

Serie
Selección de Textos

S | T

CONCEPTOS Y LENGUAJES

en ciencia y tecnología

Guillermo Cuadrado

Juan Redmond

Rodrigo López O.

(Editores)

Serie

Selección de Textos

S | T

Universidad de Valparaíso
Facultad de Humanidades
Instituto de Filosofía

CONCEPTOS Y LENGUAJES

en ciencia y tecnología

Guillermo Cuadrado

Juan Redmond

Rodrigo López O.

(Editores)

Selección de Textos
Volumen 5

2015

SERIE SELECCIÓN DE TEXTOS

Dirección: Juan Redmond

Conceptos y lenguajes, en ciencia y tecnología

Editores: Guillermo Cuadrado & Juan Redmond & Rodrigo López O.

Primera edición. Valparaíso, 2015

© 2015 de la presente edición, Universidad de Valparaíso.

La *Serie Selección de Textos* se propone publicar, por una parte, trabajos presentados en coloquios, congresos y simposios organizados en la Facultad de Humanidades de la Universidad de Valparaíso; y por otra, la producción académica de pre y postgrado debidamente arbitrados por el claustro de profesores correspondiente.

Volumen 1 - 2013

Ciencia, Tecnología e Ingeniería. Reflexiones filosóficas sobre problemas actuales

Editores: Carlos Verdugo S. & Juan Redmond C.

Volumen 2 - 2013

Amauta y Babel. Revistas de disidencia cultural

Editores: Osvaldo Fernández D. & Patricio Guitiérrez D. & Braulio Rojas C.

Volumen 3 - 2015

Conceptos y lenguajes, en ciencia y tecnología

Editores: Guillermo Cuadrado & Juan Redmond & Rodrigo López O.

www.selecciondetextos.cl

**Este libro fue publicado con fondos del proyecto
Fondecyt Regular N°1141260**

Edición:

INSTITUTO DE FILOSOFÍA, UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

Impreso en Valparaíso, Chile. Mayo de 2015

Número de copias: 100

ISBN 978-956-358-724-1

Universidad de Valparaíso - Facultad de Humanidades
Serrano 546, Valparaíso. Chile

Universidad de Valparaíso

Rector: Aldo Valle Acevedo

Prorector: Christian Corvalán Rivera

Secretario General: Osvaldo Corrales Jorquera

Director General de División Académica: José Miguel Salazar Zegers

Director de Postgrado y Postítulo: Manuel Roncagliolo Pastene

Directora de Investigación: Marcela Escobar Peña

Director de Vínculos y Relaciones Internacionales: Alejandro Rodríguez Musso

Director de Dirección de Extensión y Comunicaciones: David Carrillo Rojas

Facultad de Humanidades

Decano: Juan Estanislao Pérez

Director del Instituto de Filosofía: Jaime Villegas Torrealba

Comité Científico Serie Selección de Textos

Adolfo Vera, Universidad de Valparaíso

Andrés Bobenrieth, Universidad de Valparaíso - Universidad de Chile

Carlos Contreras, Universidad de Chile - Universidad de Valparaíso

Elisabeth Simbürger, Universidad de Valparaíso

Felix Aguirre, Universidad de Valparaíso

José Jara, Universidad de Valparaíso

Nicolas Clerbout, Universidad de Valparaíso

Osvaldo Fernández, Universidad de Valparaíso

Shahid Rahman, Universidad de Lille 3, Francia

INDICE

PRÓLOGO	11
I. MODELOS, TEORÍAS Y OBJETOS ABSTRACTOS EN CIENCIA	
1. Solicitaciones en uniones abulonadas: modelo numérico CARLOS ALBERTO BELLO & MIGUEL MATTOLINI & FÉLIX RUIZ	17
2. La tesis de la inconmensurabilidad: ¿un problema para quién? MARÍA TERESA GARGIULO DE VAZQUEZ	35
3. Modelación numérica y resultados experimentales de un dispositivo de aislamiento sísmico GUSTAVO GIOACCHINI & MIGUEL TORNELLO & CARLOS FRAU	55
4. Los componentes de los modelos LUIS GÓMEZ	73
5. Modelación matemática para cuantificar la respuesta sísmica de un edificio aislado MIGUEL TORNELLO & ROBERTO AGUIAR FALCONI & CARLOS FRAU	83
6. Un modelo para evaluar el comportamiento de pilas de mampostería no reforzada sometidas a cargas de compresión axial NELSON D. AGÜERA & MIGUEL E. TORNELLO & CARLOS D. FRAU	107

7.	Clasificación de los modelos científicos usando una modificación de la teoría de los tres mundos de Karl Popper OSCAR ORELLANA	121
8.	Modelo de daño unilateral, descomposición del tensor de tensiones en tracción y compresión PABLO E. MARTÍN	149
9.	Neuroestética: modelos empíricos de la experiencia de belleza RAÚL ALBERTO MILONE	169
10.	Morfogénesis, inestabilidad y modelos químico-matemáticos: Turing y Prigogine RONALD DURÁN ALLIMANT & OSCAR ORELLANA ESTAY	183

II. LENGUAJE, INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR E INVESTIGACIÓN

11.	Lenguajes y descripciones en ciencia GUILLERMO CUADRADO & ITALO A. ORTIZ	201
12.	El lenguaje de la matemática: modelos para la enseñanza CLARISA NOEMÍ BERMAN & ANA MARÍA NARVAEZ	223
13.	El lenguaje relacionado con el aprendizaje del concepto de base de un espacio vectorial utilizando textos. Una mirada desde la teoría APOE SUSANA ANDÍA & LILIANA REPETTO	235
14.	Ficciones, sólo ficciones DANTE ROBERTO SALATINO	251
15.	Elección racional de teorías: neodarwinismo o diseño inteligente JUAN ERNESTO CALDERÓN	275

16. Los principios de la ciencia: dos ejemplos concretos, David Bohm y Richard Levins 287

PABLO CRUZ VILLALBA

III. SOCIEDADES DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO:
ENTORNOS EPISTÉMICOS, EDUCATIVOS Y LABORALES

17. La importancia de la ciencia para la identidad y la profesionalización de la filosofía: finales del siglo XIX y primeros años del siglo XX 303

RODRIGO LÓPEZ ORELLANA

18. Realism and Scientific Models: The Relevance of the Distinction between Epistemology and Ontology 317

BASTIÁN DÍAZ SÁEZ & SIMÓN BUSCH MORENO

19. El proceso de aceptación de modelos de decisión en organizaciones privadas 335

ESTEBAN ANZOISE & SILVIA CURADELLI
& CRISTINA SCARAFFIA

20. Gobernanza de riesgos en la sociedad de la información 361

GUSTAVO ALBERTO MASERA & JAVIER ULISES ORTIZ

21. Pensar la investigación en educación: rasgos históricos desde los cuales se ha proyectado una imagen para su significación 381

MÓNICA ROCÍO BARÓN MONTAÑO

PRÓLOGO

El coloquio internacional *Conceptos y Lenguajes en Ciencia. Modelos, Objetos y Entornos Epistémicos* (CLECi 2014) tuvo lugar en la Universidad de Valparaíso los días 4 y 5 de diciembre de 2014. En esta ocasión, además de docentes y profesionales locales, contamos con un número considerable de participantes de Argentina, de la Universidad Tecnológica Nacional (Regional Mendoza) y de la Universidad Nacional de Cuyo. Ambas instituciones han forjado una estrecha relación con la Universidad de Valparaíso, por medio de la organización de eventos académicos, intercambio de docentes y colaboraciones en proyectos de investigación.

La convocatoria para participar fue amplia y requería la presentación de los trabajos completos antes de su exposición en el coloquio. Después de realizado el CLECi 2014 se efectuó una selección de dichos trabajos y este libro corresponde a la edición de los mismos. Cabe agregar que una de las características de esta publicación colectiva es la diversidad de temas, enfoques e intereses presentados que se encuentran articulados temáticamente por la reflexión sobre *Conceptos y Lenguajes en Ciencia, Modelos en Ciencia y Entornos Epistémicos*.

La diversidad señalada genera una perspectiva multidisciplinaria en la que participan lógica, epistemología, ingeniería, matemática, semiótica, sistémica, educación, neuroestética e informática de las que surgen temas como: modelos matemáticos y numéricos, problemas de inconmensurabilidad, dispositivos de aislamiento sísmico, modelos relacionados con la belleza, morfogénesis, lenguajes y descripciones, ficciones, elección racional de teorías, principios de la ciencia, la información y la educación. De esta manera, profesionales con diferentes formaciones -orientados por la temática de la convocatoria- realizaron una actividad reflexiva que llama la atención por los intereses que despierta.

El presente volumen ha contado con el arbitraje de un comité de expertos adscritos al proyecto editorial que da soporte a este trabajo y que pertenecen a las universidades que participaron en el encuentro. Además, si bien hemos cuidado hasta donde nos fuera posible los aspectos forma-

les de cada contribución, hemos decidido honrar el formato libro no subsumiendo de modo cerrado la estructura de los trabajos a las indicaciones de los editores. Tal práctica nos liberó de los repetidos intercambios de correcciones con los autores, a veces coercitivos e inflexibles, y liberó a los últimos del temor de ver sus trabajos publicados en formatos seriamente modificados. Por tanto, huelga decir que cualquier falta, afirmación o compromiso identificable en cualquiera de los trabajos que aquí aparecen, es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Este libro no sería posible sin el apoyo material del Proyecto Fondecyt Regular N° 1141260 y las autoridades de la Facultad de Humanidades, en particular su decano, Profesor Juan Estanislao Pérez y el Director del Instituto de Filosofía, Profesor Jaime Villegas. Asimismo se agradece al Ingeniero Guillermo Cuadrado (UTN y UNC) quien ha garantizado con su colaboración la continuidad productiva de estos encuentros y la proyección fructífera del trabajo colaborativo entre los diferentes grupos de investigación implicados en este compromiso. No menos fundamental ha sido la estrecha colaboración del Prof. Rodrigo López de la Universidad de Valparaíso, responsable de la diagramación de este volumen.

Los trabajos que presentamos a continuación ponen de manifiesto la riqueza de temas y perspectivas contenidas en estos campos de conocimiento. En primer lugar, se destacan las contribuciones sobre *Modelos, teorías y objetos abstractos en ciencia*, que son las más numerosas. El uso de *teorías científicas* y de *modelos* está a la base de las profesiones y con especial énfasis en la ingeniería. En esta sección sobresalen por su cantidad y calidad las contribuciones referidas a *modelos* matemáticos en ingeniería, orientados a buscar logros tecnológicos. También hay trabajos de índole epistemológica, aunque en menor cantidad.

Por su parte, la Sección II agrupa las contribuciones referidas a *Lenguaje, información y conocimiento en la educación superior e investigación*. Éstas ayudan a entender la realidad de la comunicación para desenvolvernos eficazmente en ella. Se trata de reflexiones orientadas a facilitar la comprensión de los alumnos, docentes e investigadores y por esa razón tienen una fundamental importancia social.

Las contribuciones pertenecientes a la Sección III, *Sociedades de la Información y del Conocimiento: entornos epistémicos, educativos y laborales* nos ubican dentro de las tendencias que provoca el estímulo de las nuevas tecnologías de la información. Los efectos de ellas se manifiestan en

varios campos, generando incluso ámbitos nuevos, cuya realidad ya no puede ser ignorada.

En cada una de las tres secciones señaladas, el lector podrá encontrar una gran diversidad de temas y enfoques, hecho que pone de manifiesto, entre otras cosas, el nivel de excelencia que en investigación han desarrollado los participantes de este libro.

Juan Redmond

Sección I

Modelos, teorías y objetos abstractos en ciencia

Solicitaciones en uniones abulonadas: modelo numérico

Carlos Alberto Bello & Miguel Mattolini & Félix Ruiz

Resumen

El propósito de este trabajo fue validar un modelo numérico, desarrollado con un software de cálculo mediante *Elementos Finitos*, para hacer una comparación con los modelos clásicos que describen la distribución de tensiones en una junta abulonada. Se estudiaron los modelos clásicos establecidos en la bibliografía especializada y el método utilizado fue establecer las pautas generales del proceso de modelación numérica mediante Elementos Finitos, generar un modelo de junta, para este caso una brida y simular la respuesta de tensiones en la junta. Se compararon los resultados del modelado con los modelos clásicos de la bibliografía de uso generalizado determinándose cuales son las condiciones de valides para las aplicaciones de dichos modelos. Los resultados mostraron buena correlación con los modelos clásicos y una mejor tipificación de la distribución de tensiones. A partir de estos trabajos se espera determinar estrategias de modelación y criterios de utilización de simulaciones FEA mediante casos para utilizar y transferir a las cátedras de Elementos de Máquinas y Máquinas y Equipos Industriales de la Universidad Tecnológica nacional, Facultad Regional Mendoza.

Palabras clave: modelo, FEA, rigidez, mallado, tensión, unión abulonada, líneas de isotensión.

Introducción

Las *simulaciones computacionales*, que utilizan modelos matemáticos, tiene un rol cada vez más destacado en ingeniería por lo que toma relevancia entender qué tipo de entidades son estos modelos, como se elaboran y cuál es la validez de los mismos. En ciencia, los modelos representan situaciones conjeturales, pero además, es importante entender que su elaboración implica el uso de restricciones durante el proceso de abstracción

al modelar una realidad, por esto a las afirmaciones que se hacen sobre ellos, antes que verdaderas o falsas, hay que considerarlas como aproximaciones y deben ser evaluadas por su grado de verosimilitud.

Este trabajo considera que los modelos científicos son representaciones u objetos semióticos, está en la línea de investigación dentro de la *concepción representacional* de la *visión semántica*, comparten características con las ficciones, pero siempre asociadas al conocimiento de referentes reales o al estudio de ámbitos de la realidad. A partir de esta concepción, en este trabajo se aborda el estudio de algunos aspectos de las uniones abulonadas, muy utilizadas por la ingeniería mecánica para el posicionamiento y armado de los elementos de máquinas. Estas uniones pueden tipificarse como: a) uniones estructurales y de posicionamiento de baja sollicitación; c) uniones de media sollicitación; d) uniones de alta sollicitación con condiciones de fatiga.

Dentro de estas condiciones de sollicitación se distingue a las piezas unidas mediante los bulones y los bulones mismos. Los modelos establecidos como clásicos que describen a estos dos conjuntos de elementos han sido desarrollados mediante los estudios de Triton y Sorem (1996), y White, basados en estudios foto elásticos y de Tipton y otros (1996).

En este trabajo se han desarrollado dos modelos numéricos, uno para el bulón (tornillo + dos arandelas de distribución de tensiones + tuerca) y otro para la junta donde se han colocado dos placas de acero apretadas simulando un montaje, en este caso solo se ha analizado las configuraciones de sollicitación por el apriete de los tornillos. Debido a lo extenso del trabajo aquí solo se mostrará el estudio de las condiciones de sollicitación en una junta apretada por un bulón.

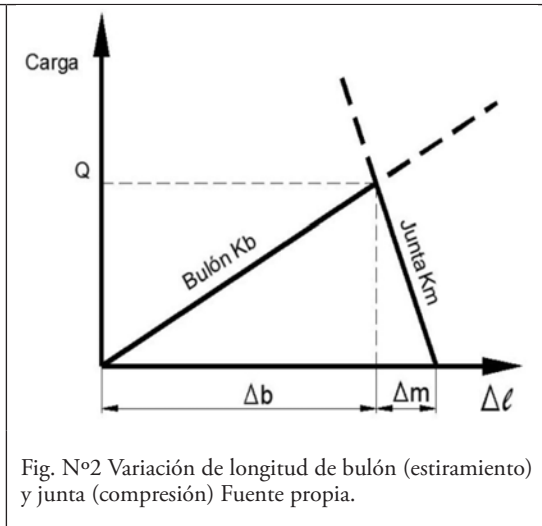
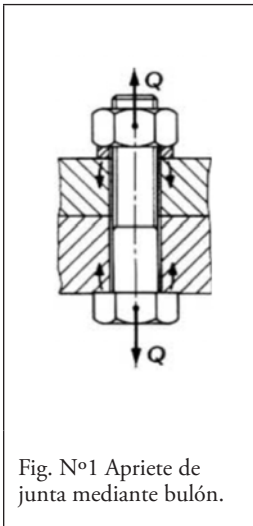
En la década del 60, se desarrollaron estudios de las deformaciones de las piezas montadas en una unión, estos estudios permitieron proponer modelos para determinar la rigidez de los diversos componentes del ensamble. Se definió la constante de rigidez del bulón, k_b , determinada como una barra sometida a tracción a partir de las ecuaciones del alargamiento. El problema es distinto para los elementos de la unión, Robert Norton (1999) dice que la pregunta a hacerse respecto a las piezas comprimidas es, ¿Qué cantidad de material sujeto debe incluirse en el cálculo en la rigidez del material k_m cuyo valor se requiere para determinar el factor de rigidez de la unión?

Estos modelos permitieron definir el criterio de la existencia de un valor óptimo en el caso de las uniones sometidas a cargas de intensidad variable.

Cabe destacar que los modelos matemáticos suponen hipótesis simplificadoras tales como que la pieza es de un material homogéneo, isótropo y elástico, por lo tanto el valor de la tensión obtenida depende sólo de la forma geométrica. Esto implica que el efecto de las discontinuidades de los materiales reales no se tiene en cuenta.

Se pretende demostrar que la utilización de métodos numéricos permite desarrollar modelos que describen en forma eficiente la distribución de tensiones en las piezas de la unión abulonada.

Si se considera un montaje como el de la figura N°1, donde hay dos placas sujetas por un bulón (con o sin arandelas). El bulón se estira una cantidad Δ_b , las placas se comprimen una cantidad Δ_m , ver figura 2. Estas dos deformaciones se consideran en el eje del bulón y la suma es igual al desplazamiento axial relativo de la tuerca y del tornillo. Suponiendo que todas las partes están trabajando con elasticidad lineal y en analogía con los resortes, como se expresa en las ec. N° 1 y 2, podemos establecer su rigidez que estará asociada al volumen de material bajo tensión y sus características elásticas, ver fig. N°1 y 2.



La rigidez del bulón y de las placas:

$$K_b = \frac{Q}{\Delta_b} \quad K_m = \frac{Q}{\Delta_m} \quad \text{Ec. 1 y 2}$$

Modelo de Röttscher

Röttscher (Fratschner, 1969), sobrestima la rigidez de la unión y plantea que el material a considerar son dos conos truncados, opuestos por la base mayor con su inicio en el apoyo de la tuerca o la cabeza del tornillo. El semiángulo de dichos conos lo supone de 45°, esta estimación está basada en las consideraciones de tensiones de corte en un material dúctil, solamente sometido a compresión. Admite que por debajo de la cabeza del tornillo y de la tuerca, debido a la compresión originada por la carga inicial se forman unos conos de influencia con una abertura de 45° y que solo el material situado dentro de estos conos, participa de la deformación elástica, el área y la rigidez se expresan en las ecuaciones 3 y 4 y responden a las fig. N° 3 y 4.

$$A_p = \frac{\pi}{4} [(D + l)^2 - D^2] \quad \text{Ec. 3}$$

$$\frac{1}{K_p} = \frac{1}{A_p} \left[\frac{l_1}{E_{p1}} + \frac{l_2}{E_{p2}} + \dots \right] \quad \text{Ec. 4}$$

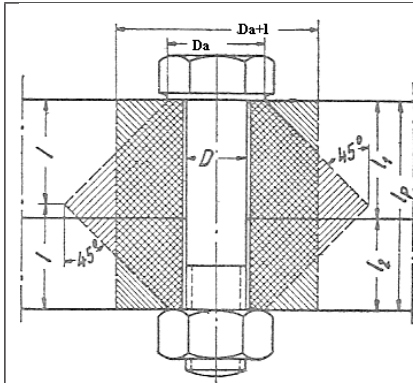


Fig. N°3 Conos del material de la unión que definen la rigidez de la junta. Fuente Fratschner, "Elementos de Máquinas".

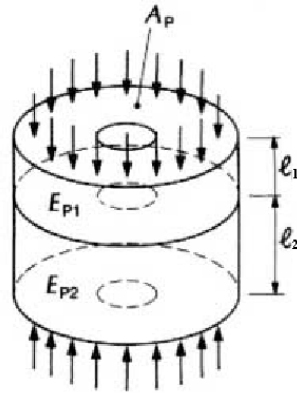


Fig. N°4. Simplificación del modelo para el cálculo de la rigidez. Fuente ídem.

Esto permite entonces definir la rigidez, considerando una tensión media aplicada al material de los conos. Estos modelos se encuentran en la bibliografía específica sobre el diseño de máquinas (Seely, 1967), como así también en los criterios para el diseño de elementos de máquinas que plantea Norton (2011), también el compendio de estudios de concentración de tensiones que hizo Peterson (1974), los estudios de Leven y Hartman, Wilson y White, basados en estudios foto elásticos y de Tipton y otros (1996).

Modelo de Shigley

Shigley (2008) menciona que Ito (1977), ha determinado la distribución de tensión en la unión de los elementos y utilizó una técnica de ultra-sonido. Mediante este modelo se determinó que la tensión permanece alta hasta una profundidad de 1,5 diámetros del bulón. Sin embargo, la tensión disminuye mientras más alejada esté del bulón. Shigley, expresa que el método es muy complicado, el establece un ángulo fijo de cono que permite simplificar el modelo y determinar la rigidez de la junta, ver Fig. N°5.

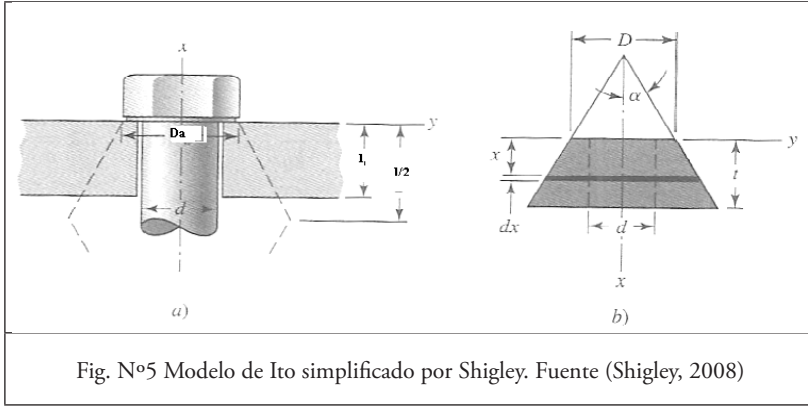


Fig. N°5 Modelo de Ito simplificado por Shigley. Fuente (Shigley, 2008)

Así la rigidez de este tronco de cono con es:

$$K = \frac{Q}{\delta} = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\ln \frac{(2 \cdot t \cdot \operatorname{tg} \alpha + D_a - d)(D_a + d)}{(2 \cdot t \cdot \operatorname{tg} \alpha + D_a + d)(D_a - d)}} \quad \text{Ec. 5}$$

Si $\alpha = 30^\circ$, se convierte en:

$$K = \frac{0,5774 \pi \cdot E \cdot d}{\ln \frac{(1,15 \cdot t + D_a - d)(D_a + d)}{(1,15 \cdot t + D_a + d)(D_a - d)}} \quad \text{Ec. 6}$$

Esta última ecuación debe resolverse por separado para cada tronco de cono de la unión, para luego aplicar la ecuación:

$$\frac{1}{K_p} = \frac{1}{K_l} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n} \quad \text{Ec. 7}$$

Definir los conos de rigidez permite determinar cuál es el área de apriete efectivo en la junta, lo que permite hacer una distribución de

bulones acorde al trabajo de la unión e incluso hacer consideraciones de estanqueidad.

