar en algo con todas sus propiedades? Creemos que esto no descalifica el procedimiento mismo, sino que no parece un signo distintivo de este modo de pensar o considerar el mundo. Evitamos decir "representar" porque sumaríamos una noción que más que aclarar vuelve más complejo el análisis.

Volvamos sobre la idealización del mundo que nos rodea. No se trata, en todo caso, de idealizar las cosas del mundo sino del modo como las pienso (o me las imagino). Es decir, si pienso en el sistema solar, no por eso se vuelve una idealización el sistema solar mismo sino el modo en que lo pienso (la simplificación de un conjunto de esferas girando en torno a una esfera fija). Desde luego que esta distinción colapsa cuando no tengo el objeto mismo "a la vista". Es el caso del átomo: se cree en su existencia, pero sólo contamos con la idealización (el modo en que lo pensamos), es decir, el modelo "átomo". Sin embargo, la opinión generalizada es que el "átomo" se encuentra allí y es la realidad misma.

¿Pero qué agrega lo *deliberado*? Porque el calificativo de simplificado, como intentamos reflejar más arriba, no ayuda mucho. En todo caso nos parece que, de modo deliberado o no, es imposible concebir algo o considerar un situación sino de modo simplificado. Creemos que lo *deliberado* aportaría en la siguiente situación: sabiendo que las propiedades A, B y C están presentes, decido tener en cuenta A y C y descarto B por considerarla irrelevante para mis objetivos. Pero sin deliberación de igual manera pasamos muchas propiedades por alto, porque no podemos considerarlas a todas (tarea en sí misma infinita) o porque ni siquiera sabemos si están allí.

Cuando que esta deliberación está bien focalizada, creemos que más apropiado que *deliberada* sería *orientada* o *focalizada*. Es decir, las idealizaciones son simplificaciones orientadas o focalizadas de acuerdo con un objetivo específico: conocer tal o cual aspecto del mundo que nos rodea. Esto conlleva, a nuestro entender, una de las acciones más determinantes de la práctica científica: *la elección de las propiedades relevantes y el consiguiente descarte de las restantes*.

En efecto, de acuerdo con McMullin, en Galileo se trataría de una técnica que permite focalizarse sólo en las propiedades que son relevantes para el caso que estudiamos. Sin embargo, aunque suene evidente y fácil de ponerse en práctica, esto ha sido fuente de errores milenarios. ¿Cómo sabemos qué propiedades son las relevantes? Parece que en esto se juega el secreto de la producción científica. En esta elección —siguiendo a Kuhn— se juega a veces el paso de una paradigma a otro. Es el caso de Aristóteles y su consideración de la masa (peso) en el movimiento de caída libre. De suyo se le impuso al estagirita que era una propiedad relevante y por ello no debía ser "simplificada". Tuvimos que esperar casi un par de milenios hasta que Galileo descubriera que no era el caso. Pero esto será tema de otro artículo.

En visitamos literatura general más actualizada sobre el tema llegamos, por ejemplo, al artículo sobre "Modelos en ciencia" de la enciclopedia de filosofía de la universidad de Stanford (Frigg & Hartmann 2012). Allí se establece una distinción entre idealizaciones aristotélicas y galileanas. En las primeras, dice el artículo, lo distintivo es la simplificación de algo para hacerlo más tratable. Mientras que en las segundas es la distorsión de propiedades. Resumiendo: se llama *aristotélica* a la práctica que preferentemente *simplifica* los elementos del conjunto de propiedades, condiciones o características. Se llama *galileana* a la práctica que preferentemente *distorsiona* los elementos del conjunto de propiedades, condiciones o características. Siguiendo en esto a Frigg & Hartmann (2012), por ejemplo, lo que emerge de la primera son modelos como el sistema solar que solo tiene en cuenta las masas y formas (ignorando las

restantes). Ejemplo de las galileanas son los modelos que consisten en masas puntuales que se mueven en planos sin fricción, los modelos de economía en que se asumen agentes omniscientes, las poblaciones aisladas que estudian los biólogos, etc. Para esto último, el artículo reenvía a McMullin (1985) como fuente de las idealizaciones galileanas, pero no agrega nada nuevo.

### 3. A modo de conclusión: idealización y objetos

Creemos que resta aún por determinar qué tipo de cosas son estas producidas por la idealización. Si lo pensado como simplificado o distorsionado toma la forma de un conjunto de axiomas y proposiciones, entonces una teoría es una idealización. De este modo, la Geometría es una idealización. Pero si lo pensado gana una estructura que permite pensarlo como estando en el espacio y el tiempo, pues, parece justo identificar estas idealizaciones con cierto tipo de objetos abstractos. Pensar en el sistema solar como un conjunto de esferas girando unas en torno a las otras, es una idealización que bien puede ser pensada como un objeto. Incluso esto último podemos construirlo en madera y ejes de alambre, pero ya no contaría, por ejemplo, la propiedad idealizada de la esfericidad. Como es el caso también del péndulo ideal de Newton, que podemos incluso construirlo en madera y meterlo dentro de una cámara de vacío para emular las propiedades que pienso en la idealidad del original. Pero en ninguno de los dos casos parece necesario "materializarlo" para avanzar en su estudio. Pero parece un tanto diferente del caso del arquitecto pues este último, si bien piensa idealmente en el puente que desea construir, necesita de la maqueta en madera para su estudio. Esto se refleja bien en el ejemplo emblemático que presenta Weisberg (2013: 7) sobre la construcción de una represa en la Bahía de San Francisco: solo gracias a que se construyó un modelo (de más de 4000 metros cuadrados) pudo desestimarse su construcción por el impacto desastroso que tendría en el ecosistema local.