Modelo de Norton

Norton (2011) introduce un estudio mediante FEA (Finite Element Analysis) realizado por Grosse y Mitchell (1990), donde se analiza la distribución de los esfuerzos sobre las piezas abulonadas, en este estudio se determina que los conos se deforman y toman la forma de un barril, ver las figura N°6 y 7, este estudio es del tipo axisimétrico simplificado para el bulón y para la junta. Esta técnica utiliza una placa plana que es fácil de modelar y considera al sólido como la revolución de la placa respecto del eje de simetría, la solución es muy económica desde el punto de vista de los recursos informáticos y permite mallado muy eficientes, que dan como resultado un número de elementos bajo, que en el sólido total sería muy elevado. Es una simplificación e introduce restricciones que en la mayoría de los casos pueden obviarse, su utilización debe ser analizada cuidadosamente.

El cálculo de la rigidez se vuelve muy complejo utilizando esta configuración, por ello se sigue utilizando el modelo de los conos como simplificación eficiente.

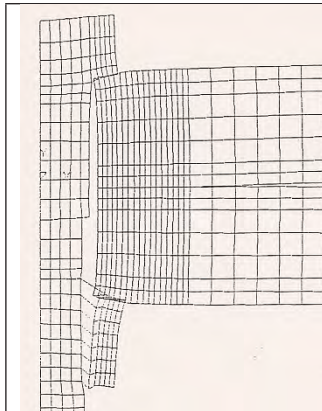


Fig. N°6 Deformación en la unión por la precarga, Fuente Grosse & Mitchell (1990).

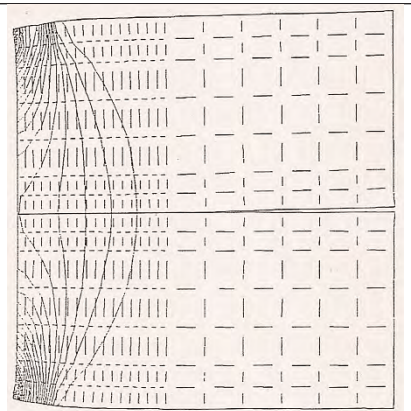


Fig. N°7 Deformación en las placas por la precarga y distribución de tensiones.

Modelado mediante FEA

En la construcción de un modelo de la mecánica del sólido mediante FEA, se inicia el proceso con la generación de la geometría, lo que también se denomina modelo geométrico, objeto modelo o sólido CAD y la definición de las condiciones de contorno del sistema a modelar. Esta geometría debe cumplir algunos requisitos, el más importante es que pueda ser discretizada eficientemente, esto quiere decir que pueda ser dividida en pequeños elementos de dimensión pequeña (finita), que serán representados por puntos y relacionados con sus vecinos por vínculos (malla) donde se cumplen las propiedades del material. Para cumplir esta necesidad de mallar, normalmente se requieren modificaciones a la geometría del CAD. Tales modificaciones pueden tomar la forma de simplificación, de idealización, y/o de limpieza.

- a) Simplificación: refiere al proceso de suprimir o de quitar detalles de la geometría, características insignificantes para el análisis, tal como chaflanes externos, redondos, insignias, etc.
- b) Idealización: presenta un ejercicio más agresivo que puede llevarnos a salirnos de la geometría real de la pieza, por ejemplo, al representar las paredes finas como superficies.
- c) Limpieza: se requiere porque la geometría a mallar debe ser de mayor calidad que el modelado de un sólido. Para la limpieza, podemos utilizar las herramientas del control de calidad para detectar problemas tales como caras sin espesor, entidades múltiples, intersecciones, que el modelo CAD podría tolerar, pero hacen el mallado difícil o imposible.

Como puede apreciarse, el modelo en condiciones de ser sometido a un estudio de simulación es una representación muy acotada de la realidad o posible realidad (un diseño) a la cual se refiere, si no se controla todo este proceso en forma eficiente, esta representación puede no ser lo suficientemente válida para obtener resultados que predigan el comportamiento del sistema estudiado.

Las modificaciones a la geometría que se han enunciado permiten un proceso de discretización más simple y un tiempo más corto de cálculo, pero si no se hacen con cuidado introducen restricciones a la validez del modelo y la interpretación de los resultados.

Luego de crear un modelo geométrico y haberlo procesado con los criterios expuestos, los programas especializados en el tratamiento de es-

tos modelos permiten crear un estudio donde se define el tipo de análisis a realizar y se introducen las ya mencionadas condiciones de contorno: 1) definir las propiedades físicas del sólido (los códigos comerciales traen bibliotecas de estas propiedades pero también podrían ser obtenidas mediante ensayos o estudios); 2) agregar las condiciones de sujeción o vínculos, lo que permite definir los grados de libertad del sistema; 3) aplicar las solicitaciones al modelo geométrico; 4) generar la discretización o mallado, proceso que también puede ser controlado; 4) configurar y ejecutar el *solver* que hace la resolución del modelo y genera los archivos de resultados (utilización de la aplicación de teorías de falla); 5) análisis de los resultados y preparación de las presentaciones para su interpretación.

Con los criterios expuestos se ha generado el modelo de una unión bridada donde las placas de unión son de igual espesor y responden a una unión estructural. Se simplificó el modelo utilizando como lugar del estudio de las solicitaciones en uno de los agujeros de la brida, el apriete que produce el bulón se representó por la carga superior sobre la arandela y una unión rígida en la arandela inferior, las arandelas se han colocado para representar una transferencia de acciones entre elementos elásticos, cosa que no hubiera sucedido si se simula la carga y unión rígida, directamente sobre la brida, Para garantizar la estabilidad del modelo se ha adicionado una sujeción deslizante sobre caras cilíndricas sobre el cuerpo del tubo estructural.

Los criterios de simplificación y de limpieza determinan entonces las particularidades de este modelo, como ya se conoce este pasa a ser una ficción (representación) muy particular (específica de la realidad o posible realidad). No es una realidad en sí misma, y puede ser cambiada y reconfigurada tantas veces sea necesaria (en el caso de un diseño) donde el único costo es el los tiempos y recursos del trabajo de simulación.

La simulación con el mallado adaptativo utiliza el criterio de iteraciones guiadas por la variación de tensión encontrada en el cálculo, cambiando la malla según estos, para aumentar la densidad de elementos en los lugares de alta variación y disminuir los mismos donde no hay variación, obteniéndose una optimización de elementos y por consiguiente del tiempo de proceso, ver fig. N°8.

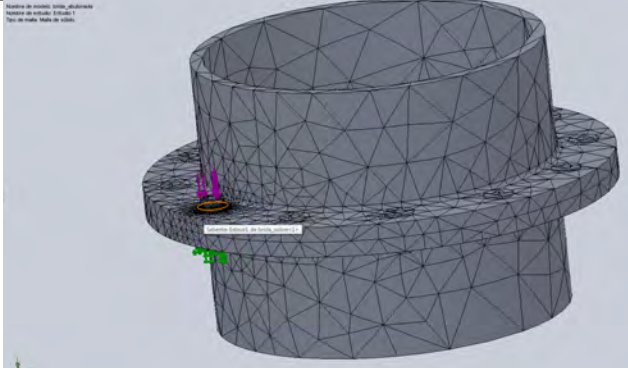


Fig. N°8 Mallado con control adaptativo, fuente propia.

Mallado con control manual, en el que el usuario define el lugar y los parámetros de malla, ver fig. N° 9.

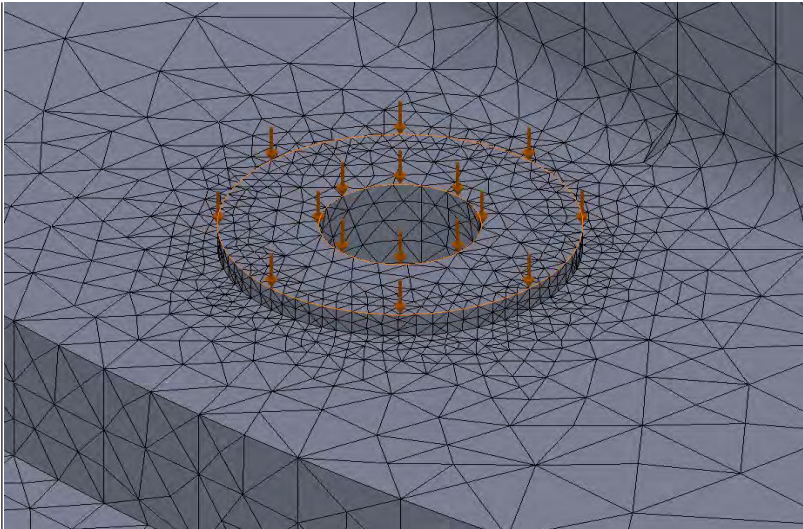


Fig. N°9. Mallados con control manual, fuente propia.

Resultados

El cálculo mediante el *solver* determina los valores de tensión promedio para cada nodo, obtiene los máximos y la cantidad de bucles redefine la malla refinando en donde las diferencias de tensión entre nodos adyacentes son grandes.

Mediante la utilización de los modos de visualización (pos proceso), con la elección del sistema de visualización de tensiones mediante líneas de isotensión y planos de corte se puede visualizar la configuración de la distribución de tensiones en la junta.

Un análisis inicial de junta con canaleta de sello se han determinado las formas de la distribución de esfuerzos como muestra la figura N°11, se verifica que la distribución se corresponde con el modelo de Norton, como el de la fig. N°10, siendo la forma de un barril el material que determina la rigidez de la junta.

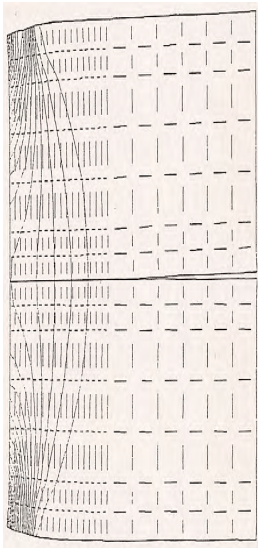


Fig. N°10 Líneas de isotensión, modelo de Grosse & Mitchell. Fuente: Norton.

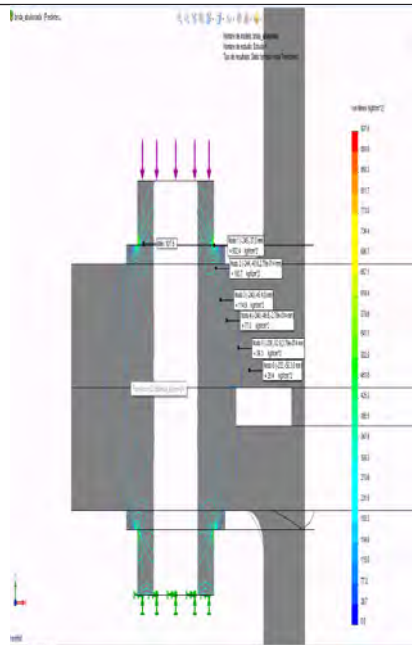


Fig. N°11 Líneas de isotensión en el modelo de junta mediante *Solver* "Cosmos". Fuente propia.

Esta primer simulación pone en evidencia dos cosas: a) un estudio con afino de malla muy exhaustivo hace énfasis en mostrar más la zona del concentrador donde hay una variación importante de la tensión, por lo que se desmerece la visualización de distribución general de tensiones; b) se vuelve importante en este caso poder generar un modelo menos simplificado que represente mejor el área de distribución general de tensiones, ver fig. N°12 y tabla N°1.

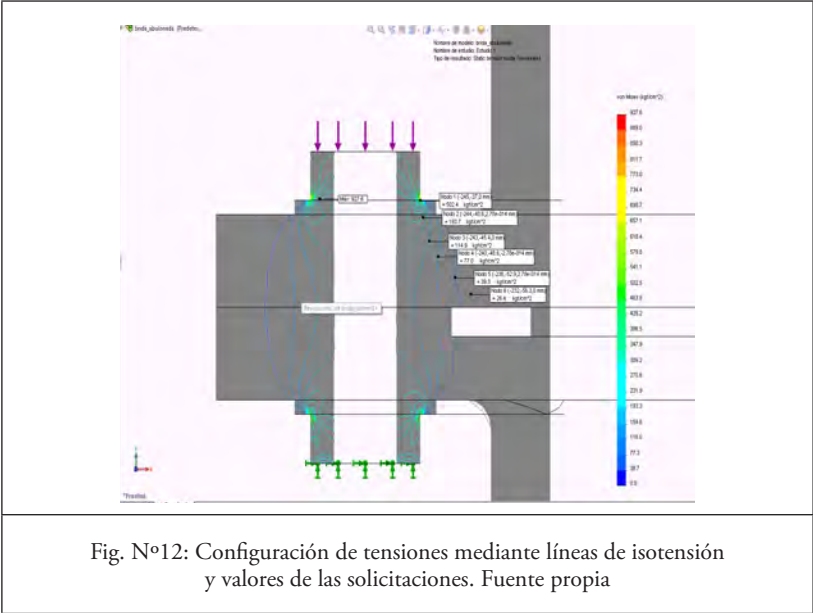


Fig. N°12: Configuración de tensiones mediante líneas de isotensión y valores de las solicitaciones. Fuente propia

Distribución de las tensiones		
Nodo N°	Tensión Kgf/cm ²	Observación
1	502,4	Zona donde la cabeza del tornillo produce un concentrador de tensiones
2	193,7	Zona debajo de la arandela y visualización del efecto de distribución de las tensiones que produce esta

3	114,9	Distribución de tensiones que determina un volumen con forma de barril
4	77,0	
5	39,3	
6	29,4	Zona donde ya no se considera el efecto del bulón

Tabla N°1: Valores de tensión en la configuración. Fuente propia.

Los datos de tabla N° 1 muestran como del nodo 3 al 1 hay un salto del 400%, como fue expuesto. Para este caso se ha hecho una comparación de los modelos que puede verse en la figura N° 13 donde se puede apreciar que el modelo de Shigley (conos a 30°) es más eficiente para mostrar las condiciones de tensión en la zona media de la junta, el modelo de Rötischer lo hace mejor en la zona de transferencia del esfuerzo por la Arandela distribuidora de carga con un ángulo de 45°.

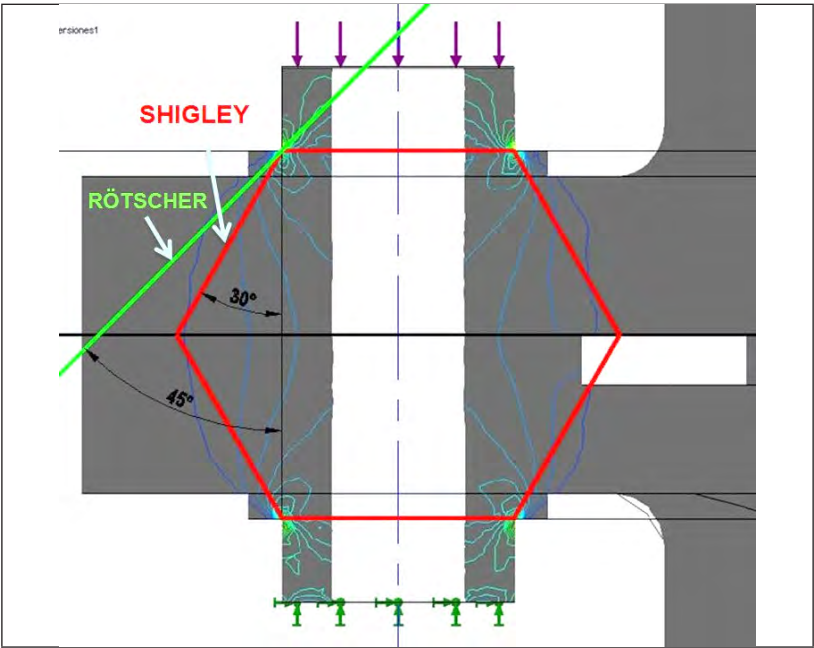


Fig. N°13: Comparación de modelos para la junta simulada.

Discusión

Un trabajo más eficiente utilizando los criterios expuestos nos lleva a una simulación cuyo resultado muestra mejor la forma del volumen interesado en la rigidez de la junta, con un manejo más eficiente del mallado, evitando mostrar excesivamente las variaciones en la zona del concentrador, dando como resultado una mejor visualización de la distribución general de tensiones, ver fig. N°14.

La comparación de los resultados nuevos con los modelos analizados de la bibliografía siguen afirmando las condiciones de concordancia con lo obtenido en el modelo inicial. La nueva figura obtenida del volumen de material afectado a la rigidez es más, se mantiene la consideración de la forma de barril.

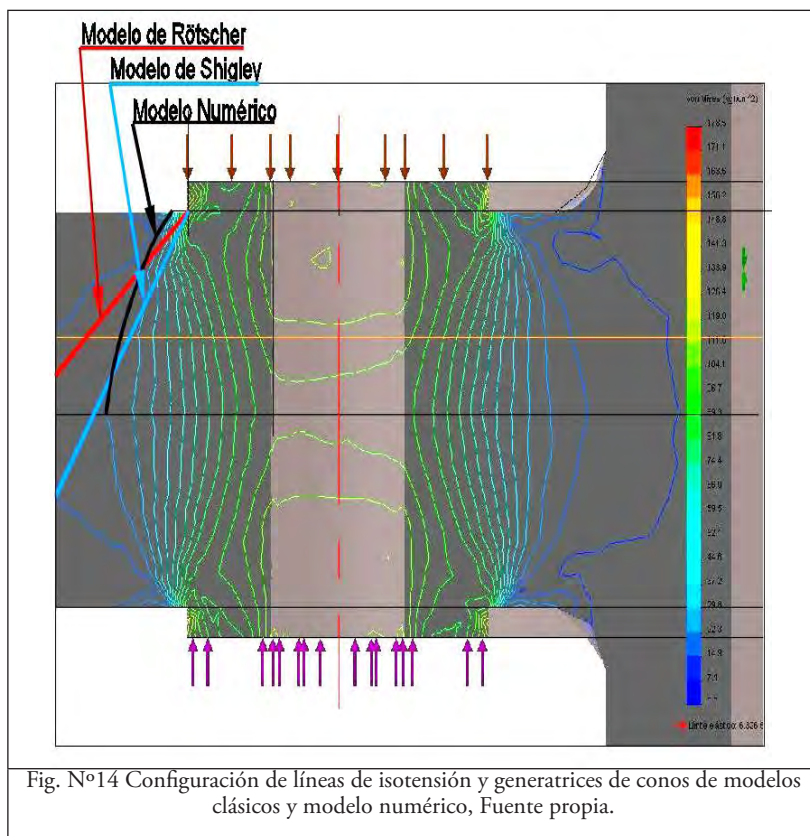


Fig. N°14 Configuración de líneas de isotensión y generatrices de conos de modelos clásicos y modelo numérico, Fuente propia.

La validez de este modelo puede verificarse mediante el gráfico de convergencia que obtenido del *solver*, ver fig. N°15.

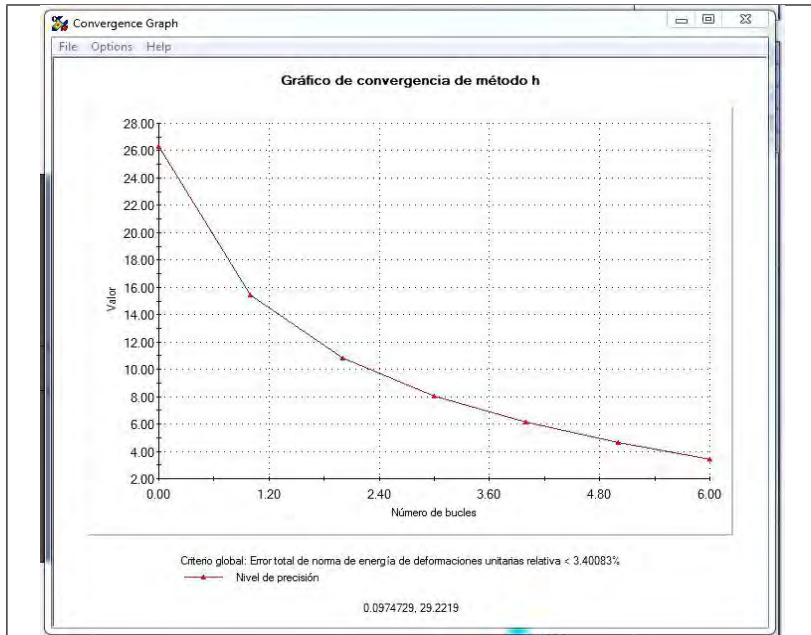


Fig. N°15: Grafico de convergencia del método h, valor del error total para la energía de deformación unitaria específica. Fuente propia.

Este gráfico muestra la disminución del error total para la utilización del método de mallado adaptativo, haciendo las consideraciones de mantener una malla fina inicial sin agrandar la malla en los lugares donde la diferencia es baja, esta estrategia solo afina la malla en la zona del concentrador pero mantiene un nivel de visualización de tensiones en zonas de baja variación.

Debe hacerse mención que esta estrategia fue posible utilizarla debido a las simplificaciones iniciales de simular solo un agujero de la brida lo que mantuvo en número bajo de nodos totales durante los bloques de afinado de malla.

La fig. N°16 muestra una simulación donde se utilizó una simplificación haciendo una unión rígida sobre la arandela inferior, se hizo una primera resolución adaptativa lo que permitió observar que la unión rígida

afectaba el modo como la arandela distribuidora modificaba la distribución de tensiones, este problema muestra que al hacer la cara de la arandela fija, no se permite cambiar de forma a esta cara lo que no sucede en la realidad y se genera una configuración de tensiones asociada a la elástica de deformación donde esa cara está fija, esta simulación se abandonó y se cambió la unión rígida por fuerzas opuestas a las de la cara superior, representando la acción de la tuerca, dando los resultados anteriormente expuestos concordante con los modelos de la bibliografía.

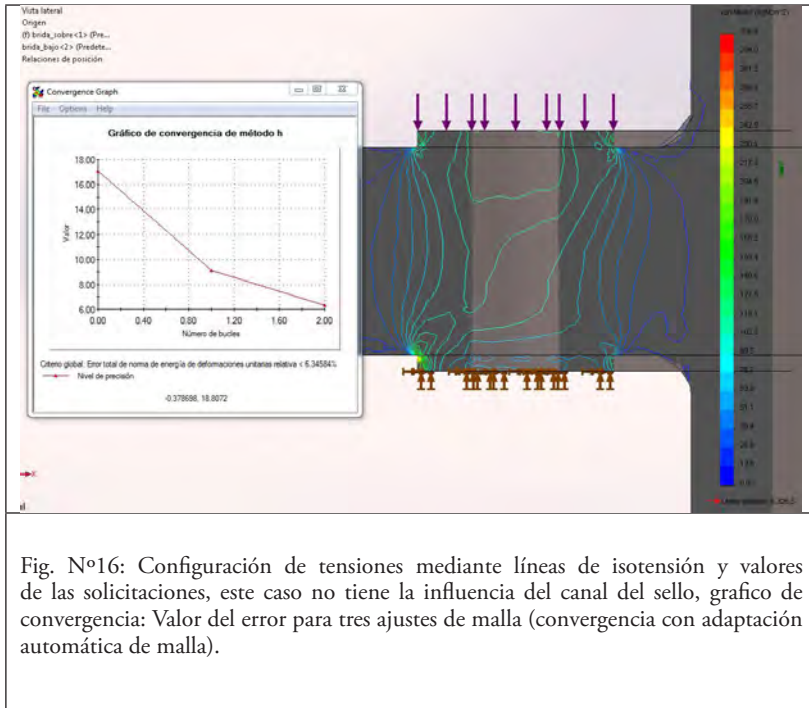


Fig. N°16: Configuración de tensiones mediante líneas de isotensión y valores de las solicitaciones, este caso no tiene la influencia del canal del sello, grafico de convergencia: Valor del error para tres ajustes de malla (convergencia con adaptación automática de malla).

Conclusiones

La comparación de las curvas obtenidas por este estudio con los modelos de la bibliografía, muestra una similitud con el modelo de desarrollado por Grosse & Mitchell que se expone en Norton (2011).

La modelación mediante FEA requiere de un exhaustivo análisis de las condiciones de trabajo de las piezas modeladas, aplicación de criterios de teorías de falla y elástica de deformaciones y herramientas de representación de dichos criterios en los modelos simulados.

Queda de manifiesto que modelar mediante FEA elementos elastorre-sistenciales requiere experiencia en el análisis condiciones de contorno.

El control de mallado manual requiere experiencia y suele dar como resultado un mayor tiempo de proceso, el mallado adaptativo puede ser muy eficiente si se conoce y controlan la correcta modelación de entallas y cambios de forma.

Una simplificación descuidada dará como resultado un modelo fuera de validez que puede ser engañoso.

Queda la necesidad de un análisis de las tensiones medias del modelo con capas con forma de barril, para determinar la rigidez de la junta, deberá hacerse un modelo de análisis de los volúmenes en capas con compresiones diferenciadas.

Bibliografía

- FRATSCHNER, O. (1969). *Elementos de Máquinas*. Barcelona: Gili S.A.
- GROSSE, I., & MITCHELL, L. (Setiembre de 1990). *Nonlinear Axial Stiffness Characteristics of Aximmetric Bolted Joints*. Transaction of the ASME, 112, 442.
- ITO, Y. (1977). *Interfase pressure distribution in a bolt-flange assembly*. ASME(77-WA/DE-11).
- NORTON, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas. Un enfoque integrado*. Barcelona: Pearson Edauación.
- SHIGLEY, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México D.F.: McGraw Hill.
- TRITON, S., & SOREM, J. R. (1996). *Updated Stress-Concentration Factors for Filleted Shafts in Bending and Tension*. ASME Journal of Mechanical Desing, vol 118, núm. 3 , 321-327.

La tesis de la inconmensurabilidad: ¿un problema para quién?

María Teresa Gargiulo de Vazquez¹

Resumen

Existe una profusa literatura que ha situado a la doctrina de la inconmensurabilidad como una objeción contra la racionalidad científica en cuanto tal. Estas hermenéuticas no parecen haber advertido quienes eran los verdaderos interlocutores de esta objeción, y por tanto, para quienes la relación de mutua inconsistencia que pueden presentar dos teorías comprensivas, es realmente un problema. En este trabajo exponremos como la tesis de la inconmensurabilidad, tal cual esta fue formulada por Paul Karl Feyerabend, no es sino una reducción al absurdo de una particular manera de fundamentar la racionalidad científica, a saber, de una tradición epistemológica donde tanto el positivismo lógico como el racionalismo crítico procuraron definir la ciencia estableciendo una serie de distinciones que resultan ser contextualmente dependientes. De este modo procuraremos mostrar como la inconmensurabilidad en un sentido negativo puede significar el fracaso de una tradición epistemológica. Pero en un sentido positivo, revela la necesidad de buscar nuevos caminos para fundamentar y definir la empresa científica.

Palabras Claves: Inconmensurabilidad, Racionalidad Científica, Feyerabend, Racionalismo Crítico, Positivismo Lógico.

¹ UnCuyo-CONICET.

La tesis es la inconmensurabilidad ha sido una de las tesis más controversiales durante la segunda mitad del siglo XX. En la abundante bibliografía que ha discutido esta cuestión existe una importante tradición hermenéutica que ha situado esta tesis como la responsable de haber instaurado una visión escéptica, relativista e irracional respecto a la ciencia. Pues la relación de mutua inconmensurabilidad entre teorías parecería impedir una explicación del realismo, el progreso y la objetividad científica.

No obstante, estas discusiones y debates en torno a la doctrina de la inconmensurabilidad podrían ofrecer una visión fragmentaria e incompleta acerca de sus implicancias si no se reconocen las premisas desde las cuales ella fue formulada, es decir, si no se reconoce el marco conceptual donde ella significa realmente un problema.

La intención de este trabajo es exponer como la doctrina de la inconmensurabilidad –tal como ha sido formulada por Paul Karl Feyerabend– no supone un problema para la racionalidad científica en cuanto tal. La relación de mutua inconmensurabilidad que puede existir entre distintos paradigmas, teorías o tradiciones científicas no es sino una objeción contra una particular concepción de ciencia. La inconmensurabilidad representa un problema para el positivismo y el racionalismo crítico en la medida que pone en jaque las dialécticas que éstos establecen para definir la ciencia. En su sentido positivo, mostraremos como el quehacer científico no se enfrenta nunca con el problema de la inconmensurabilidad. Esta es un problema de los filósofos de la ciencia que pretenden explicar la ciencia bajo los cánones y principios de aquellos modelos explicativos.

A su vez, procuraremos explicar las razones y argumentos por las cuales Feyerabend deja de percibir la inconmensurabilidad como un problema. Presentaremos la comprensión de la ciencia a la que accede en sus últimos años en orden a mostrar como en ella no cabe plantear la objeción de la inconmensurabilidad.

En el año 1962 con la aparición de *La estructura de las Revoluciones Científicas* de Thomas Kuhn (1970) y el artículo *Explicación, Reducción y Empirismo* de Paul Karl Feyerabend (1962/1989)², se instaura en la

² Para facilitar la lectura, las citas de las obras de Paul Feyerabend tendrán doble fecha. La primera se refiere al año de la primera publicación y la segunda a la publicación consultada. El objetivo de la doble fecha es dar cuenta de un orden cronológico de las publicaciones y, al mismo tiempo, remitir al lector a los lugares precisos donde pueda cotejar las

filosofía de la ciencia el debate en torno al problema de la inconmensurabilidad. Las diversas comprensiones que dichos autores tienen acerca de esta tesis, así como la falta de un uso consistente y claro por parte de sus críticos, ha exigido distinguir las distintas versiones y sentidos que puede adoptar la doctrina de la inconmensurabilidad³.

Atendiendo a esta ardua tarea analítica —ya realizada por una profusa literatura— podemos diferenciar cuatro versiones o formulaciones distintas del problema de la inconmensurabilidad. A saber, la tesis de la inconmensurabilidad semántica, la tesis de la inconmensurabilidad metodológica, la inconmensurabilidad perceptual o psicológica y la tesis de la inconmensurabilidad ontológica.

A lo largo de este trabajo nos referiremos al problema de la inconmensurabilidad tal cual éste ha sido formulado y entendido por Paul Feyerabend. Es decir, adoptaremos la tesis de la inconmensurabilidad ontológica. Pues, a nuestro entender esta es la formulación más precisa, radical y explicativa de todas las dimensiones en los cuales se manifiesta la relación de mutua inconmensurabilidad entre teorías.

La tesis de la inconmensurabilidad ontológica es aquella que revela la relación de inconsistencia entre teorías comprensivas en cuanto que éstas están informadas por ontologías mutuamente excluyentes.

Feyerabend asegura que “una teoría es incompatible con otra si sus consecuencias ontológicas son incompatibles con las consecuencias ontológicas de la última” (Feyerabend, 1981b, xi). Lo que ocurre cuando se pasa de una teoría A a una teoría B —explica el vienés— “es una sustitución de la ontología” (Feyerabend, 1962/1989, 39), y, por tanto, un correspondiente cambio en el significados de los términos teóricos y observacionales y en los criterios metodológicos (1962/1989, 39). Es decir, la

citas textuales, las paráfrasis y las referencias generales.

³ En esta tarea se destaca el trabajo de Sankey y Hoyningen-Huene (2001) quienes clasifican las distintas acepciones que adquiere la doctrina de la inconmensurabilidad tanto en Kuhn como en Feyerabend. Por su parte, Hoyningen-Huene ha profundizado particularmente el desarrollo y la evolución de esta tesis en la obra de Kuhn. En línea con este trabajo de esclarecimiento Oberheim (2006, 77-115) ha explicado las diferencias que existen entre la tesis popperiana de la inconsistencia lógica y la doctrina de la inconmensurabilidad de Paul Feyerabend. Finalmente, cabe destacar el trabajo de Perovich (1991) quien tiene el mérito de haber subrayado el signo distintivo de la doctrina de la inconmensurabilidad de Feyerabend, a saber, la relación de inconsistencia ontológica entre teorías sucesivas.

inconmensurabilidad ontológica es en definitiva la causa y explicación última de la inconsistencia semántica y metodológica entre teorías.

La inconmensurabilidad –según el vienés– se refiere únicamente a la relación de inconsistencia entre teorías universales o comprehensivas (Cf. Feyerabend, 1958, 78-79, 90-91; 1958/1981, 29, 35; 1961/1999, 52-54; 1962/1981a, p. 323; 1962/1989, 137-138; 1965/1981b, 109-110; 1967, 40; 1975/1992, 102-103; 1977, 365, n. 1; 1977/1999, 204)⁴, es decir, entre aquellas que tienen implicancias ontológicas distintas. La inconmensurabilidad describe la relación entre aquellas teorías que son lo suficientemente ricas como para dar una explicación acerca de la naturaleza de todos los fenómenos físicos (Feyerabend, 1962/1989, 137-138) y, por tanto, que son capaces de sustituir a las demás cosmovisiones como un todo (Feyerabend, 1962/1989, 38), tales como la teoría aristotélica, la teoría Newtoniana, o la teoría cuántica (Feyerabend, 1958/1981, 29, 35).

Pero Feyerabend no se limita a aplicar su noción de inconmensurabilidad a los conceptos y a las teorías sino que –tal como ya ha sido mostrado por Oberheim (2006, 130)– la extiende también a la relación que puede existir entre cosmovisiones, tradiciones, culturas, comunidades, paradigmas, valores, prácticas, acciones, percepciones, cuestiones, problemas, etc.

Toda teoría, cultura o tradición –explica el vienés– en virtud de su ontología no sólo define un modo particular de ver la realidad sino que establece una manera de seleccionar (1962/1989, 108, 77-78), disponer y explicar (1962/1989, 54; 1958/1981, 31 y 77-78); la evidencia o hechos observacionales (1962/1989, 54, 73, 92 y 129), fija la significación que adquieren los términos teóricos y observacionales (1962/1989, 78; 1958/1981, 31), crea los instrumentos de observación y medición, y codifica los modos en que los resultados deben interpretarse (1962/1989, 53-54, 77-78). De aquí que en la medida que las teorías estén informadas por una ontología distinta el conjunto de datos observacionales, términos, leyes o principios de una teoría resulten incompatibles o, más propiamente, inconmensurables con los de otra. No existe entre ellas, un principio común y externo en virtud del cual se pueda determinar cuál de las teorías en competencia es mejor o más verdadera que otra. Pues

⁴ Esta restricción de la tesis de la inconmensurabilidad a las teorías comprehensivas constituye para Hoyningen-Huene la diferencia principal entre la concepción de inconmensurabilidad de Feyerabend y la de Kuhn. (Cf. Hoyningen-Huene, 2000b, 106).

cada ontología define sus propios principios semánticos y metodológicos. Luego, la causa última de la inconmensurabilidad es la ontología que atraviesa el contexto teórico como un todo.

No han faltado críticos que hayan apuntado que esta formulación –u otras– del problema de la inconmensurabilidad conducen necesariamente a concepciones relativistas, escépticas o instrumentalistas respecto la ciencia. Pues presentan esta relación particular entre teorías como uno de los argumentos principales que promueven una visión escéptica, fragmentaria, irracional y relativista respecto a la ciencia en cuanto que impide toda posibilidad de explicar el progreso, la objetividad o el realismo científico⁵.

Ahora, esta literatura parece ignorar que Feyerabend nunca pretendió postular positivamente el relativismo, la irracionalidad o el escepticismo respecto a la ciencia. Por el contrario, lo que buscó mostrar, por medio de una reducción al absurdo, es que esta visión de la ciencia no es sino una consecuencia lógica que se sigue de los mismos supuestos del positivismo lógico y del racionalismo crítico. Feyerabend formula la inconmensurabilidad como una reducción al absurdo de los intentos del racionalismo crítico y del positivismo lógico por definir la ciencia. La inconmensurabilidad exhibe la impotencia de éstos para explicar desde sus propios principios el realismo y el progreso científico cuando aparece una nueva teoría o paradigma científico comprehensivo. Luego, no se puede hacer responsable a la doctrina de la inconmensurabilidad de estas valoraciones absurdas de la ciencia. Los verdaderos responsables son los axiomas o principios desde los cuales parte este problema, es decir, los modelos de explicación que ella está reduciendo al absurdo.

Particularmente, la inconmensurabilidad pone en evidencia el fracaso de tales tradiciones para dar cuenta del progreso científico en un cierto tipo de transición teórica. Pues mientras el positivismo lógico y el racionalismo crítico entienden el progreso como el proceso en el cual las teorías existentes son mejoradas o el número de hechos conocidos es simplemente incrementado; la inconmensurabilidad prueba que los principales

⁵ Cf. Preston, 1997, 5-6; 2000, 94; Lloyd 2000, 115; Gellner, 1975, 336; Watkins, 2000, 49; Ribes, 1989, 15-16; Giedymin, 1971; Grunfeld 1984; Theocharis and Mihalís, 1987, 598; Bunge, 2003, 30; Horgan, 1993, 36; Nickels, 1998; Rossi, 1975, 266; Finocchiaro, 1973, 361; Bhaskar, 1975, 39, 45-46; Andersson, 1984, 13-23; Counihan 1976, 470-472; Kulka, 1977, 277-282; Hattiangadi, 1977, 289; Broad, 1979, 537; Worrall 1978, 279-280).

avances teóricos no son parte de un proceso continuo de aumento de contenido o de enriquecimiento de ideas ya establecidas sino que obligan a una revisión del estatus ontológico de las antiguas teorías (Cf. Feyerabend, 1962, 198; 1965, 88-89, 176; 1965/1981b, 111; 1970/1989, 117-118; 1978/1982, 200, n. 38; 1992, 367-368).

La inconmensurabilidad supone la existencia de un cambio conceptual radical. Según ella los términos de una nueva teoría no se refieren a ninguna de las entidades designadas por las teorías anteriores. Esta variación o discontinuidad de referente invalida la noción de progreso. Pues si las teorías no pueden ser comparadas con respecto a un contenido o referente común entonces es imposible evaluar el progreso científico. Si no existe patrón común que permite comparar una teoría con otra ¿en función de qué se puede determinar que una teoría es mejor o más verdadera que otra?

Algo análogo sucede con el realismo científico. El realismo —en términos excesivamente genéricos— concibe la sucesión de teorías como descripciones alternativas de un dominio común de entidades que existen independientemente de pensamiento humano y de las teorías científicas. Ahora bien, la inconmensurabilidad ontológica cuestiona justamente la continuidad de la referencia ontológica en las teorías científicas rivales. ¿Cuál de las teorías alternativas trata con lo real? ¿Qué conceptos de las teorías en competencia describen algo de lo real y cuáles no? ¿Las teorías ontológicamente inconmensurables hablan o no hablan acerca de lo mismo? ¿Las ontologías de las teorías científicas son vías de acceso a la realidad o simplemente ofrecen la posibilidad de construir una infinidad de mundos alternativos? ¿Qué estatuto ontológico poseen las entidades que se constituyen en objeto de estudio de las teorías científicas?

En *La Ciencia en una Sociedad Libre* (1978) el vienes subraya que desde los cánones del positivismo lógico y del racionalismo crítico no hay modo de poder determinar desde el interior de una teoría científica si ella se refiere o no a la misma entidad que su teoría rival (Feyerabend, 1970/1989, 117-118; 1978/1982, 200-203, n. 38).

Esta formulación de la doctrina de la inconmensurabilidad no supone por parte de Feyerabend la defensa de una metafísica idealista. La inconmensurabilidad ontológica no es un pseudo-problema fruto de una metafísica neo-kantiana —tal como da a entender Devitt (2001), Preston (1997, 100), Sankey y Hoyningen-Huene (2001, xvi)—. Nuestro filósofo presenta la inconmensurabilidad como un hecho histórico, y no como el

resultado de una metafísica idealista. La misma historia de la ciencia pone de manifiesto cómo en ciertas transiciones teóricas existe una sucesión de supuestos ontológicos que se presentan según los cánones positivistas y racionalistas como recíprocamente inconsistentes (Cf. Feyerabend, 1981b, x y xv; 1981a, cap. 2.4, cap. 15, cap. 16 y cap. 17; 1962/1989, 93-94; 1975/1992, 282-283).

La inconmensurabilidad cuestiona los principios y criterios del positivismo lógico y el racionalismo crítico. Pues los elementos lógicos y observacionales (sea que estos sean susceptibles de ser sometidos a un proceso de verificación o de falsación) no pueden determinar por sí mismos lo real, lo objetivo, lo racional cuando entra en escena una nueva concepción del mundo (Cf. Feyerabend, 1962/1981b, 73-74; 1977, 367; 1987/2005, 181-18; 1991a, 101-102). Feyerabend afirma que “en tales situaciones no puede ser realmente esbozada una distinción entre los fenómenos y la interpretación por un lado y los fenómenos y hechos objetivos por el otro” (Feyerabend, 1958/1981, 28). Pues cada teoría científica, en función de la ontología o visión del mundo que la anima, establece un criterio de demarcación particular y arbitrario entre estas realidades. De aquí que los participantes de una teoría se ven obligados a reconocer en una revolución científica que no pueden dominar, con las formas de racionalidad que tienen a su alcance, la nueva ontología o visión del mundo que supone la nueva teoría.

Desde el exterior de una teoría su puede fácilmente racionalizar cualquier transición teórica –asegura Feyerabend contra Lákatos–. Pero tampoco en este caso se encuentra un criterio epistémico externo a las teorías inconmensurables que nos permita definir qué es lo real, qué es lo progresivo o qué es lo racional (Cf. Feyerabend, 1977, 364, n. 2; 1978/1982, 188; 1987/2005, 88-89). Esto es lo que lo conduce a Feyerabend a presentar como una consecuencia lógica un relativismo según el cual las teorías científicas no son más que descripciones arbitrarias, todas ellas igualmente válidas o equivalentes (Cf. Feyerabend, 1976, 385-388; 1978/1982, 141-142, 173-174; 1981c, 21-22; 1987b, 19-20; 1989, 395 n. 4, 399-400; 1991a, 89-90, 101; 1992, 367-368; 1993/2008, xiii-xiv)⁶.

⁶ Para una visión crítica se puede ver Dilworth, 2007, 53; Russell, 1983, 440-443; Gellner, 1975, 336; Munervar, 2000a, vi; 2006, 76-77; Van Fraassen, 2000, 32; Preston, 1997, 121-122, 174-175, 177-179, 191-193; 2000, 91-92; Lloyd, 2000, 119-120; Hattiangadi, 2000, 141-142; Oberheim, 2006, 102-103; Farrell, 2003, 102 y 147.

Pero insistimos, la intención de vienés no es postular una comprensión relativista respecto a la ciencia sino mostrar que el modelo positivista y racionalista de racionalidad debe reconocer el relativismo como una consecuencia que se sigue de su impotencia para poder explicar el progreso y el realismo científico en ciertas transiciones teóricas.

Podríamos resumir el planteo de nuestro filósofo de la ciencia del siguiente modo: la transición de dos teorías comprehensivas mutuamente inconmensurables no puede ser explicada según los cánones y principios del positivismo lógico y del racionalismo crítico. Pues de hacerlo se encuentra ante la siguiente disyuntiva: o deben admitir el fracaso de sus principios para dar cuenta del progreso científico o deben proclamar un relativismo. Feyerabend optó por mostrar el absurdo de estas tradiciones por este segundo camino: a saber, exponer su fracaso mostrando una concepción relativista de la ciencia cuando es analizada desde sus propios principios.

Cabe aquí entonces retomar la pregunta inicial de nuestro título. ¿Para quién es un problema la inconmensurabilidad? Evidentemente ésta no es en absoluto un problema para los científicos. El vienés insiste que los científicos —que trabajan en lo que los filósofos de la ciencia categorizarían como paradigmas o tradiciones mutuamente inconmensurables— pueden entenderse recíprocamente. Acceden a una recíproca comprensión a través de un proceso de inmersión o familiarización en el lenguaje y el mundo que supone la otra teoría. (Cf. Feyerabend, 1975/1992, 265-266; 1987a, 75-81).