Considerar un objeto con sus propiedades distorsionadas, por ejemplo, con una capacidad de deslizamiento infinita (sin fricciones) o perfectamente esférico (otra distorsión), no parece ser lo mismo que descuidar deliberadamente ciertas propiedades del objeto por no considerarlas relevantes. Descuidar el color del material en el modelo-maqueta del arquitecto para su estudio de tensiones y resistencias en un puente frente a un tsunami, no "produce" un objeto de las mismas características que uno que proviene de la distorsión de sus propiedades. Claramente esta no inclusión del color como propiedad sería inconveniente en un modelo de paneles solares.

Postulamos que la diferencia se encuentra en que no es lo mismo considerar la masa despreciable que considerar que necesariamente el cuerpo no deba tener masa. Lo primero es una simplificación, lo segundo es una distorsión. Lo primero nos da la posibilidad de materializarlos sin alejarnos mucho de lo buscado. Lo segundo, creemos, nos proyecta en el campo de las ficciones. Los cuerpos que se desplazan sin fricción no existen, por más que yo pueda preparar un experimento de un carro que se desliza sobre un colchón de aire para que se cumplan las ecuaciones de la mecánica. Ese carro deslizándose sobre un colchón de aire no es más que un simulacro que apunta a la idealización: el objeto sin fricción. Muestra que la maqueta de madera no es un simulacro. Creemos que esto debe profundizarse pero será tema de otro artículo.

Comencemos con un caso por demás problemático en relación a la cuestión del realismo de los modelos: las propiedades de los objetos cuánticos. Los físicos, en general, entienden que tener una imagen mental o procurar una representación de las propiedades de los objetos cuánticos es imposible. Si se usan es solo con fines pedagógicos-instrumentales. La utilidad de este procedimiento con dicho propósito es bastante discutible. La Mecánica Cuántica tiene como piedra basal un modelo matemático, la Ecuación de Schrödinger. De manera axiomática se establece que la solución de esta ecuación (función de onda) contiene toda la información sobre el objeto

o sistema cuántico en cuestión. Al consultar a la función de onda sobre información del objeto, aplicándole los operadores matemáticos apropiados, aparecen propiedades como su posición, velocidad, etc. Estas propiedades poseen un escaso o nulo correlato con las propiedades de idéntica denominación en sistemas macroscópicos. Por ejemplo la propiedad "posición", en un sistema macroscópico no hay dudas de lo que significa, pero en Mecánica Cuántica parece ganar un sentido solo de modo metafórico. ¿Qué significa la posición que "posee" un objeto cuántico, si según la interpretación ortodoxa de la Mecánica Cuántica, la posición del objeto posee una infinita cantidad de valores hasta tanto y en cuanto no se realice el acto de medición? Idéntica pregunta puede realizarse sobre cualquier propiedad del objeto cuántico.

Podemos avanzar sobre la naturaleza o existencia misma de los objetos cuánticos. ¿Qué es un electrón? Decir que "es" una partícula puntual parece no ayudar mucho. Menos aun si queremos pensar en ella girando como una bailarina con un momento angular. Pero la Física nos dice que el electrón posee una propiedad, su espín, la cual proporciona una medida de su momento angular intrínseco. El momento angular está asociado con la rotación de cuerpos extensos (no puntuales) en Física Clásica, por lo que se debe agregar el adjetivo "intrínseco", para hacer menos incoherente esta imagen mental.

¿Cómo llegamos a esta situación en Física? Intentando dar respuesta a problemas que se presentaron a nivel subatómico con un modelo matemático. Un modelo que excluye cualquier tipo de imagen mental o representación de sus predicciones. La propuesta del espín explica el fenómeno que no se podía explicar de otro modo, está por encima de cualquier otra consideración. Por tanto reconocer el carácter puramente ficcional de los objetos cuánticos es la salida más coherente. Eso sí, ficciones muy particulares: ficciones que se niegan a cualquier representación mental.

## Referencias

- Frigg, Roman & Hartmann, Stephan (2012). "Models in Science". En *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/entries/models-science/>. Consulta: 29/03/2017.
- McMullin, E. (1985). "Galilean idealization". En *Studies in History and Philosophy of Science*, 16, 3, January 1.
- Weisberg, M. (2013), *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*, forthcoming from Oxford University Press.

\* \* \*