La inconmensurabilidad no es un problema real para la ciencia sino para algunos intentos por parte de los filósofos de la ciencia de explicar la ciencia. Particularmente para una tradición epistemológica que ha intentado definir lo científico a través de una serie de distinciones que han resultado ser contextuales y ontológicamente dependientes (Cf. Feyerabend, 1970/1989, 89-90; 1975/1992, 167, 203-205; 1991a, 137-138).

La epistemología moderna, y luego la filosofía de la ciencia, en sus intentos de fundar o definir la objetividad o la racionalidad del conocimiento científico ideó todo tipo de distinciones. A saber, la distinción de Hume entre cuestiones de hecho y relaciones entre ideas (Cf. Hume, 2004); distinción que fue retomada más tarde por Kant en su división entre juicios sintéticos y juicios analíticos (Cf. Kant, 2003), y posteriormente por el positivismo lógico para el cual la distinción analítico-sintético se convertirá en la piedra angular de la teoría empirista del significado (Cf.

Hahn, Neurath y Carnap, 2002). A esto se suma la distinción entre teoría y método que caracteriza al racionalismo científico.

Pues bien, la doctrina de la inconmensurabilidad en la medida que manifiesta el carácter contextual de estas distinciones, es decir, cómo la concreción de cada una de estas distinciones es dependiente de la ontología que atraviesa a cada teoría, implica una crisis de esta tradición epistemológica. Cada teoría, tradición o cultura en virtud de su ontología introduce de una manera particular la distinción entre lo subjetivo y lo objetivo, entre lo real y lo aparente, entre los hechos y la teoría, entre las proposiciones teóricas y observacionales, entre el contexto de descubrimiento y justificación, entre ciencia y metafísica. Luego ninguna de estas dialécticas puede erigirse como el criterio neutro, universal y objetivo en virtud de cual pueda elegirse entre dos teorías rivales o tradiciones de pensamiento. Ellas son incapaces de dar cuenta del progreso, la racionalidad y la objetividad científica en un cierto tipo de transiciones teóricas. Éstos no ofrecen criterios para discernir si las nuevas teorías se refieren al mismo contenido empírico, si implican un progreso respecto a la anterior (Cf. Feyerabend, 1970/1981, 152-153), o si es racional su manera de delimitar lo objetivo de lo metafísico (Cf. Feyerabend, 1993/2008, 207, 242-243; 1975/1992, 265-266; 1981e, 16; 1981d, 23, n. 17).

La inconmensurabilidad supone una objeción y un verdadero problema para esta tradición que constituye a la epistemología moderna. Pues pone de manifiesto que sus distinciones son el resultado de una visión ontológica contextualmente situada y que en cuanto tales no pueden ser presentadas como el criterio universal, neutro y objetivo en virtud del cual puede determinarse la superioridad de una teoría o tradición sobre otra.

La inconmensurabilidad significa una crisis para un particular modelo axiomático de ciencia postulado por el positivismo lógico. Y, a su vez, para el racionalismo crítico que concibe a la ciencia como a las demás tradiciones de pensamiento como sistemas cerrados e inconmensurables.

Pero en la medida que Feyerabend deja de analizar la ciencia desde los cánones de su propia formación en el positivismo lógico y en el falsacionismo popperiano insiste que no debe valorarse la inconmensurabilidad como un verdadero problema. En sus estudios acerca de la historia de las concepciones humanas el vienés destaca la posibilidad de la inteligencia humana de argumentar y reflexionar al margen de determinados marcos

culturales. Esta valoración positiva de la inteligencia fundamenta la posibilidad de comunicación y mutua comprensión entre culturas.

Esta valoración de la inteligencia pone de manifiesto que Feyerabend nunca negó la posibilidad de una mutua o reciproca inteligibilidad o comparabilidad entre teorías o culturas –como creyeron sus críticos a propósito de su doctrina de la inconmensurabilidad. Éstos no entendieron que la inconmensurabilidad no era sino una reducción al absurdo, una objeción a modos específicos de concebir la ciencia y la cultura. En la Introducción que escribe para el volumen I y II de sus *Philosophical Papers*, escribe:

La inconmensurabilidad es una dificultad para algunas visiones filosóficas bastante ingenuas (en explicación, verosimilitud, progreso en términos de aumento de contenido); esto muestra que estas visiones fallan cuando son aplicadas a la práctica científica; ésta no crea ninguna dificultad para la misma práctica científica (Feyerabend, 1981b, p. xi. Traducción nuestra)⁷.

Estas son las consideraciones que le permiten inferir una noción de ciencia y cultura diametralmente opuesta a la postulada por sus interlocutores. Mientras ellos conciben las culturas como sistemas cerrados o marcos de referencias mutuamente inconmensurables, Feyerabend las comprende como manifestaciones modificables y accidentales de una naturaleza humana común (Cf. Feyerabend, 1991/2003, 110-111; 1994/1999, 194; 1991/2003, 61-62). Las manifestaciones históricas de la naturaleza humana se materializan en visiones del mundo temporales, nunca bien definidas y siempre ambiguas (Cf. Feyerabend, 1991/2003, 165) puesto que interactúan y se modifican recíprocamente. Todas las culturas (y en ellas, los paradigmas, teorías o comunidades científicas) cambian y establecen recíprocamente puentes de dialogo (Cf. Feyerabend, 1970/1981, 141 n. 36). Luego, no existen culturas completamente cerradas o inconmensurables (Feyerabend, 1994/1999, 194). En este sentido, afirma que “toda cultura es potencialmente cualquier cultura” (Cf. Feyerabend, 1991/2003, 109, 165; 1993/2008, 217-218, 271-272; 1994/1995, 144; 1994/1999, 57).

⁷ También se puede ver: Feyerabend 1970/1989, 108; 1981b, xv- xvi; 1981c, 22-23; 1991a, 156-157; 1987a, 81; 1993/2008, 211; 1994/1999, 313. Para una visión crítica del abandono de Feyerabend de la inconmensurabilidad como un problema, cf. Oberheim 2006, 23; Munévar 1999, 221; 2006, 40, 163-164, 174, 189-190; Oberheim, Honyningen-Huene 1999, 227-228; Preston 1999, 235-237; Farrell 2003, 81-83.

Feyerabend deja de considerar la inconmensurabilidad como un problema en la medida que comprende que ésta solo sólo constituye una objeción contra determinados modos de concebir la ciencia: significa un obstáculo para el positivismo lógico que insiste en la rigidez del significado de los términos y que intenta explicar el progreso científico mediante la reducción lógica de las antiguas teorías a las nuevas; también supone una crisis para el racionalista crítico que concibe como reales solo aquellas entidades que son fruto de las abstracciones o experimentaciones efectuadas desde sus propios esquemas conceptuales. (Cf. Feyerabend, 1970/1989, 108; 1981b, xi, xv- xvi; 1981c, 22-23; 1991a, 156-157; 1987a, 81; 1993/2008, 211; 1994/1999, 313). Pero atendiendo a la ambigüedad del lenguaje, a la interacción existente entre las culturas Feyerabend infiere que la inconmensurabilidad no es una característica que describa las relaciones reciprocas que se establecen entre las culturas. En *Postscript on Reativism* (1993), escribe:

Déjenme repetir que las culturas invocan una cierta realidad y que estas realidades por si mismas no están nunca bien definidas. Las culturas cambian, interactúan con otras culturas y el resultado indefinido es reflejado en sus mundos. Esto es lo que hace la comprensión intercultural y el cambio científico posible: cada cultura es potencialmente todas las culturas (Feyerabend, 1993/2008, 271-272. Traducción nuestra).

La valoración positiva de la inteligencia le permite a Feyerabend inferir la posibilidad de especular y reflexionar trascendiendo los límites culturales. A su vez, a partir de esta concepción de las culturas como unidades abiertas al intercambio –con el consecuente abandono del problema de la inconmensurabilidad– el vienés procura ofrecer una nueva explicación de la ciencia muy alejada de la ofrecida por el racionalismo y el positivismo. Tal como es manifiesto ya en su *Filosofía Natural* (1970/2013) Feyerabend piensa la ciencia desde un horizonte más amplio. A través de una ampliación temática y metodológica busca acceder a una comprensión de la ciencia desde una perspectiva más comprehensiva. Desde esta nueva perspectiva la ciencia se le presenta como la suma de múltiples tendencias míticas, filosóficas y artísticas que interactúan recíprocamente.

Para el vienés la ciencia constituye una de las muchas formas de pensamiento desarrolladas por el hombre. “La ciencia no es más que una parte de un todo más grande” (Feyerabend, 1991b, 24). La ciencia entendida como parte de la cultura occidental evoluciona y fluctúa a lo largo de la historia interactuando con diversos mitos y cosmovisiones del mundo. La ciencia, el mito y la filosofía no constituyen culturas cerradas sino

que, por el contrario, se suceden en una continua y recíproca interacción conformando un único proceso histórico a partir del cual se configura la ciencia occidental.

Contra los filósofos de la ciencia que buscan definir la actividad científica, mediante cánones abstractos, Feyerabend la presenta como una tradición que se manifiesta históricamente heterogénea. La ciencia es, en sí misma, una tradición histórica. Y ante la pregunta por la estructura propia de esta tradición y por los elementos que la distinguen de las demás tradiciones, Feyerabend responde que la ciencia posee una estructura que se define en función de las múltiples tradiciones mitológicas y filosóficas que la atraviesan históricamente. En su *Filosofía Natural* escribe:

Las tres formas de vida a que se refiere –mito, filosofía y ciencia– ni pueden separarse nítidamente, ni se suceden siempre por este orden. El mito anticipa la ciencia, y la ciencia tiene rasgos mitológicos; filosofía, ciencia y mito ora conviven pacíficamente, ora se disputan el derecho a existir; “supersticiones” y “prejuicios” los encontramos por doquier (Feyerabend, 1970/2013, 37).

Los límites entre la ciencia, el mito y la filosofía quedan desdibujados ante la nueva noción de cultura que propone como resultado del abandono del problema de la inconmensurabilidad.

Conclusión

La inconmensurabilidad revela la relación de inconsistencia que existe entre teorías científicas comprensivas al estar informadas por ontologías recíprocamente excluyentes. Ahora bien, dicha inconsistencia demuestra la imposibilidad de hablar de progreso, realismo y objetividad científica en los términos del positivismo lógico y del racionalismo crítico. Pues estos definen dichas nociones en virtud de un conjunto común de entidades observables. La inconmensurabilidad pone en evidencia cómo cada teoría en función de la ontología que la anima establece un criterio de demarcación particular entre el objeto real y el objeto teórico, entre los elementos objetivos y los subjetivos, entre lo empírico y lo metafísico. De este modo, demuestra la imposibilidad que existe para determinar desde el interior de una teoría científica si en la sucesión de teorías existe realmente progreso, si las teorías tratan con un mismo contenido empírico o si las entidades postuladas por la nueva teoría tienen idéntica referencia ontológica.

La doctrina de la inconmensurabilidad tal cual es formulada por Paul Karl Feyerabend no sólo revela la relación de inconsistencia o la irreductibilidad ontológica entre teorías científicas comprensivas sino que concomitantemente denuncia el reduccionismo que suponen determinados modos de entender la ciencia.

En un sentido negativo, la inconmensurabilidad impide retomar dialécticas o supuestos del positivismo lógico y del racionalismo crítico –o de la epistemología moderna en general–, a la hora de fundar la objetividad o la racionalidad científica. En un sentido positivo, se puede decir que la inconmensurabilidad es un intento de mostrar la necesidad de buscar una concepción de la racionalidad científica más amplia y comprensiva.

Referencia

- ANDERSSON, G. (1984). “¿Son Compatibles falsacionismo y falibilismo?”. *Estructura y desarrollo de la ciencia*. Radnitzky G., Andersson G. (eds.). Madrid, Alianza: 215-232.
- BHASKAR, R. (1975). “Feyerabend and Bachelard: Two Philosophers of Science.” *New Left Review* 94: 31-55.
- BROAD, P. (1979). “Paul Feyerabend: Science and the Anarchist.” *Science* 206: 534-537.
- BUNGE, M. (2003). *Cápsulas*. Barcelona, Gedisa.
- COUNIHAN, T. (1976), “Epistemology and Science - Feyerabend and Lecourt”. *Economy and Society* 5: 470-472.
- DEVITT, M. (2001). “Incommensurability and the Priority of Metaphysics”. *Incommensurability and Related Matters*. P. Hoyningen-Huene and H Sankey (eds.). Dordrecht, Kluwer: 143-157.
- DILWORTH C. (2007). *Scientific Progress. A Study Concerning the Nature of the Relation between Successive Scientific Theories*. Dordrecht, Springer.
- FARRELL, R. (2003). *Feyerabend and Scientific Values. Tightrope-Walking Rationality*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

- FEYERABEND, P. (1958). "Complementarity". *Proceedings of Aristotelian Society, Suppl. Vol. 32*: 75-104.
- FEYERABEND, P. (1958/1981). "An attempt at a realistic interpretation of experience". *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press: 17-36.
- FEYERABEND, P. (1961/1999). "Knowledge without foundation". *Paul K. Feyerabend: Knowledge, Science and Relativism, Philosophical Papers Volume 3*, John Preston (ed.). Cambridge, Cambridge University Press: 50-77.
- FEYERABEND, P. (1962). "Problems of Microphysics." *Frontiers of Science and Philosophy: University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science Volume 1*. Colodny R. (ed.). Pittsburgh, University of Pittsburgh Press: 189-283.
- FEYERABEND, P. (1962/1981a). "Hidden variables and the argument of Einstein, Podolsky and Rosen." *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press: 298-342.
- FEYERABEND, P. (1962/1981b). "Explanation, Reduction and Empiricism." *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press: 44-96.
- FEYERABEND, P. (1962/1989). *Límites de la ciencia. Explicación, reducción y empirismo*. Barcelona, Paidós.
- FEYERABEND, P. (1965). "Problems of Empiricism." *Beyond the Edge of Certainty. Essays in Contemporary Science and Philosophy*. Colodny R. (ed.). Pittsburg, CPS Publications in the Philosophy of Science: 145-260.
- FEYERABEND, P. (1965/1981a). "On the "Meaning" of Scientific Terms". *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press: 97-103.
- FEYERABEND, P. (1965/1981b). "Reply to Criticism. Comments on Smart, Sellars and Putnam." en *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press: 104-131.

-
- FEYERABEND, P. (1967). "The Mind-Body Problem." *Continuum* 5: 35-49.
- FEYERABEND, P. (1970/1981). "Consolations for the Specialist". *Problems of Empiricism. Philosophical Papers Volume 2*. Cambridge, Cambridge University Press: 131-167.
- FEYERABEND, P. (1970/1989). *Contra el Método. Esquema de una Teoría Anarquista del Conocimiento*. Barcelona, Ariel.
- FEYERABEND, P. (1970/2013). *Filosofía Natural*. Buenos Aires, Debate.
- FEYERABEND, P. (1975/1992). *Tratado contra el Método. Esquema de una Teoría Anarquista del Conocimiento*. Madrid, Tecnos.
- FEYERABEND, P. (1976). "Logic, Literacy and Professor Gellner." *British Journal for the Philosophy of Science* 27: 381-391.
- Feyerabend, P. (1977). "Review of Changing Patterns of Reconstruction." *British Journal for the Philosophy of Science* 28: 351-382.
- Feyerabend, P. (1977/1999). "Rationalism, Relativism and Scientific Method". *Paul K. Feyerabend: Knowledge, Science and Relativism, Philosophical Papers Volume 3*, John Preston (ed.). Cambridge, Cambridge University Press: 200-211.
- FEYERABEND, P. (1978/1982). *La Ciencia en una Sociedad Libre*. Madrid, Veintiuno Editores s.a.
- FEYERABEND, P. (1981a). *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press.
- FEYERABEND, P. (1981b). "Introduction: Scientific Realism and FEYERABEND Realism." *Realism, rationalism and scientific method, Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge, Cambridge University Press: iii-xvi.
- FEYERABEND, P. (1981c). "Historical Background: Some Observations on the Decay of the Philosophy of Science". *Problems of Empiricism. Philosophical Papers Volume 2*. Cambridge, Cambridge University Press: 1-33.

- FEYERABEND, P. (1981d). "More Clothes from the Emperor's Bargain basement: a Review of Laudan's Progress and its Problems". *Problems of Empiricism. Philosophical Papers Volume 2*. Cambridge, Cambridge University Press: 231-246.
- FEYERABEND, P. (1981e). *Tratado contra el método*. 2ª ed. Madrid: Tecnos.
- FEYERABEND, P. (1987a). "Putnam on Incommensurability: Comments on Reason, Truth and History." *British Journal for the Philosophy of Science* 38: 75-81.
- FEYERABEND, P. (1987b). "Reason, Xenophanes and the Homeric Gods." *The Kenyon Review* 9:12-22.
- FEYERABEND, P. (1987/2005). *Adiós a la Razón*, Tercera edición. Madrid, Técnos.
- FEYERABEND, P. (1989). "Realism and the Historicity of Knowledge." *Journal of Philosophy* 86: 393-406.
- FEYERABEND, P. (1991a). *Three Dialogues on Knowledge*. Cambridge, Basil Blackwell.
- FEYERABEND, P. (1991b). *Diálogos sobre el conocimiento*. Madrid: Cátedra.
- FEYERABEND, P. (1991/2003). *Provocaciones Filosóficas*. Madrid, Editorial Biblioteca Nueva.
- FEYERABEND, P. (1992). "Review of Science and Relativism. Some Key Controversies in the Philosophy of Science. By Larry Laudan." *Isis* 83: 367-368.
- FEYERABEND, P. (1993/2008). *Against Method. Third Edition*. London, Verso.
- FEYERABEND, P. (1994/1995). *Matando el tiempo. Autobiografía*. Madrid, Debate S.A.
- FEYERABEND, P. (1994/1999). *La Conquista de la Abundancia. La abstracción frente a la riqueza del ser*. Barcelona: Paidós.
- FINOCCHIARO, M. (1973). "Review of I. Lakatos and A. Musgrave, Criticism and the Growth of Knowledge." *Studies in History and Philosophy of Science* 3: 361.

- hr data-bbox="135 72 868 75"/>
- GELLNER, E. (1975). "Review of Beyond Truth and Falsehood." *The British Journal of Philosophy of Science* 26: 331-342.
- GIEDYMIN, J., (1971). "Consolations for the Irrationalist." *British Journal for the Philosophy of Science* 22: 39-53.
- GRUNFELD, J., (1984). "Feyerabend's Irrational Science." *Logical Analysis* 27: 221-232.
- HATTIANGADI, J. (1977). "The Crisis in Methodology: Feyerabend." *Philosophy of the Social Sciences* 7: 289-302.
- HATTIANGADI, J. (2000). "Two Concepts of Political Tolerance." *The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyerabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 125-147.
- HORGAN, J. (1993) "Paul Karl Feyerabend: El Peor Enemigo de la Ciencia", *Investigación y Ciencia* 201: 34-48.
- HOYNINGEN-HUENE, P. (2000a). "Paul K. Feyerabend. An Obituary". *The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyerabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 3-15.
- HOYNINGEN-HUENE, P. (2000b). "Paul K. Feyerabend and Thomas Kuhn". *The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyerabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 102-114.
- HOYNINGEN-HUENE, P., SANKEY, H. (eds). (2001). *Incommensurability and Related Matters*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- HAHN, H., NEURATH, O y CARNAP, R. (2002). "La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena." *REDES* 18: 103-149.
- HUME, D. (2004). *Investigación sobre el entendimiento humano*. Madrid: Istmo.
- KANT, I. (2003). *Crítica de la razón pura*. Buenos Aires, Losada.
- KUHN, T. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. 2^{da} ed. Chicago, Chicago University Press.

- KULKA, T. (1977). "How far does anything go? Comments on Feyerabend's Epistemological Anarchism." *Philosophy of the social sciences* 7: 277-287.
- LLOYD E., (2000). "Feyerabend, Mill, and Pluralism". *The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyerabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 115-124.
- MUNÉVAR, G. (1999). "Reviews Symposia: Radical Fallibilism vs Conceptual Analysis: The Significance of Feyerabend's Philosophy of Science". *Metascience* 8: 216-226.
- MUNÉVAR, G. (2006). *Variaciones filosóficas sobre temas de Feyerabend*. Germán Guerrero Pino (Comp.). Caracas, Programa editorial Universidad del Valle.
- NICKELS, T., (1998). "La Epistemología según Feyerabend." *Cinta de Moebio* 4: 123-129.
- OBERHEIM, E., (2006), *Feyerabend's Philosophy. Quellen Und Studien Zur Philosophie*. Berlín, Walter de Gruyter.
- OBERHEIM E., HOYNINGEN-HUENE P., (1997). "Incommensurability, Realism and Metaincommensurability." *Theoria* 12: 447-465.
- OBERHEIM E., HOYNINGEN-HUENE P., (1999). "Reviews Symposia: Radical Fallibilism vs Conceptual Analysis: The Significance of Feyerabend's Philosophy of Science." *Metascience* 8: 226-233.
- PEROVICH, A. (1991). "Incommensurability, its Varieties and its Ontological Consequences", en *Beyond reason: essays and the philosophy of Paul Feyerabend*, Gonzalo Munevar (ed.), Boston Studies in the Philosophy of Science, v.132, Washington, pp. 313-328.
- PRESTON, J., (1997). *Feyerabend. Philosophy, Science and Society*. Oxford, Blackwell.
- PRESTON, J. (2000). "Science as Supermarket: 'Post-Modern' Themes in Paul Feyerabend's Later Philosophy of Science". *The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyer-*

-
- rabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 80-101.
- RIBES, D. (1989). "Introducción: Pluralismo teórico y límites de la ciencia." *Feyerabend P. K., Límites de la ciencia. Explicación, reducción y empirismo*, Barcelona, Paidós: 9-35.
- ROSSI, P. (1975). "Hermeticism, Rationality and the Scientific Revolution." *Reason, Experiment and Mysticism in the Scientific Revolution*. Righini Bonelli M.L., Shea W.R. (eds). London, Macmillan.
- SANKEY, H. (1994). *The Incommensurability Thesis*. Aldershot, Avebury.
- SANKEY, H., HOYNINGEN-HUENE, P. (2001). "Introduction." *Incommensurability and Related Matters*. Hoyningen-Huene, P., Sankey, H. (eds). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: vii-xxxiv.
- THEOCHARIS, T., MIHALIS, P., (1987), Where Science Has Gone Wrong, *Nature* 329: 595-598.
- VAN FRAASSEN, B. (2000). "Sola Experientia? Feyerabend's Refutation of Classical Empiricism." *The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyerabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 28-36.
- WATKINS, J. (2000). *Feyerabend among Popperians 1948-1978. The Worst Enemy of Science? Essays in memory of Paul Feyerabend*. J. Preston, G. Munévar and D. Lamb (eds.). New York, Oxford University Press: 47- 57.
- WORRALL, J. (1978). "Against too much Method." *Erkenntnis* 13: 279-295.

Modelación numérica y resultados experimentales de un dispositivo de aislamiento sísmico

Gustavo Gioacchini & Miguel Tornello & Carlos Frau

Resumen

Los terremotos destructivos son uno de los fenómenos naturales que causan anualmente la mayor cantidad de pérdidas de vidas humanas y también económicas. En los últimos años la ingeniería estructural sismorresistente ha desarrollado nuevas estrategias para proteger las construcciones de los terremotos tales como el aislamiento sísmico. Numerosos antecedentes muestran que dicha estrategia ha sido orientado fundamentalmente a grandes emprendimientos, aspecto que se considera altamente positivo sin embargo, se han descuidado muchas otras obras, ampliamente difundidas y masivas como son las viviendas de uno o dos niveles, edificios comerciales y edificios de departamentos de baja altura, estructuras, equipos industriales de bajo peso, etc. En un marco más general la investigación tiene como objetivo el diseño, la fabricación y la caracterización mecánica y elástica de aisladores sísmicos con baja carga axial, pero en el presente trabajo se discuten los resultados de la fabricación de distintos prototipos de aisladores elastómericos. Se estudia un modelo numérico utilizando para los aspectos constitutivos la función de energía propuesta por Ogden. Se compararon los resultados del modelo con ensayos experimentales para sollicitaciones axiales de compresión comprobando una buena correlación de los resultados y de las variables elásticas que dependen del elastómero.

Palabras claves: modelos numéricos, aislamiento sísmico, ensayos experimentales.

Introducción

Se podría decir que un modelo de las ciencias físicas es una traducción de la realidad física de un sistema físico en términos matemáticos, es decir, una forma de representar cada uno de los tipos entidades que intervienen en un cierto proceso físico mediante objetos matemáticos. Las relaciones matemáticas formales entre los objetos del modelo, deben representar de alguna manera las relaciones reales existentes entre las diferentes entidades o aspectos del sistema u objeto real. Así una vez “traducido” o “representado” cierto problema en forma de modelo matemático, se pueden aplicar el cálculo, el álgebra y otras herramientas matemáticas para deducir el comportamiento del sistema bajo estudio. Un modelo físico requerirá por tanto que se pueda seguir el camino inverso al modelado, permitiendo reinterpretar en la realidad las predicciones del modelo.

El modelado numérico (a veces llamado modelización numérica) es una técnica basada en el cálculo numérico, utilizada en muchos campos de estudio (ingeniería, ciencia, etc) desde los años 60 para validar o refutar modelos conceptuales propuestos a partir de observaciones o derivados de teorías anteriores. Si el cálculo de las ecuaciones que representan el modelo propuesto es capaz de ajustar las observaciones, entonces se habla de un modelo consistente con las mismas, y se dice también que el modelo numérico que confirma las hipótesis (el modelo); si el cálculo no permite en ningún caso reproducir las observaciones, se habla de un modelo inconsistente con los datos y que refuta el modelo conceptual. A menudo, este término se utiliza como sinónimo de simulación numérica.

Los terremotos son fenómenos naturales que ocasionan cuantiosos daños materiales y un número significativo de pérdidas de vidas. En muchas regiones del planeta se producen terremotos severos capaces de colapsar estructuras e interrumpir la actividad económica, líneas de comunicación y servicios públicos. Una de las principales causas de las grandes pérdidas es la falta de conocimiento sobre la respuesta de las construcciones frente a terremotos severos, sumado a la incertidumbre del comportamiento de los materiales, tipo de suelos, fundaciones, características de las fuentes generadoras de terremotos, etc., lo cual se traduce en diseños, en parte, no adecuados para afrontar la acción de terremotos destructivos.

Una de las estrategias no tradicionales para controlar el daño en las construcciones es el aislamiento sísmico. El objetivo fundamental de la estrategia es desacoplar la estructura del suelo de fundación con el objeto de que el movimiento del terreno, durante un sismo no sea transmitido

a la superestructura y que ella permanezca esencialmente detenida en un marco de referencia inercial, Figura 1. Por cierto, un desacople perfecto entre suelo y estructura es impracticable actualmente, sin embargo, cualquier sistema de aislamiento busca concentrar en él la deformación impuesta por el suelo, filtrando el movimiento que se transmite hacia la superestructura.

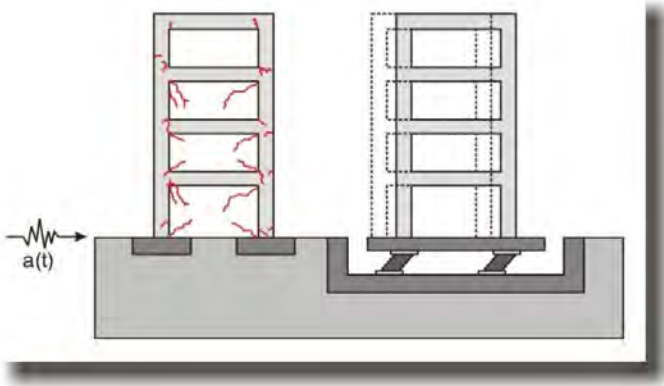


Figura 1: Respuesta de una estructura convencional y una aislada.

La implementación de dispositivos de aislamiento sísmico permite reducir la demanda sísmica sobre las estructuras y asegurar su capacidad de resistencia frente a terremotos destructivos, por lo tanto dichas estructuras muestran un comportamiento elástico ante la ocurrencia de importantes terremotos, situación que garantiza la estabilidad de la estructura aislada, la supervivencia de sus ocupantes y contenidos.

El concepto de aislamiento sísmico es ampliamente aceptado en regiones sísmicas para proteger edificios importantes o que deban cumplir funciones esenciales después de ocurrido el terremoto, de hecho hay muchos ejemplos en Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Italia y Nueva Zelanda. También existen proyectos de menor costo para viviendas económicas de los cuales hay casos realmente construidos en Chile, China y Armenia. Por ejemplo en el caso de hospitales el equipamiento tiene un costo muchas veces mayor que el edificio mismo. Suministrar los antecedentes indica que las técnicas del aislamiento sísmico han sido orientada fundamentalmente a grandes emprendimientos o bien a obras de infraestructura, aspecto que se considera altamente positivo, sin embargo, en países en vías de desarrollo se ha descuidado un gran número de obras,

ampliamente difundidas y de construcción masiva (viviendas de uno o dos niveles, edificios comerciales, hoteles y edificios de departamentos de baja altura, estructuras y equipos industriales de bajo peso, equipos de estaciones transformadoras, etc.) que sufren el impacto de un terremoto destructivo de la misma manera que las grandes obras, ocasionando pérdidas económicas y de vidas humanas, retraso socio económico de la región, postergaciones y abandono de las zonas afectadas, etc.

A nivel mundial existen escasos antecedentes sobre el empleo de dispositivos de aislamiento para estructuras de bajo peso. Existen numerosas aplicaciones en aislamiento de equipos industriales y máquinas en general para controlar las vibraciones propias o de otros equipos o bien para reducir los efectos de los terremotos.

Si bien los dispositivos que hoy existen comercialmente pueden también utilizarse para el tipo de construcción mencionada en párrafo precedente, los mismos tienen, en general, para los países en vías de desarrollo, los siguientes inconvenientes: i) los dispositivos tienen sus propias patentes, ii) no se fabrican en el país y por lo tanto hay que importarlos con el consecuente incremento de los costos, iii) para amortizar su costo es necesario fabricar un número importante de dispositivos de tal manera que no tenga incidencia relevante en el costo de la construcción; iv) no permite generar desarrollos con tecnología local.

En el presente trabajo se discuten los resultados de la modelación numérica del dispositivo de aislamiento y el estudio de la respuesta numérica y experimental de los mismos aisladores bajo carga axial controlada. Se muestran algunos de los resultados del diseño y fabricación de un dispositivo de aislamiento sísmico elastomérico para bajo nivel de carga axial, con el objeto de ser empleado en las construcciones precedentemente citadas.

Características del aislador elastomérico

Las características geométricas de los aisladores fabricados en el marco del presente trabajo se muestran en la Figura 2. El aislador está conformado por dos pletinas de acero de conexión, inferior y superior, y por un taco de goma de 200 mm de altura.

Para la fabricación de los dispositivos se mezclaron los componentes en una mezcladora mecánica; una vez que el material toma la consistencia

deseada es colado en el molde y llevado a la prensa para su vulcanización. Se sometió al compuesto a una presión de 120 toneladas y una temperatura de 150°C por un lapso de tiempo de dos horas. Finalmente se realizó el desmolde de la pieza.

Se tuvo en cuenta las especificaciones recomendadas para que un compuesto base sea utilizado en la fabricación de aisladores sísmicos. Los valores son: Dureza: 60 +/- 10 [shore]; Tensión máxima: > 170 [kg/cm²]; Elongación máxima: > 400 %; Amortiguamiento: > 8 %; Módulo de corte: $7 < G < 8$ [kg/cm²] (Naeim F. et al., 1999; Auqui M. et al., 2010). Algunos de estos parámetros fueron comparados con los resultados de los ensayos realizados sobre el material base de los aisladores.

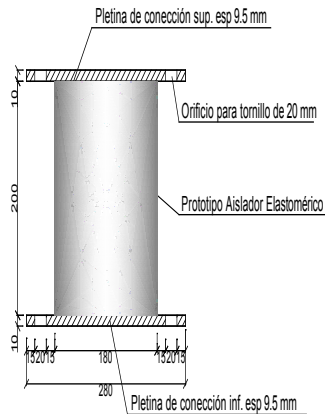


Figura 2: Características del aislador estudiado
Dimensiones en “mm”)

Los componentes y sus respectivas proporciones en el compuesto de goma utilizado para la fabricación de los dispositivos se resumen en la Tabla 1.

Se realizaron los siguientes ensayos al compuesto utilizado en la fabricación de los dispositivos: Dureza, Resistencia a la tracción máxima y elongación a la rotura y Compresión residual. Para realizar dichos ensayos se confeccionaron dos probetas vulcanizadas bajo presión durante 30 minutos.

Para los ensayos de tracción se utilizó la probeta tipo dumbell las cua-

les se ensayaron con un dinamómetro. En la Figura 3 se observan las probetas y el dinamómetro utilizado. La elongación última que se determinó en el ensayo corresponde a 417% y la tensión de tracción fue de 174.82 Kg/cm². La dureza obtenida fue de 65 shore. Este método de ensayo se basa en la penetración de un indentador específico en el material. La compresión residual obtenida fue de 16.76%, este ensayo tiene como objeto medir la capacidad del compuesto de goma a retener sus propiedades elásticas después de una prolongada compresión.

Tabla 1: Componentes del compuesto de la goma utilizada.

Compuesto de goma 8654		
Componentes (base 1kg)		Cantidad [kg]
Elastomero	Neopreno W	0,293
	Caucho Natural	0,245
Cargas	Negro de Humo FEF	0,234
	Silice Precipitada	0,088
Auxiliares de Proceso		0,033
Activadores		0,065
Antioxidantes y antiozonates		0,027
Catalizadores y Reticulantes		0,015

Los resultados del presente trabajo corresponden a los aisladores sin núcleo confinado. Existen otro grupo de aisladores donde el núcleo del mismo ha sido confinado con distintas técnicas, en algunos casos se ha utilizado una lámina de fibra y en otros casos un tubo de acero con distintos diámetros y espesores. Los resultados de dichos aisladores serán publicados próximamente.



Figura 3: Probetas y ensayos de dureza, tracción y compresión en el material base.

Los dispositivos de aislamiento estudiados poseen dos diferencias características en relación a los que habitualmente se utilizan a nivel mundial. La primera es que no poseen las planchas de acero intermedias, vulcanizadas a las capas de goma situación que le confiere las siguientes características: i) se reducen notablemente los costos de fabricación, ii) se reduce su capacidad a carga axial y iii) se reduce la rigidez efectiva de los dispositivos.

La segunda característica está centrada en el núcleo del dispositivo de aislamiento. Mientras que los más frecuentemente utilizados a nivel mundial utilizan en algunos casos núcleos de plomo o bien sin núcleo, los aisladores estudiados en el presente trabajo poseen un núcleo de elastómero confinado con un tubo de acero o bien con láminas de fibras de vidrio o de carbono. Dicha característica también permite una reducción de los costos de fabricación y además plantea un desarrollo tecnológico diferente al conocido en la actualidad. Si bien los resultados de estos últimos dispositivos serán publicados próximamente, el confinamiento del núcleo de los aisladores busca incrementar el amortiguamiento de los dispositivos.

Características del modelo numérico

Para predecir el comportamiento del dispositivo de aislamiento sísmico diseñado y fabricado, se estudia numéricamente la respuesta mecánica, considerando el comportamiento no lineal de los materiales componentes y la interacción entre ellos a partir de una combinación de cargas ficti-

cias. El modelo hiperelástico utilizado para describir el comportamiento del material elastomérico es el Ogden (Ogden R., 1984). Para el acero se utiliza un modelo elástico basado en la Ley de Hooke. Para evaluar el análisis numérico del aislador se utiliza el código comercial ABAQUS (Abaqus, 2003).

Modelo en elementos finitos del aislador

Para la modelación se utilizaron elementos sólidos deformables en tres dimensiones. Los contactos entre superficies de las placas de acero y taco de goma se definieron con la opción de ABAQUS “*surface-surface*”, especificando superficies maestras (*master*) y esclavas (*slave*), las cuales tienen la característica de que la superficie maestra no puede ser penetrada por la superficie esclava. La interacción de las superficies fue definida para un comportamiento longitudinal y transversal. Para el primero se especificó un comportamiento de contacto rígido o duro (*Hard Contact*), y para el segundo se definió un contacto de fricción. En la Figura 4 se observa el modelo de elementos finitos generado para el aislador estudiado.



Figura 4: Modelo de elementos finitos utilizado en la plataforma ABAQUS.

Especificaciones de los materiales utilizados

Los materiales utilizados para la modelación fueron goma y acero. Para el acero se utilizó un modelo elástico isotrópico con un módulo de elasticidad $E=210000$ MPa. Para el elastómero se utilizó el modelo hiperelástico de Ogden (Ogden R., 1984). Los parámetros correspondientes

al modelo de Ogden se obtuvieron experimentalmente y en forma simultánea mediante ensayos de tracción, compresión y corte, los mismos se resumen en la Tabla 2 (Weinberg K., 2010). Se utilizó para el módulo volumétrico un valor de $k = 10000$ MPa, de tal manera que con dicho parámetro los resultados numéricos describen una respuesta prácticamente incompresible.

Tabla 2: Parámetros correspondientes al modelo de Ogden.

Constantes (MPa)						
Compuesto	μ_1	μ_2	μ_3	α_1	α_2	α_3
Goma	1	0.0012	-0.01	1.3	5	-2

Modelo hiperelástico utilizado para el elastómero

El modelo constitutivo utilizado para simular el comportamiento del elastómero está basado en la función de energía propuesta por Ogden (Ogden R., 1984; Núñez C. A. y Celentano D. J., 2005; Bellomo F. et al., 2008).

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} \left(\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3 \right)$$

Donde N es un número entero positivo y μ_i , α_i son parámetros del material que se determinan en base a una serie de ensayos experimentales. Las deformaciones están parametrizadas por los estiramientos principales λ_A dados por:

$$\lambda_A = (\text{eig } A(C))^{1/2} = (\text{eig } A(B))^{1/2} \quad ()$$

Donde los autovalores se obtienen a partir del tensor derecho de Cauchy-Green C ó del tensor izquierdo de Cauchy-Green B . Debido a la cuasi-incompresibilidad que presentan los elastómeros se realiza una descomposición multiplicativa del tensor gradiente de deformación en sus

partes volumétrica (F_{vol}) y desviadora ($\bar{F}$).

$$\bar{F} = F_{vol} \bar{F}, \quad F_{vol} = J^{1/3} I, \quad \bar{F} = J^{-1/3} F \quad ()$$

Donde $J = \det[F] = \det[F_{vol}]$, $\det[\bar{F}] = 1$. En adelante, una variable sobre-lineada ($\bar{\cdot}$) indica que se trata de la parte desviadora de la misma.

Mediante esta descomposición, la energía de deformación se puede expresar a través de una descomposición aditiva de sus partes volumétrica y desviadora:

$$W = (J) + \bar{W}(\bar{C}) \quad ()$$

Donde C es la parte desviadora del tensor derecho de Cauchy-Green, $C = FTF$ Asociada con la deformación volumétrica se tiene, en la configuración actualizada, una presión hidrostática p , dada por:

$$p = W(J) \quad ()$$

Aplicando la descomposición indicada en la ecuación (3) el equivalente de la ecuación. (4), en estiramientos principales, resulta:

$$W(\lambda_i) = W(J) + W(\lambda_i) \quad ()$$

Donde $W(J)$ describe la energía libre asociada al cambio de volumen del sólido y $W(\lambda_i)$ la asociada a las deformaciones isocóricas (a volumen constante).

El potencial en función de los estiramientos modificados se expresa como:

$$W(\lambda_i^*) = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{*\alpha_i} + \lambda_2^{*\alpha_i} + \lambda_3^{*\alpha_i} - 3) \quad \lambda_i^* = J^{-1/3} \lambda_i$$

Partiendo de la derivación de la función de energía dada por la ecuación (6) y aplicando la regla de la cadena se obtiene el segundo tensor de tensiones de Piola-Kirchhoff S :

$$S = 2 \sum_{A=1}^3 \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_A} \frac{(\lambda_A)^2}{\partial C} \frac{1}{\lambda_A} + JW(J)C^{-1}$$

En la ecuación (8) la tensión total S resulta desacoplada en sus partes desviadora y volumétrica S_v dadas, respectivamente, por:

$$\bar{S} = 2 \sum_{A=1}^3 \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_A} \frac{(\lambda_A)^2}{\partial C} \frac{1}{\lambda_A} \quad S_v = JW(J)C^{-1}$$

El tensor C puede escribirse aplicando descomposición polar, como:

$$C = \sum_{A=1}^3 \lambda_A N_A \otimes N_A$$

Donde λ_A son, como se expresó anteriormente, los estiramientos principales y N_A son los respectivos autovectores (Simo, J., 1993). De la ecuación (10) se obtiene:

$$\frac{(\lambda_A)^2}{\partial C} = N_A \otimes N_A$$

Donde $\{N_1, N_2, N_3\}$ son ortogonales y definen un sistema rectangular de vectores unitarios. Finalmente resulta:

$$\frac{\partial W(\lambda_i^*)}{\partial \lambda_A} = \sum_{i=1}^N \mu_i J^{1/3} \left(\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i}) \right)$$

Si se reemplazan las ecuaciones (11) y (12) en la ecuación (9), se obtiene para la parte desviadora del tensor de tensiones, la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \sum_{A=1}^3 \left(\sum_{i=1}^N \mu_i J^{-\alpha_i/3} \left(\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i}) \right) \right) N_A \otimes N_A \frac{1}{\lambda_A} \quad ()$$

Procediendo de forma análoga, se puede expresar la parte desviadora del tensor de tensiones de Cauchy σ en la forma:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{J} \sum_{A=1}^3 \left(\sum_{i=1}^N \mu_i J^{-\alpha_i/3} \left(\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i}) \right) \right) \frac{1}{\lambda_A} F N_A \otimes N_A F^T$$

Se han propuesto varias expresiones para caracterizar la energía interna asociada al cambio de volumen (Crisfield, M., 1996). La expresión utilizada en los desarrollos de este trabajo está dada por:

$$W(J) = \frac{1}{2} k (J - 1)^2 \quad ()$$

Donde k es el módulo volumétrico del material en la configuración de referencia. Teniendo en cuenta la ecuación (15) y considerando S_v positiva para compresión se obtiene:

$$S_v = -Jk (J - 1) C^{-1} \quad ()$$

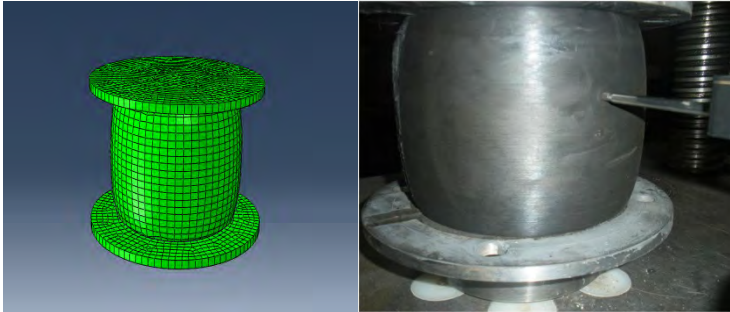
Las expresiones finales de las tensiones, en las configuraciones de referencia y actualizada, resultan respectivamente dadas por:

$$S = \sum_{A=1}^3 \left(\sum_{i=1}^N \mu_i J^{-\alpha_i/3} \left(\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i}) \right) \right) N_A \otimes N_A \frac{1}{\lambda_A} - JK(J-1)C^{-1}$$

Condiciones de borde del modelo numérico

El modelo de elementos finitos fue restringido a los desplazamientos en las tres direcciones. La restricción se impuso en la parte inferior del aislador, en coincidencia con la platina de conexión inferior. El modelo fue analizado para tres desplazamientos verticales: 2; 3 y 5 cm. En la Figura 5 se observa el modelo del aislador elastomérico deformado bajo carga axial con deformación vertical controlada. Las respuestas obtenidas fueron comparadas con los resultados obtenidos experimentalmente. La misma Figura 5, muestra la similitud de respuesta entre el modelo y los ensayos.

Figura 5: Modelo del aislador elastomérico bajo carga axial de compresión y ensayos experimentales para carga normal.



Resultados

Para cada uno de los tres desplazamientos verticales (2, 3 y 5 cm), se obtuvieron, para el modelo numérico del aislador, las curvas fuerza-desplazamiento. La Figura 6 muestra la curva para un desplazamiento vertical controlado de 5 cm.



Figura 6: Curva fuerza – desplazamiento del modelo numérico para una deformación controlada de 50mm.

En la Figura 7, se muestran superpuestas las curvas fuerza-desplazamiento correspondiente a los resultados numéricos utilizando el modelo de Ogden y resultados obtenidos experimentalmente. De la gráfica se deduce una buena correlación entre los resultados experimentales y numéricos,

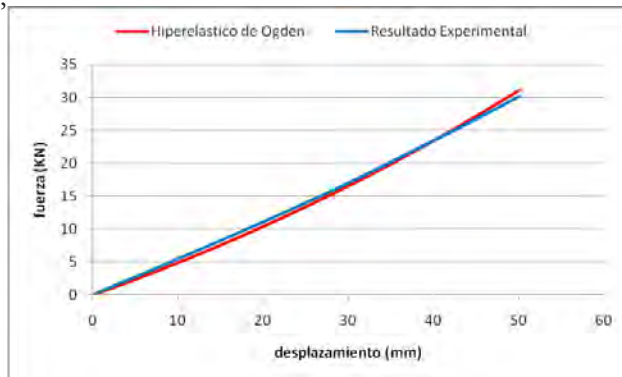


Figura 7: Curva “Fuerza – desplazamiento” obtenida del modelo numérico y resultados experimentales para una deformación controlada de 50 mm.

En las Figuras 8 y 9 se muestra la distribución de tensiones de Mises, para el modelo hiperelástico de Ogden para un desplazamiento de 2 y 5 cm. respectivamente.

Los resultados indican que las tensiones máximas se encuentran en la unión de las placas de conexión superior e inferior con el taco de goma del aislador. Se observa también un crecimiento de las tensiones desde el núcleo de la goma hacia el exterior. Dicha respuesta es más evidente para mayores desplazamientos verticales. Los resultados indican que el modelo numérico de Ogden representa adecuadamente el comportamiento de los dispositivos a carga vertical para carga axial y desplazamientos verticales controlados.

Las próximas etapas del trabajo se centraran en evaluar, experimentalmente, la respuesta de los aisladores a cargas horizontales cíclicas y verificar si el modelo numérico de Ogden es adecuado para representar el comportamiento del aislador a cargas horizontales y verticales simultáneas.

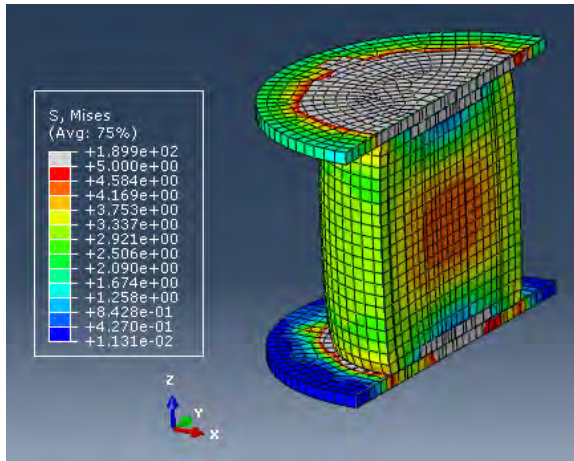


Figura 8: Estado de tensiones [kg/cm²], para un desplazamiento vertical de 2 cm.

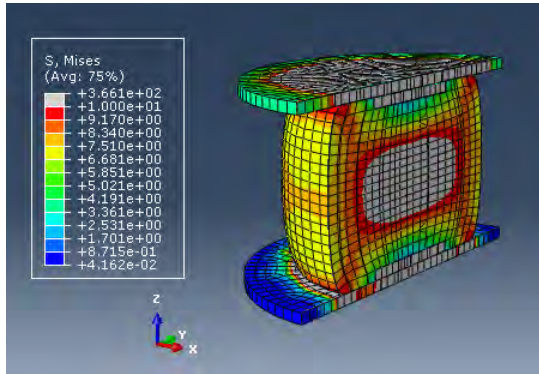


Figura 9: Estado de tensiones [kg/cm²], para un desplazamiento

En la Figura 10 se observa la curva fuerza-desplazamiento correspondiente a los resultados numéricos del modelo de Ogden para carga cíclica horizontal y carga vertical simultánea para un desplazamiento lateral máximo de 10 cm. La Figura 10 muestra un amortiguamiento bajo sin embargo se hace notar que los resultados corresponden a un aislador elastomérico sin núcleo confinado.

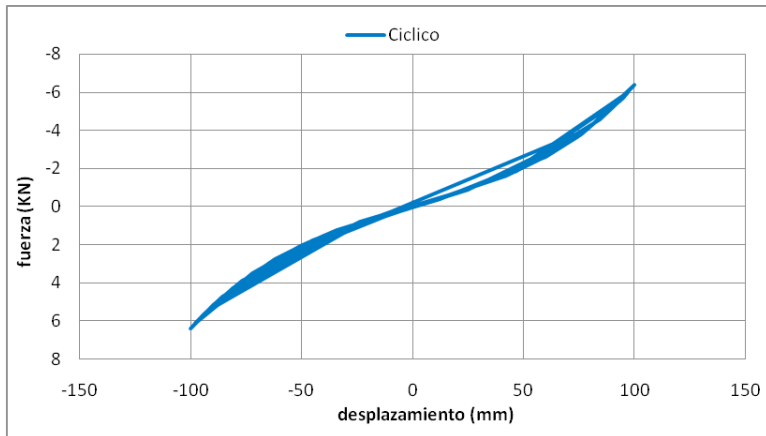


Figura 10: Curva fuerza – desplazamiento del modelo numérico para carga cíclica horizontal y vertical simultánea.

Conclusiones

Las curvas fuerzas – desplazamientos obtenidos con el modelo numérico propuesto en el trabajo y las obtenidas con los ensayos experimentales presentan muy buenas correlaciones, situación que ha permitido validar el modelo numérico utilizado.

Los resultados experimentales bajo carga axial y desplazamiento controlado (hasta 50 mm) muestran una muy buena aproximación con los resultados numéricos obtenidos con el modelo hiperelástico de Ogden.

Los ensayos realizados al compuesto de goma utilizado en la fabricación de los prototipos de aislamiento sísmico arrojaron buenas aproximaciones con los valores recomendados por la bibliografía para los dispositivos de aislamiento sísmico estudiados en el presente trabajo.

El modelo numérico de Ogden ha permitido obtener la constitutiva del aislador estudiado en el presente trabajo en el formato fuerza-deformación, para un desplazamiento lateral controlado máximo de 10 cm. Los resultados obtenidos deberán verificarse a través de ensayos experimentales en futuras etapas de la investigación.

Referencias

- ABAQUS 6.4-1. Theory Manual. Hibbit, Karlson and Sorenson, Inc.: Pawtucket, U.S.A., 2003.
- AGUIAR R., ALMAZÁN J. L., DECHENT P., SUÁREZ V., (2008.) “Aisladores de base Elastoméricos y FPS”, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito, Ecuador.
- AUQUI M. V., AGUIAR R., GÓMEZ P. (2010). Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador. Proyecto previo a la obtención de título de ingeniero civil.
- BELLOMO F., NALLIM G., OLLER S., Modelo para el análisis del comportamiento mecánico de materiales compuestos de matriz elastomérica reforzada. *Mecánica Computacional*, Vol XXVII, págs. 593-613 Alberto Cardona, Mario Storti, Carlos Zuppa. (Eds.) San Luis, Argentina, 2008.
- BESA, J., DE LA LLERA J. C., JÜNEMANN R., Experimental behavior and design of a new kinematic isolator. *Engineering Structu-*

res, Vol.32, 508-522, 2010.

CRISFIELD, M.A., Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures. *John Wiley & Sons*, Volume II: Advanced Topics, 1996.

JANGID R. S., KELLY J. M. Base Isolation for near-fault motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30:691-707. 16, 2001.

KELLY J. M., CALABRESE A. y SERINO G., Design criteria for Fiber Reinforced Rubber Bearings. *15WCEE*, Lisboa, 2012.

MARTELLI A., (2005). Modern seismic protection systems for civil and industrial structures. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. 16-19 Noviembre de 2005.

NAEIM F., KELLY J. M., Design of seismic isolated structures. Editorial J. Wiley and Sons. INE, 1999.

NÚÑEZ C. A. y CELENTANO D. J., Caracterización experimental y numérica de compuestos elastoméricos utilizados en disipadores de energía. *Mecánica Computacional* Vol. XXIV A. Larreguy (Editor) Buenos Aires, Argentina, 2005.

OGDEN R., Non-linear elastic deformations, Dover Publications, New York, 1984.

REVISTA BIT, Especial terremoto Chile 2010. Aislación y disipación de energía. Mayo2010. (Disponible online www.ftic.la/.../DELALLERA%202.pdf), 2010.

SIMO, J. C., Topics on the Numerical Analysis and Simulation of Plasticity. *Handbook of Numerical Analysis*, Elsevier Science Publishers, Vol. III of, 1993.

TORNELLO M., Aislamiento sísmico de base en construcciones civiles, emplazadas en zonas de alto riesgo sísmico. Director: Dr. Sarrazin A. M. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, 2007.

WEINBERG K., Lecture Notes for Zur Methode der finiten Elemente in der Mechanik II: Nichtlineare Probleme, TU Berlin [in English]. <http://mechanik.tu-berlin.de/weinberg/Lehre/fem2/Chapter4.pdf>, 2010.

Los componentes de los modelos

Luis Gómez

Resumen

Cuando se habla de los modelos se da por supuesto que se trata de modelos científicos. Pero la realidad es que se trabaja con modelos también en otros entornos como la Filosofía, la Tecnología y la Técnica. De modo que en este artículo se adopta una perspectiva amplia y se consideran cuatro tipos de modelos: filosófico, científico, tecnológico y técnico. Y desde una perspectiva lógico-semiótica y social se destacan cuatro componentes comunes a todos: 1) formal, lógico-matemático o sintáctico, 2) significativo o semántico, 3) operativo o pragmático, y 4) ético-social. También se supone que el modo y grado en que se presenta y desarrolla cada uno de estos componentes es desigual en los diversos modelos que se utilizan, aunque sean del mismo tipo.

Palabras clave: tipos de modelos, componentes, semiótica, científico, tecnológico, ético.

En la actualidad, cuando se habla de los modelos en general se da por supuesto que se trata de modelos científicos. Pero la realidad es que también se trabaja con modelos en otros entornos como la Filosofía, la Tecnología y la Técnica. Por ejemplo, hay modelos de explicación, modelos antropológicos, modelos de producción industrial, modelos de liderazgo, y muchos otros. Por tal motivo, en esta contribución se adopta una perspectiva amplia para intentar abarcarlos a todos.

El propósito de este artículo es presentar y describir brevemente los cuatro componentes comunes a los modelos filosóficos, científicos, técnicos y tecnológicos desde una perspectiva lógico-semiótica y social. En tanto cualquier modelo puede ser concebido como un objeto semiótico complejo y a la vez como un producto de la sociedad que lo genera y lo usa, se considera que todos los modelos comparten cuatro clases de componentes: sintácticos, semánticos, pragmáticos y éticos.

¿Qué es un modelo?

Desde un punto de vista general un modelo puede ser concebido como un objeto semiótico complejo, que da respuestas o soluciones a un problema (general o específico), con componentes semánticos, sintácticos y pragmáticos en un entorno social.

Un modelo es una estructura, en cierto grado compleja, que representa de algún modo particular una característica o comportamiento de algo, con un fin y con resultados concretos, para un conjunto de usuarios o intérpretes del modelo, en un contexto socio-ético. Así, se puede definir operacionalmente un modelo como una estructura M que representa un objeto O para un agente A que la utiliza para comprender, conocer, controlar o modificar a O .

Un modelo es una “estructura” en tanto es una clase de objeto construido metódicamente como instrumento racional y operativo, por y para interactuar con los usuarios, y con elementos de diversos entornos, en vistas a (al menos) un fin.

Los agentes que *diseñan* los modelos generalmente son seres humanos, pero también pueden ser agentes inteligentes virtuales, como un sistema inteligente, y más o menos autónomo, de software. Los agentes que *usan* los modelos pueden ser individuos humanos, o un sistema de software que opera en máquinas, con algún grado de autonomía.

El objeto o sistema-objeto que es modelado puede pertenecer a cualquier categoría ontológica.

Todo modelo está orientado a un fin, y favorece la aproximación cognitiva y operativa a aquello de lo que es modelo. Lo puede hacer de diversas maneras. La maqueta que hace un arquitecto es un modelo físico a escala de un proyecto edilicio que favorece su visualización completa desde diversos puntos de vista y en relación con su entorno. Es un modelo icónico y material. En cambio, cuando el arquitecto traza las primeras líneas al comenzar un proyecto, éstas son expresiones simbólicas que representan conceptos y sentimientos interrelacionados y que sirven de espejo para la reflexión y la clarificación conceptual. Éste es un modelo simbólico constituido por una representación ideográfica compleja. Y finalmente el plano del edificio es un modelo normalizado que representa el objeto que se desea construir, dibujado en función de cálculos precisos y según normas estrictas, que identifica técnica y legalmente el edificio desde que es un proyecto validado hasta después de ser materializado.

Todo modelo es potencialmente útil, en tanto está orientado a un propósito. Los resultados que se obtienen por la aplicación de un modelo pueden ser más o menos cercanos a su fin, por lo que son la medida de su éxito, o de la necesidad de hacer ajustes o mejoras al modelo o a algún aspecto de su implementación. Desde la etapa inicial de diseño del modelo el agente debe contemplar la dimensión ética y social de la utilización del mismo, tanto en el fin intencional a priori como en los resultados alcanzados a posteriori.

C o n t e x t o

Ético, Cultural, Político,
Histórico, Social, Económico

T (teoría)

M (modelo)

A (agente)

O (objeto)

R (resultados)

F (fin)

C o n t e x t o

Ético, Cultural, Político,
Histórico, Social, Económico

Los componentes de los modelos

Los modelos están constituidos por cuatro tipos de componentes: 1) formal, estructural, lógico-matemático o sintáctico (CF), 2) significativo o semántico (CS), 3) operativo o pragmático (CO), y 4) ético, social e histórico (CE). Se da por supuesto que el modo y el grado en que se presenta y desarrolla cada uno de estos componentes es desigual en los diversos modelos que se utilizan, aunque sean del mismo tipo.

1. *El componente formal*, lógico-matemático o sintáctico (CF) se refiere a la estructura interna del modelo expresada por medio de un lenguaje formal, como ecuaciones matemáticas y fórmulas lógicas o algoritmos generales, o un lenguaje formalizado, como fórmulas lógicas, matemáticas o algoritmos computacionales con contenido definido parcialmente. Con lo que incluye un sistema de representación verbal y un sistema de representación gráfica, con predominio de la dimensión sintáctica, formal.

Las teorías científicas no-matemáticas se expresan en (o son expresiones de) un lenguaje formalizado, con un alto grado de abstracción. Las teorías se interpretan y aplican a través de *familias* de modelos (Giere, p.321) que puedan operacionalizarlas para explicar o para transformar tecnológicamente un sistema de objetos con referencia real. Por ello, los modelos matemáticos, lógicos y computacionales forman parte de todas las ciencias y tecnologías actuales.

En el CF predomina la dimensión sintáctica: se refiere a la estructura y las reglas del lenguaje formal de la matemática, la lógica y la informática, y a los conjuntos de signos específicos para la representación y transformación de los aspectos cognitivos y operacionales. El CF da la estructura al lenguaje formalizado de la filosofía, la ciencia, la tecnología y, si lo tiene, de la técnica.

En los modelos técnicos este CF puede estar presente, como en un plano de planta de una oficina, o puede no estarlo, como en un modelo simple de atado de cordones. El CF incluye los diagramas, maquetas, planos, croquis, esquemas y otras formas de representación estática, y las animaciones y simulaciones, como formas de representación dinámica.

2. *El componente significativo o semántico* (CS) se refiere al conjunto de significados filosóficos, científicos, tecnológicos y técnicos contenidos en el modelo en tanto sistema de signos. Comprende todos los conocimientos que integran el marco teórico del modelo y su base empírica, esto es, las condiciones (generales y de excepción) en que el modelo cumple su función.

El núcleo teórico del CS de los modelos científicos y de los tecnológicos es la teoría y leyes que le dan origen, es decir, que el modelo interpreta. Sin embargo, también se refiere al núcleo experimental y estadístico, de proposiciones observacionales y datos validados que dan raigambre empírica

al modelo.

El CS de los modelos técnicos que están más cercanos a la interacción con demandas económicas y sociales importantes, desarrolla un ritmo de estandarización o normalización creciente desde hace mucho tiempo. Los factores subjetivos, relacionados con la experiencia personal, la creatividad, las habilidades desarrolladas y los criterios formados con la experiencia aprovechada, se van minimizando en relación con los materiales, procedimientos, instrumental y condiciones estándares, o predeterminadas. Así, por ejemplo, los modelos industriales de actividades productivas y de respuestas de un obrero que pinta automóviles están tan “mecanizados” que llega el punto en que los obreros son sustituidos por robots. Cuando en la industria el conocimiento es convertido en mecanismo o automatismo, el que conoce, el ser humano, es reemplazado por el robot.

Todo modelo es conocimiento de algo: un objeto o un aspecto de un objeto. El CS se refiere a los contenidos teóricos y empíricos del modelo. Esto es, predomina la dimensión semántica del lenguaje formalizado de los modelos fácticos, con significado y denotado reales.

Este componente es el ariete principal en la lucha contra la incertidumbre. La dinámica de la ciencia y la tecnología se ve constantemente incentivada por este componente.

3. *El componente operativo o pragmático* (CO) es la dimensión instrumental de un modelo, se relaciona con el conjunto de fines y de los modos para alcanzarlos. El CO es el que hace que un modelo sea una herramienta para que el fin intencional se convierta en un resultado real.

El CO comprende los algoritmos, procedimientos, usos, y modos de empleo de un modelo por sus agentes, en diversos escenarios, en un contexto ético-social. Incluye pautas axiológicas y normativas técnicas y tecnológicas: como las normalizaciones, estandarizaciones y los protocolos operativos. Muchos procedimientos industriales están regulados por normas internacionalmente estandarizadas que aseguran su calidad, trazabilidad, higiene, seguridad y eficiencia, entre otras características. Por ejemplo, la amplia variedad de normas ISO para la industria.

Como se dijo en la introducción, en este escrito, se considera que un modelo no es solamente la interpretación semántica de una estructura (ley o teoría) sintáctica (lógica o matemática). También se toman en cuenta

aquí los modelos operativos que son una interpretación pragmática (o una “aplicación”), ya sea técnica o tecnológica, no sólo de leyes y teorías, sino también de categorías prácticas o pautas de acción generales.

Todo modelo ha sido construido con (al menos) un fin. En el CO predomina la dimensión pragmática del modelo. Por ese motivo, el modelo es sólo un *instrumento*. Es un medio que diseña y usa un agente para conseguir un fin con determinadas herramientas, y en un encuentro de condiciones sociales, históricas y culturales específicas. Y, como toda herramienta, se puede mejorar: aunque se mantenga el mismo fin, un cambio en cualquiera de los otros tres componentes, produce una potencial modificación en el CO.

El CO es lo que hace que todo modelo sea un *proyecto*. Se habla de un proyecto cuando se destaca la dinámica de realización temporal de un modelo. Un *proyecto* es un modelo desarrollado en el tiempo. Se relaciona con el conjunto de acciones que hacen que un modelo se concrete. Un proyecto supone una motivación de un agente inteligente que concibe un fin y una planificación estratégica para efectivizarlo, previendo condiciones, etapas, escenarios de contingencias, recursos, consecuencias posibles y evaluaciones de casos.

A su vez, los modelos cognitivos incluyen intrínsecamente un plan de acción (no necesariamente física) o la regulación de una acción que soluciona un problema. Las normas operativas, los protocolos de acción, los algoritmos, *son* modelos técnicos y tecnológicos que dan por resultado un producto físico, social, mental o virtual. Por ejemplo, los protocolos de evacuación de un edificio particular ante un sismo o un incendio son modelos predominantemente tecnológicos relacionados con la seguridad física de sus habitantes. Son elaborados con un enfoque prescriptivo, a priori, por un ingeniero que consultó diversos códigos de edificación y códigos de incendios, para asegurarse de que el edificio tenga el número y ancho de salidas requeridas, el número y ubicación de detectores y de extinguidores, y otras características, en función del número y tipo de ocupantes estimados. El ingeniero desarrolla el modelo tomando en cuenta la conducta de los ocupantes ante una emergencia. En tal caso, compara el tiempo que ellos necesitan para evacuar un edificio que cumpla con los códigos mencionados, con el tiempo estimado para que las condiciones del edificio se vuelvan insostenibles.

Los agentes operativos originarios son, en general, principalmente humanos. Desde hace milenios el hombre utiliza diversos tipos de herramien-

tas como auxiliares operativos. Y desde la revolución industrial la maquinaria ha servido para producir objetos, incluidas otras herramientas, como un torno, o un compilador. Desde hace décadas los *microprocesadores* son el sustrato tecnológico material, que ha permitido el desarrollo de múltiples modelos operativos que han cambiado el mundo. Una de sus aplicaciones, la computación, está presente en todos los aspectos de nuestras vidas: desde las comunicaciones, la investigación científica y tecnológica, la enseñanza, la actividad económica y empresarial, las manifestaciones artísticas, los medios de transporte, y casi todo lo demás. El mundo de las acciones y resultados computacionales se funda en los microprocesadores (hardware) y en la algoritmia (software). Un *algoritmo* es un modelo operativo de resolución de problemas que consiste en un conjunto de pasos que lleva de un estado inicial a un estado final o solución. Dichos pasos los ejecuta una computadora o red de computadoras, con o sin interacción con seres humanos o con otras (redes de) computadoras.

Actualmente se está desarrollando la interacción productiva en red, de agentes inteligentes humanos entre sí y con agentes inteligentes virtuales, computarizados. Un robot inteligente semiautónomo ha sido colocado hace días, por primera vez, sobre un cometa que viaja en el espacio.

4. *El componente ético y social* (CE) apunta al complejo sistema de interacciones entre los entornos y los diversos agentes inteligentes, sus conocimientos, experiencia y habilidades, los fines que pretenden alcanzar, los modos de operación, lo que efectivamente realizan, y sus consecuencias, por un lado, y los tipos, grados y jerarquía de los valores que se realizan y que se eluden, especialmente los valores éticos, por el otro.

El CE abarca la cultura, los aspectos históricos, las normas y las condiciones sociales, económicas y políticas en que un modelo se desarrolla o funciona.

El CE es la dimensión reguladora, integradora, y transformadora de los otros tres componentes, en tanto representa el valor de los mismos. Un modelo es valioso epistemológicamente en función de su grado de acercamiento a la parcial verdad que pretende representar. Un modelo es valioso operativamente según su utilidad o eficiencia, esto es, la aproximación de los fines deseados a los resultados obtenidos en las condiciones consideradas. El valor ético de un modelo se vincula con su contribución al bien individual-común y superior de los seres humanos. Se mide dicho aporte

por su contribución para el mejoramiento de la calidad de vida para el mayor número de personas en una sociedad dada.

Un modelo científico puede estar bien estructurado (CF), puede estar fundado en leyes y teorías con fuerte apoyo teórico (CS) y puede ser viable su implementación operativa exitosa (CO), pero si no es beneficioso y/o si no contribuye a la superación individual y social de la gente, entonces debe ser descartado. La posibilidad tecnológica de implementación de un modelo no conlleva su necesidad moral. No todo modelo es bueno. Y hay modelos éticamente mejores que otros, incluyendo prioritariamente los modelos de toma de decisiones, en cualquier ámbito de aplicación.

Hace 40 años, en la década de los setenta, principalmente como resultado del aumento de la contaminación del medio ambiente y de los peligros de la manipulación del ADN, la comunidad científica tomó conciencia de la importancia no solamente de que la ciencia y la tecnología contribuyan al bienestar humano, sino también de la educación del público a este respecto. Por ello se desarrollaron en Estados Unidos los programas de educación en Ciencia, Tecnología y Sociedad: Science-Technology-Society (STS) (Mitcham, pp.146-48) que se desarrollan cada vez más.

Los modelos de las ciencias naturales denotan objetos inanimados, vegetales y animales no humanos. Dichos modelos tienen como fin describir, explicar, o predecir hechos físicos o biológicos. En cambio, los seres humanos son agentes y objetos de los modelos de las ciencias sociales. Los hombres generan y usan los modelos, pero también sus vidas son afectadas por ellos.

El fin de los modelos sociales es describir, explicar, predecir, o comprender conductas humanas. Por ejemplo, los padres con modelos de interacción social adaptativa forman hijos cuya conducta tiende a seguir ese modelo. Los dirigentes políticos pueden contribuir con sus modelos de liderazgo a que las personas generen modelos de conducta respetuosos de los demás, de las normas y de las instituciones. O no. Las personas son afectadas por los modelos políticos, económicos, sociales, religiosos, artísticos, de sus dirigentes y de sus allegados.

El ejercicio de la libertad y la autodirección responsable de las personas es el factor primordial para explicar la diferencia en los resultados de la aplicación de modelos naturales y sociales. De ello se infiere la importancia de la educación para la libertad.

También se deriva la necesidad de que los modelos sean creados y usa-

dos por personas psicológicamente normales. La historia contiene abundantes ejemplos de los resultados sociales catastróficos que producen los líderes psicópatas, ya sean políticos, industriales, religiosos, u otros. El CE de cualquier modelo debe ser moral, social y psicológicamente *saludable* para las personas. En la medida en que afecta a los seres humanos, todo modelo es bueno y valioso en cierto grado, o no lo es, tanto en sí mismo como en función de sus consecuencias individuales y sociales.

Conclusiones

En función del ámbito del saber y obrar humano en que se utilizan, hay cuatro tipos de modelos: filosófico, científico, tecnológico y técnico.

Desde una perspectiva lógico-semiótica y social se destacan cuatro componentes comunes a todos los modelos: 1) formal o sintáctico, 2) significativo o semántico, 3) operativo o pragmático, y 4) ético-social.

Ya que todo modelo es potencialmente útil, en tanto está orientado a un propósito, cualquier modelo debe ser ética, social y psicológicamente *saludable* para todas las personas.

Bibliografía

- BAILER-JONES, Daniela. (2009). *Scientific models in philosophy of science*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- BUNGE, Mario. (1973). *Method, Model, & Matter*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- FRIGG, R. and HARTMANN, S. (2012). Models in Science, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2012 Edition), E. N. Zalta (ed.), URL: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/models-science/>>
- GIERE, Ronald N. (1986). Cognitive Models in the Philosophy of Science. En: *Philosophy of Science Association*, Vol.2, p.319-328.
- GIERE, R. N. (2004). How Models are Used to Represent Reality. En: *Philosophy of Science*, Vol. 71, Nº 5. pp. 742-752.
- MITCHAM, Carl. (1989) *¿Qué es la Filosofía de la Tecnología?* Barcelona: Anthropos.

Modelación matemática para cuantificar la respuesta sísmica de un edificio aislado

Miguel Tornello & Roberto Aguiar Falconi & Carlos Frau

Resumen

En la República Argentina, las provincias de Mendoza y San Juan, constituyen los centros urbanos socio-económicos más importantes del oeste argentino. Con aproximadamente 2.5 millones de habitantes constituyen las áreas más densamente pobladas de la región oeste del país. Estudios realizados sobre la sismicidad local y regional han demostrado el elevado peligro sísmico de ambas provincias. La zona del Gran Mendoza presenta una historia sísmica importante. En los últimos 200 años ocurrieron al menos 15 terremotos que ocasionaron daños en las construcciones. El antecedente histórico más importante lo constituye el terremoto de 1861 que provocó la destrucción total de la ciudad y ocasionó la muerte del 60% de las personas. Los antecedentes indican la necesidad de contar con nuevos desarrollos tecnológicos que tiendan a reducir y controlar los efectos de los terremotos destructivos sobre las construcciones emplazadas en las regiones mencionadas. En el presente trabajo se desarrolla un modelo matemático para evaluar la respuesta de un edificio de tres niveles de mampostería y hormigón armado con aislamiento en su base. El modelo matemático permite predecir los desplazamientos a nivel de los dispositivos de aislamiento, aceleraciones y desplazamientos en la superestructura. El modelo desarrollado permite predecir con una buena aproximación las repuestas del edificio aislado. Finalmente el trabajo se completa con información sobre la respuesta del edificio ante sismos sensibles ocurridos en la región.

Palabras claves: modelos numéricos, conocimiento científico, aislamiento sísmico, repuestas estructurales.

1. Introducción. El modelo científico

En las ciencias puras y las aplicadas el modelo científico es una representación abstracta, conceptual, gráfica o visual, física, de fenómenos, sistemas o procesos a fin de analizar, describir, explicar, simular (explorar, controlar y predecir los fenómenos o procesos), es decir que un modelo permite determinar un resultado final a partir de una determinada información, por lo tanto la creación de un modelo es una actividad esencial de todo proceso científico.

Un modelo de las ciencias físicas es una traducción de la realidad física de un sistema físico en términos matemáticos, es decir, una forma de representar cada uno de los tipos entidades que intervienen en un cierto proceso físico mediante objetos matemáticos. Las relaciones matemáticas formales entre los objetos del modelo, deben representar de alguna manera las relaciones reales existentes entre las diferentes entidades o aspectos del sistema u objeto real. Una vez traducido o representado cierto problema en forma de modelo matemático, se pueden aplicar el cálculo, el álgebra y otras herramientas matemáticas para deducir el comportamiento del sistema bajo estudio. Entonces un modelo físico requerirá que se pueda seguir el camino inverso al modelado, permitiendo reinterpretar en la realidad las predicciones del modelo.

El empleo de un modelo implica plantear una serie de hipótesis, de manera que lo que se quiere estudiar esté plasmado en la representación, sin embargo también se busca que sea lo suficientemente sencillo para poder ser estudiado y desarrollado.

En términos generales un modelo consta de: i) reglas de representación del input y el output. Dichas reglas permiten construir, partiendo de una realidad física, definir un conjunto de datos de entrada o input, a partir de los cuales el modelo proporcionará un output o resultado final, que también será una interpretación del efecto de las condiciones iniciales elegidas sobre la realidad física; ii) estructura interna que dependerá del tipo de modelo. Esta estructura permite definir una correspondencia entre el input y el output. Un modelo es determinista si al mismo input le corresponde el mismo output y no determinista si al mismo input pueden corresponderle diferentes outputs.

Los modelos suelen clasificarse por su estructura interna más que por los detalles formales del input, el output o la forma de representación. Sobre esa base de estructura interna los modelos se clasifican en: a) modelos físicos: representación a escala de algún objeto de interés que permite su

examen en diferentes circunstancias; b) modelos matemáticos: representa fenómenos o relaciones entre ellos a través de una formulación matemática, los cuales pueden ser deterministas (datos empleados o fenómenos conocidos), estocásticos (el resultado es una probabilidad), numéricos (realidad física y condiciones iniciales se representan mediante un conjunto de números, a partir de los cuales se calculan otros resultados numéricos que reflejan cierto efecto de las condiciones iniciales. Todos esos modelos permiten experimentar a través de simulaciones (Martínez M., 1997).

Existen otros modelos tales como los gráficos, analógicos y conceptuales que permiten predecir respuestas en distintas especialidades de la ciencia.

Modelar significa crear una representación explícita del entendimiento que una persona tiene de una determinada situación, reproducir de manera simplificada la realidad, para descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio, la habilidad para describir la situación problemática que confronta un analista, utilizar una abstracción que sirve para explicar la realidad y elaborar un modelo para interpretar la realidad objetiva y transformarla en beneficio propio.

La modelación, como uno de los métodos teóricos más importantes para la ciencia, es justamente el proceso mediante el cual se utilizan modelos con vistas a investigar la realidad. Es el método que opera en forma práctica o teórica con un objeto, no en forma directa, sino utilizando cierto sistema intermedio, auxiliar, natural o artificial. El modelo viene siendo como un sustituto del objeto de investigación. El modelo es una reproducción que esquematiza las características de la realidad situación que posibilita su investigación. El modelo debe cumplir determinado nivel de similitud estructural y funcional con la realidad, de manera que permita extrapolar los datos obtenidos con el fenómeno estudiado.

Cualquier modelo teórico tiene la finalidad no sólo de explicar procesos o hechos conocidos que se plantearon en el problema, sino pronosticar los desconocidos. Su capacidad predictiva depende en buena medida de su coherencia lógica; mientras más conclusiones puedan derivarse del modelo mayor es su capacidad de predicción (Fuentes et. al, 1998).

El planteo del modelo y su desarrollo supone dos alternativas diferentes: i) el entendimiento del modelo como unidad de sus dimensiones o subsistemas teórico, metodológico y práctico. En este caso, su vía de concreción es parte del modelo; ii) la comprensión del modelo como construcción teórica y de su instrumento como vía de implementación en la

práctica del mismo a través de una metodología, propuesta metodológica, estrategia pedagógica, alternativa didáctica, sistema de tareas, sistema de ejercicios u otra variante que se estime conveniente implementar en la investigación.

En el presente trabajo se muestra un modelo matemático para predecir la respuesta de un edificio aislado sujeto a la acción de terremotos destructivos. Un modelo matemático describe teóricamente un objeto que existe fuera del campo de las matemáticas. Las previsiones del tiempo y los pronósticos económicos, por ejemplo, están basados en modelos matemáticos sin embargo, su éxito o fracaso depende de la precisión con la que se construya esta representación numérica, la fidelidad con la que se concreten hechos y situaciones naturales en forma de variables relacionadas entre sí.

La utilidad de estos modelos radica en que ayudan a estudiar cómo se comportan estructuras complejas frente a aquellas situaciones que no pueden verse con facilidad en el ámbito real. Puede decirse que los modelos matemáticos son conjuntos con ciertas relaciones ya definidas, que posibilitan la satisfacción de proposiciones que derivan de los axiomas teóricos. Para ello, se sirven de diversas herramientas, como ser el álgebra lineal que, por ejemplo, facilita la fase de análisis, gracias a la representación gráfica de las distintas funciones.

Fourez (2006) expresa que los modelos científicos se pueden ver no como una representación del mundo, como una representación de nuestro campo de acción posible en el mundo. Por otra parte, Díaz et al. (2005) plantean que en algún momento ubicado probablemente en la ciencia del siglo XIX, la palabra modelo vino a significar lo opuesto de prototipo o ejemplar para ser copiado; es decir, pasó a designar la copia de algo. En efecto, el modelo científico es una copia o, para ser más precisos, un símil de objetos y procesos. Una copia podría ser una fotografía, y una foto no es un modelo. El mismo autor, concluye que el modelo científico es entonces un símil en el sentido preciso de que entraña una comparación de naturaleza simbólica y expresa una semejanza.

No obstante, Díaz (2009) define los modelos de una forma más técnica, cómo un instrumento de la investigación de carácter material o teórico, creado por los científicos para reproducir el fenómeno que se está estudiando; además, afirma que es una reproducción simplificada, que cumple una función heurística, ya que permite descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio.

En el presente trabajo se muestra, como ejemplo, un modelo matemático desarrollado para predecir la respuesta de un edificio con aislamiento sísmico de base sujeto a la acción de terremotos destructivos. Los modelos matemáticos son muy utilizados por las distintas ingenierías, en este caso particular, la ingeniería civil para predecir el comportamiento (respuesta) de hechos físicos. Los modelos en general han tenido un impulso importante en los últimos años apoyados fundamentalmente por el desarrollo tecnológico, computacional y de los métodos numéricos.

2. Modelo matemático simplificado

Con el objeto de evaluar la respuesta de la estructura aislada, se presenta un modelo simplificado de análisis sísmico de estructuras con aisladores de base compuestos por resortes helicoidales de acero instalados junto a amortiguadores viscosos (Tornello y Sarrazin 2012). Es conocido que la presencia de dispositivos de baja rigidez lateral entre la superestructura y la fundación permite desacoplar las respuestas del edificio de los movimientos del suelo ocasionados por el terremoto. Si además, la rigidez vertical también es baja comparada con la de otros dispositivos comúnmente utilizados en técnicas de aislamiento, es posible, simultáneamente, desacoplar la componente vertical del terremoto. El método numérico, que responde a un modelo matemático definido, permite obtener las respuestas en el tiempo del edificio aislado cuando el propio edificio está sujeto a las tres componentes sísmicas del terremoto.

El modelo considera que la superestructura se desplaza como cuerpo rígido ante la acción de un sismo (hipótesis) sin embargo, debido a la presencia de los resortes, los desplazamientos verticales en los extremos del edificio serán de signos contrarios debido al efecto pendular de la respuesta y al mecanismo de disipación de energía (Tornello y Sarrazin, 2007). Es decir, mientras un extremo del edificio aislado asciende, el otro descende, la diferencia de desplazamientos verticales pone de manifiesto el mecanismo de disipación de energía.

Para el análisis de la respuesta sísmica el método numérico considera concentrada la masa en la posición donde se emplazan los resortes helicoidales y el amortiguador viscoso. En cada masa del sistema de aislamiento se consideran tres grados de libertad, dos desplazamientos horizontales y un desplazamiento vertical, como se muestra en la Figura 1. El problema corresponde a una estructura con cuatro dispositivos de control pasivo por lo tanto nótese que primero se han enumerado los grados de

libertad correspondientes a los desplazamientos horizontales en sentido “X”, luego los desplazamientos horizontales en sentido “Y” y finalmente los grados de libertad verticales. Cada dispositivo de control tiene tres rigideces según las direcciones X, Y, Z; como se aprecia a la izquierda de la Figura 2 y tiene tres factores de amortiguamiento viscoso, dos en sentido horizontal y uno en sentido vertical como se observa a la derecha de la Figura 2. Las matrices de rigidez, $\mathbf{K}^{(b)}$ y de masa, $\mathbf{M}^{(b)}$ del modelo propuesto, se indican en las expresiones 1 y 2.

$$\mathbf{K}^{(b)} = \begin{bmatrix} k_{hx} & 0 & 0 \\ 0 & k_{hy} & 0 \\ 0 & 0 & k_{vz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

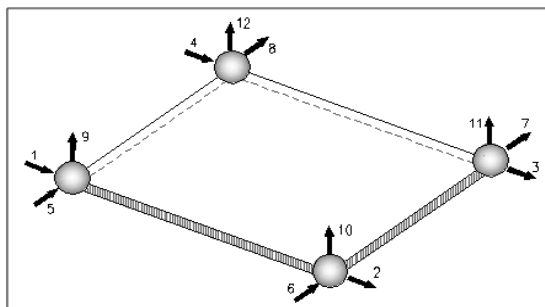


Figura 1 Grados de libertad a nivel del sistema de aislamiento

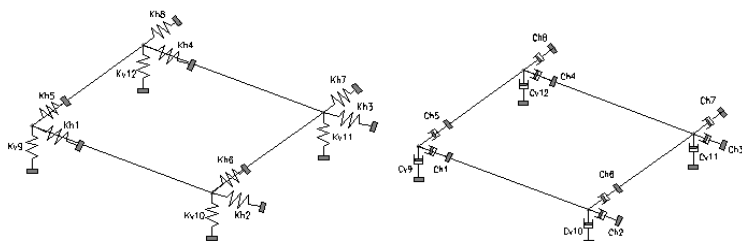


Figura 2 Rigidez y amortiguamiento en la posición de cada aislador y amortiguador viscoso

$$\mathbf{M}^{(b)} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}^{(t)} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{m}^{(t)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{m}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

En las expresiones anteriores, $\mathbf{K}_{hx}$, $\mathbf{K}_{hy}$, $\mathbf{K}_{vz}$ son submatrices diagonales, cuyos elementos son las rigideces de los aisladores en sentido horizontal X, Y, y vertical, respectivamente. En la expresión 2., $\mathbf{m}^{(t)}$ es una submatriz diagonal, compuesta por cada una de las masas discretas. (Aguiar F. R., 2007,). Con relación al modelo de la Figura 1 y en concordancia con un sistema de aislamiento compuesto por cuatro resortes de acero y cuatro amortiguadores viscosos, $\mathbf{K}_{hx}$ es una submatriz diagonal de cuatro por cuatro, cuyos términos de la diagonal son: $\mathbf{K}_{h1}$, $\mathbf{K}_{h2}$, $\mathbf{K}_{h3}$, $\mathbf{K}_{h4}$. Los elementos de $\mathbf{K}_{hy}$ son $\mathbf{K}_{h5}$, $\mathbf{K}_{h6}$, $\mathbf{K}_{h7}$, $\mathbf{K}_{h8}$ y los de $\mathbf{K}_{vz}$ son $\mathbf{K}_{h9}$, $\mathbf{K}_{h10}$, $\mathbf{K}_{h11}$, $\mathbf{K}_{h12}$. Por otro lado, los elementos de la diagonal de la submatriz $\mathbf{m}^{(t)}$ son: $\mathbf{m}_1$, $\mathbf{m}_2$, $\mathbf{m}_3$, $\mathbf{m}_4$. Las masas discretas $\mathbf{m}_i$ se obtienen en función del peso total de la superestructura, de la losa por encima de los dispositivos de aislamiento y el peso de cada aislador. La matriz de amortiguamiento $\mathbf{C}^{(b)}$ se obtiene en función de la matriz de masas $\mathbf{M}^{(b)}$ de los modos de vibración (agrupados en la matriz modal Φ) y del amortiguamiento del dispositivo visco elástico (Expresión 3).

$$\mathbf{C}^{(b)} = \mathbf{M}^{(b)} \Phi \hat{\mathbf{C}}^{(b)} \Phi^t \mathbf{M}^{(b)} \quad (3)$$

$\hat{\mathbf{C}}^{(b)}$ es una matriz diagonal compuesta por las submatrices que definen el amortiguamiento del dispositivo viscoso (Expresión 4).

$$\hat{\mathbf{C}}^{(b)} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{C}}_{hx} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{C}}_{hy} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \hat{\mathbf{C}}_{vz} \end{bmatrix}$$

Para el modelo de la Figura 2, los elementos de la diagonal de $\hat{\mathbf{C}}_{hx}$ son $\mathbf{C}_{h1}, \mathbf{C}_{h2}, \mathbf{C}_{h3}, \mathbf{C}_{h4}$. En función del factor de amortiguamiento en sentido horizontal ξ_h , se tiene que los elementos de la diagonal de $\hat{\mathbf{C}}_{hx}$ son $2\xi_h \omega_i \mathbf{m}_i$ para “ i ” de 1 a 4. Siendo ξ_{hi} el factor de amortiguamiento en sentido X asociado al primer modo de vibración; $\mathbf{m}_i$ es la masa discreta i ; ω_i es la frecuencia de vibración para el modo i ; los valores de las submatrices $\hat{\mathbf{C}}_{hy}$, $\hat{\mathbf{C}}_{vz}$ son similares, es decir, el subíndice i , es modo de vibración para el caso de la frecuencia natural ω y para el factor de amortiguamiento ξ , pero i , también es masa discreta.

Para la dirección Y se trabajará con el factor de amortiguamiento en sentido Y; para la dirección Z, con el factor de amortiguamiento vertical. Cada amortiguador viscoso tiene tres factores de amortiguamiento, dos en sentido horizontal y uno en sentido vertical. El modelo matemático desarrollado considera que la superestructura se mueve como cuerpo rígido en consecuencia, no hay ninguna aceleración que provenga de la superestructura y que actúe en los dispositivos de aislamiento. Por lo tanto, la ecuación diferencial del sistema aislado que se debe resolverse se indica como expresión 5.

$$\mathbf{M}^{(b)} \mathbf{q}^{(b)} + \mathbf{C}^{(b)} \dot{\mathbf{q}}^{(b)} + \mathbf{K}^{(b)} \mathbf{q}^{(b)} = \mathbf{M}^{(b)} \mathbf{J} \ddot{\mathbf{U}}_g \quad (5)$$

Donde $\mathbf{q}^{(b)}$, $\dot{\mathbf{q}}^{(b)}$, $\ddot{\mathbf{q}}^{(b)}$, son los vectores de desplazamiento, velocidad y aceleración del sistema de aislamiento. Se hace notar que primero se enumeran todas las coordenadas en sentido X, luego en sentido Y, finalmente en Z, como se indica en la Figura 1. En estas condiciones y cuando solo actúa la acción sísmica en sentido X, el vector $\mathbf{J}^t = [\mathbf{1} \ \mathbf{0} \ \mathbf{0}]$; para sismo en sentido Y el vector $\mathbf{J}^t = [\mathbf{0} \ \mathbf{1} \ \mathbf{0}]$ y para sismo en Z, $\mathbf{J}^t = [\mathbf{0} \ \mathbf{0} \ \mathbf{1}]$. Siendo

1 el vector unitario y **0**, un vector compuesto por ceros. El orden de estos vectores **1** y **0** es igual al número de masas discretas. Con esta consideración la aceleración del suelo $\ddot{U}_g$ puede ser $\ddot{U}_{gx}$ para sismo en sentido X; $\ddot{U}_{gy}$ para sismo en sentido Y; $\ddot{U}_{gz}$ para sismo en sentido Z.

3. Desplazamientos a nivel de los dispositivos de aislamiento

Con el modelo matemático descrito en el punto precedente es posible determinar la historia de desplazamientos cuando el edificio está sujeto a la acción de terremotos. En la Figura 3 se indican los resultados obtenidos, en términos de desplazamientos horizontales (q_h) a nivel de los dispositivos de aislamiento, para el terremoto de New Hall, estación Fire-Station (1994), mientras que en Figura 4 se observan los desplazamientos verticales (q_v), también a nivel de los dispositivos de aislamiento.

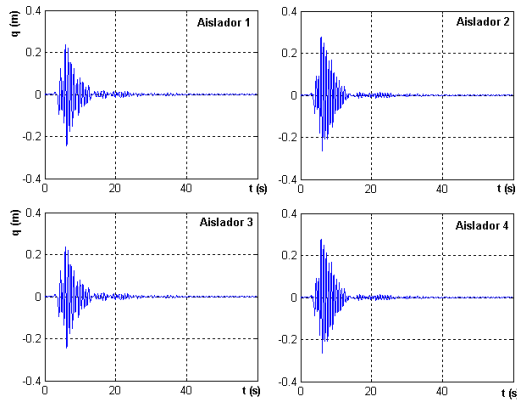


Figura 3 Desplazamientos en dirección X. Terremoto New Hall

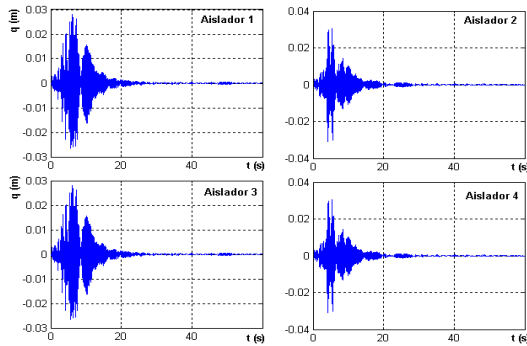


Figura 4 Desplazamientos dirección vertical. Terremoto New Hall

Los aisladores de resortes presentan, como característica distintiva respecto a otros dispositivos frecuentemente utilizados en la protección sísmica, que su rigidez vertical es baja comparada, por ejemplo, con dispositivos del tipo friccionales o elastoméricos. Si se considera al edificio como un cuerpo rígido, apoyado sobre resortes de acero y amortiguadores viscosos, con rigidez horizontal, K_h y vertical K_v el edificio aislado presenta, como mecanismo de disipación de energía, modos pendulares con centros de rotación superior e inferior (Tornello M., 2012). En el mecanismo de disipación de energía, los desplazamientos verticales de los dispositivos de aislamiento de dos aisladores ubicados en un extremo son diferentes a los otros dos ubicados en el extremo opuesto. Es decir que mientras los aisladores ubicados en las posiciones coincidentes con los grados de libertad 9 y 12 suben, los emplazados en las direcciones coincidentes con los grados de libertad 10 y 11 se comprimen. Los grados de libertad han sido indicados en la Figura 1. La diferencia de desplazamientos verticales provoca un movimiento pendular del edificio (Tornello M., 2012). La respuesta obtenida en términos de desplazamientos verticales para el terremoto de New Hall se muestra en la Figura 5.

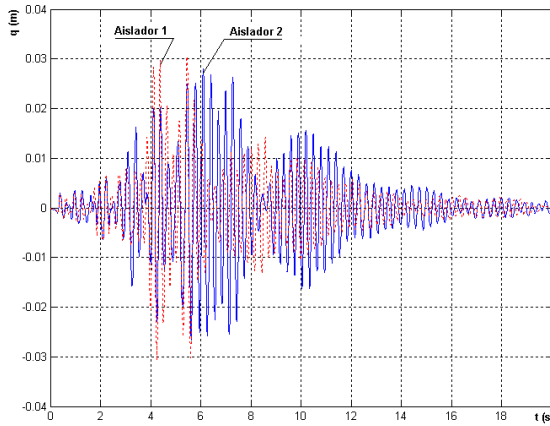


Figura 5 Desplazamientos verticales aisladores 1 y 2 (opuestos entre sí), terremoto New Hall (1994)

4. Modelo tridimensional para evaluar las respuestas en la superestructura

El modelo matemático de análisis admite que las losas de la superestructura son rígidas en el plano horizontal razón por la cual se considera un grado de libertad vertical en cada uno de los nudos de la superestructura. Por otra parte, en función de la hipótesis asumida, se puede admitir que el piso experimenta el mismo desplazamiento horizontal. En la Figura 6 se indican los grados de libertad considerados en la superestructura. Nótese que primero se han enumerado los desplazamientos horizontales de piso y posteriormente los desplazamientos verticales.

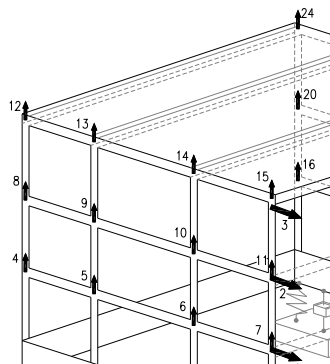


Figura 6 Grados de libertad admitidos en la superestructura

La estructura analizada (Figura 6) tiene 27 grados de libertad (27 desplazamientos), 3 en dirección horizontal en sentido X y 24 en sentido vertical. Estos desplazamientos se agrupan en un vector $\mathbf{u}$. El modelo es útil para el análisis sísmico de la estructura ante la acción de dos componentes sísmicas, una horizontal en la dirección de los desplazamientos horizontales y otra vertical. Se define al vector transpuesto $\mathbf{u}^t = [\mathbf{u}_x \ \mathbf{u}_z]$ donde $\mathbf{u}_x$ es el vector que contiene a los desplazamientos de piso en sentido horizontal; $\mathbf{u}_z$ el vector que contiene a los desplazamientos de cada nudo en sentido vertical.

Para los dispositivos de aislamiento se han considerado tres grados de libertad en cada dispositivo de control (Figura 7). Primero se han enumerado los desplazamientos en sentido X, luego en sentido Y y finalmente los desplazamientos verticales. Dado que la estructura tiene 4 dispositivos de aislamiento, se tendrán 12 grados de libertad los cuales se los agrupa en un vector $\mathbf{q}$. El vector transpuesto se define como $\mathbf{q}^t = [\mathbf{q}_x \ \mathbf{q}_y \ \mathbf{q}_z]$. Donde $\mathbf{q}_x$ es un vector compuesto por los desplazamientos en sentido X, $\mathbf{q}_y$, $\mathbf{q}_z$ vectores conformados por los desplazamientos del sistema de aislación en sentido Y, y Z respectivamente.

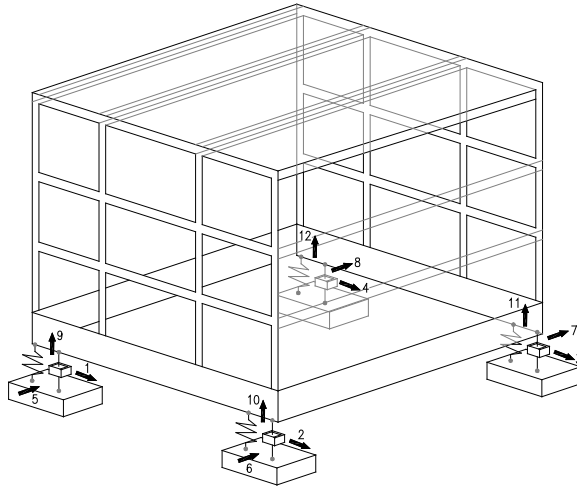


Figura 7 Grados de libertad del sistema de aislamiento

La Figura 8 indica la posición de las masas discretizadas en cada nudo de la superestructura. La numeración de las masas está en concordancia con la numeración de los grados de libertad mostrados en la Figura 6. Primero se enumeran las masas de todo un plano vertical desde el primer piso hasta el último piso, luego la enumeración continúa en el siguiente elemento. En la Figura 9 se indica la discretización de las masas del sistema de aislamiento. Cada una de estas masas se obtiene tomando en cuenta el peso de la superestructura, de la losa ubicada por encima de los dispositivos de aislamiento y de los propios dispositivos de control.

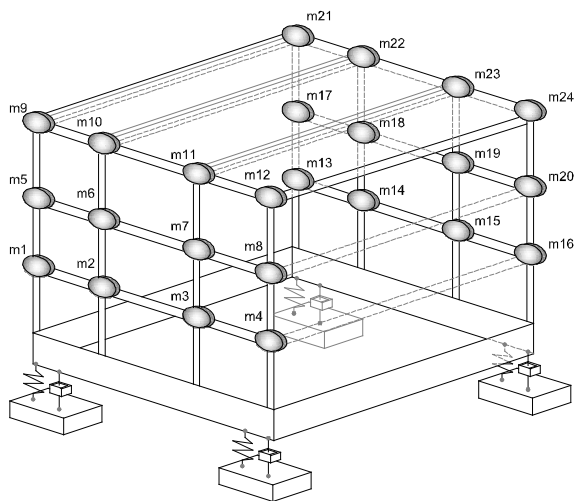


Figura 8 Discretización de las masas en la superestructura

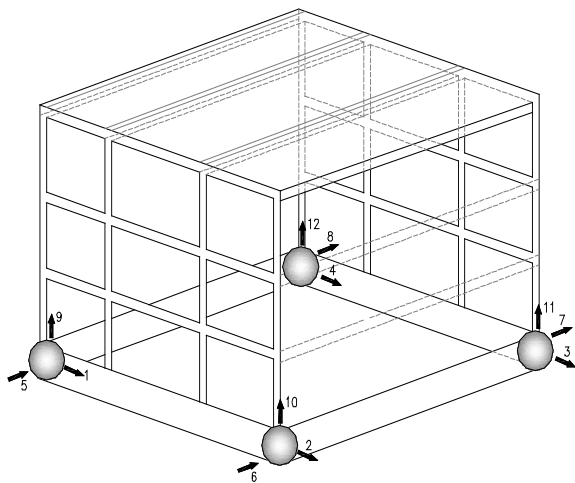


Figura 9 Discretización de las masas a nivel del sistema de aislamiento

5. Planteo matricial de las ecuaciones de movimiento

La matriz de rigidez $\mathbf{K}^{(s)}$ de la superestructura se obtiene a partir de la matriz de rigidez lateral-vertical, $\mathbf{K}_{L-V}$ de cada uno de los planos verticales. En cada plano se considera que la vigas son axialmente rígidas de tal manera de tener un único desplazamiento horizontal por piso y que las columnas son totalmente flexibles. En consecuencia se tiene un desplazamiento horizontal por piso y dos grados de libertad en cada nudo, el desplazamiento vertical y la rotación.

La matriz de rigidez completa del pórtico se determina con los grados de libertad indicados y luego se condensa para tener solo desplazamientos horizontales de piso y desplazamientos verticales en cada nudo. A esta matriz se la conoce como matriz de rigidez lateral-vertical $\mathbf{K}_{L-V}$ (R. Aguiar *et al* 2008). Posteriormente se encuentra la matriz de rigidez de la superestructura $\mathbf{K}^{(s)}$ por ensamblaje directo (R. Aguiar, 2004). La matriz de masas $\mathbf{M}^{(s)}$ de la superestructura se halla evaluando la energía cinética de la estructura (R. Aguiar 2007). Para el modelo matemático que presenta el trabajo, la forma de la matriz diagonal $\mathbf{M}^{(s)}$ es la que se indica en la expresión 5.

$$\mathbf{M}^{(s)} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}^{(st)} & \\ & \mathbf{m}^{(sp)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

En la expresión anterior $\mathbf{m}^{(st)}$ es una matriz diagonal compuesta por la masa total del piso 1, la masa total del piso 2, la masa total del piso n ; $\mathbf{m}^{(sp)}$, es una matriz diagonal compuesta por cada una de las masas discretas de la superestructura, desde la primera masa concentrada $\mathbf{m}_1$ hasta la última masa considerada en el modelo. Una vez encontradas las matrices de masa $\mathbf{M}^{(s)}$ y de rigidez $\mathbf{K}^{(s)}$ se encuentra la matriz modal $\Phi^{(s)}$ de la superestructura y se determina la matriz de amortiguamiento $\mathbf{C}^{(s)}$ de la subestructura con la siguiente ecuación.

$$\mathbf{C}^{(b)} = \mathbf{M}^{(b)} \Phi \hat{\mathbf{C}}^{(b)} \Phi^T \mathbf{M}^{(b)} \quad (6)$$

Cada dispositivo de control posee tres rigideces según las direcciones X, Y, Z, debido a la presencia de los aisladores de resortes. También se cuenta con tres factores de amortiguamiento, dos en sentido horizontal y uno en sentido vertical, debido a la presencia de los amortiguadores. El modelo es el indicado en la Figura 2. La matrices de rigidez, $\mathbf{K}^{(b)}$ y de masa, $\mathbf{M}^{(b)}$ se determina de acuerdo a lo indicado por las ecuaciones (1) y (2). La matriz de amortiguamiento $\mathbf{C}^{(b)}$ se evalúa con la expresión 3 y la matriz diagonal $\hat{\mathbf{C}}^{(b)}$ (que define el amortiguamiento del amortiguador viscoso) se determina con la expresión 4. El sistema de ecuaciones diferenciales tanto para los dispositivos de aislamiento como para la superestructura se indican en las expresiones 7 y 8 (R. Aguiar et al 2008).

$$\mathbf{M}^{(b)} \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}^{(b)} \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}^{(b)} \mathbf{q} = - \mathbf{M}^{(b)} \mathbf{r}^{(b)} \ddot{\mathbf{u}}_g - \mathbf{r}^{(s)t} \mathbf{M}^{(s)} \ddot{\mathbf{u}} \quad (7)$$

$$\mathbf{M}^{(s)} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}^{(s)} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}^{(s)} \mathbf{u} = - \mathbf{M}^{(s)} \mathbf{r}^{(s)} \left[\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{r}^{(b)} \ddot{\mathbf{u}}_g \right] \quad (8)$$

En las expresiones precedentes $\dot{\mathbf{q}}$, $\ddot{\mathbf{q}}$, $\mathbf{q}$ son los vectores de desplazamiento, velocidad y aceleración del sistema de aislamiento; $\mathbf{r}^{(b)}$ es un vector que relaciona los grados de libertad del sistema de aislamiento con la componente sísmica de movimiento del suelo; $\mathbf{u}$, $\dot{\mathbf{u}}$, $\ddot{\mathbf{u}}$ son los vectores de desplazamiento, velocidad y aceleración de los grados de libertad de la superestructura; $\mathbf{r}^{(s)}$ es similar a $\mathbf{r}^{(b)}$ pero en la superestructura. Tanto el vector $\mathbf{r}^{(b)}$ como $\mathbf{r}^{(s)}$ están compuestos únicamente por 0 y 1. El 1 se ubica en las coordenadas que están relacionadas con el movimiento del suelo. Finalmente $\ddot{\mathbf{u}}_g$ es la componente sísmica del movimiento del suelo. Si se está analizando para sismo horizontal será $\ddot{\mathbf{u}}_{gx}$, si es para sismo vertical será $\ddot{\mathbf{u}}_{gz}$.

Es importante destacar que los grados de libertad de la superestructura son desplazamientos relativos con respecto al movimiento del sistema de aislamiento. Por este motivo es que la matriz de masas es diagonal. Para los dispositivos de aislamiento, la solución del sistema de ecuaciones diferenciales considera que $\ddot{\mathbf{u}} = \mathbf{0}$. Es decir que aceleración proveniente de la superestructura no influye en el movimiento del sistema de aislamiento (J. Kulkarni et al, 2002). Para encontrar la respuesta en el tiempo del edificio aislado, con la citada hipótesis, se resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales indicado en 9.

$$M^{(b)} \ddot{\mathbf{q}} + C^{(b)} \dot{\mathbf{q}} + K^{(b)} \mathbf{q} = -M^{(b)} \mathbf{r}^{(b)} \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (9)$$

Para encontrar la respuesta de la superestructura se trabaja con la ecuación diferencial completa 7 y 8.

6. Resultados

6.1 Aceleraciones de ingreso a la superestructura

La respuesta medida en la superestructura, $\ddot{\mathbf{q}}$, es función del acelerograma definido por la excitación sísmica, $\ddot{\mathbf{u}}_g$. Las dos aceleraciones se muestran en las Figuras 10 para el terremoto de New Hall. En la parte superior de las figuras se representa la historia de aceleraciones horizontales, mientras que en la parte inferior se indica la historia de aceleraciones verticales.

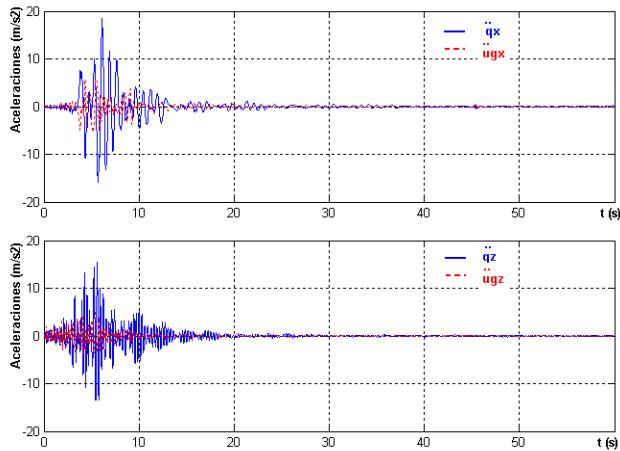


Figura 10 Aceleraciones de ingreso a superestructura. Registro de la estación New Hall. Fire Station (1994)

De la gráfica se deduce que, en general, hay una amplificación de las aceleraciones horizontales y verticales medidas inmediatamente por encima de los dispositivos de aislamiento. Los resultados para un número mayor de terremotos y una comparación de las aceleraciones del edificio aislado con relación al mismo, pero de base fija, pueden encontrarse en Tornello et al, 2007. La amplificación de las aceleraciones horizontales está asociada a un mayor amortiguamiento del sistema de aislamiento y depende de las características y contenidos de frecuencia de los acelerogramas que se utilicen para evaluar las respuestas en la superestructura (Tornello et al, 2008).

6.2 Respuestas en la superestructura

La historia de la respuesta en término de desplazamientos horizontales, en cada nivel del edificio, se indica en Figura 11, para el registro sísmico de New Hall. Los desplazamientos que muestran las gráficas son relativos con respecto al corrimiento de los dispositivos de control.

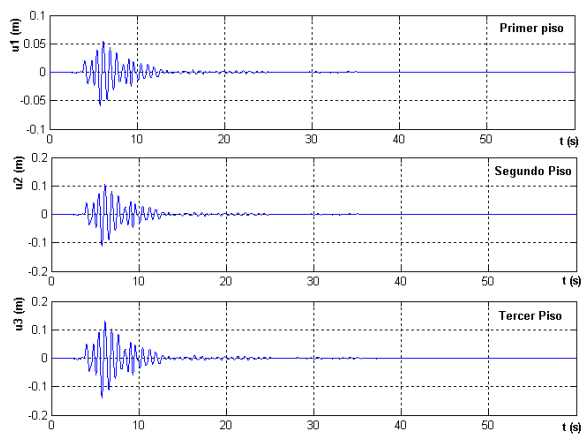


Figura 11 Desplazamientos horizontales en la superestructura. Registros sísmicos de New Hall. Fire Station (1994)

En la Figura 12 se muestran los desplazamientos verticales en cada nivel del edificio para el mismo registro de New Hall. Los resultados indican que los desplazamientos verticales de la superestructura son prácticamente despreciables comparados con los desplazamientos horizontales de la misma.

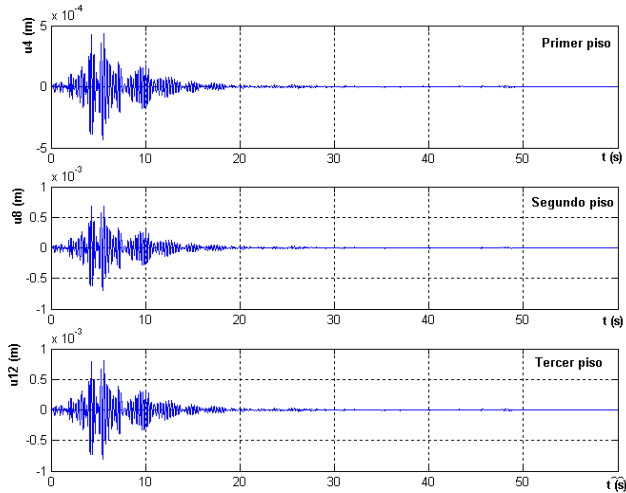


Figura 12 Desplazamientos verticales en la superestructura.
Registro sísmico de New Hall. Fire Station (1994).

En la Tabla 1 se resumen las respuestas en términos de desplazamientos horizontales ($\mathbf{q}_h$) y verticales ($\mathbf{q}_v$) en cada nivel del edificio para tres terremotos. El nivel indicado como (0) en la tabla, corresponde al nivel de los dispositivos de protección. La variación de los desplazamientos horizontales con la altura del edificio manifiesta, para todos los casos estudiados, el efecto pendular de la construcción frente al movimiento del terreno y pone en evidencia el mecanismo de disipación de energía del sistema de aislamiento. En cambio los desplazamientos verticales permanecen constantes con la altura del edificio.

Cuando se utilizan dispositivos de protección del tipo elastoméricos o friccionales, a diferencia de los representados por el presente modelo matemático, los desplazamientos se concentran a nivel de los aisladores

y permanecen constantes con la altura del edificio (Tornello M, 2012).

En la Figura 13 se grafican los desplazamientos horizontales de la superestructura y en la Figura 14 los desplazamientos verticales.

Tabla 1 Desplazamientos horizontales y verticales en cada nivel del edificio

Nivel	Terremoto de New Hall Estación Fire Station		Terremoto Northridge Estación Sylmar		Terremoto de Kobe Estación JMA	
	q _h (m)	q _v (m)	q _h (m)	q _v (m)	q _h (m)	q _v (m)
3	0.340	0.031	0.266	0.017	0.310	0.017
2	0.320	0.031	0.246	0.017	0.282	0.016
1	0.283	0.031	0.209	0.016	0.250	0.016
0	0.240	0.030	0.170	0.015	0.198	0.015

Nivel	Terremoto Cape Mend. Estación Cape Mend.		Terremoto Coalunga Estación Transmitter Hill		Terremoto de El Centro Estación Array Nº 6	
	q _h (m)	q _v (m)	q _h (m)	q _v (m)	q _h (m)	q _v (m)
3	0.147	0.014	0.436	0.017	0.265	0.029
2	0.111	0.014	0.322	0.016	0.199	0.029
1	0.083	0.014	0.232	0.016	0.145	0.028
0	0.069	0.013	0.185	0.015	0.115	0.027

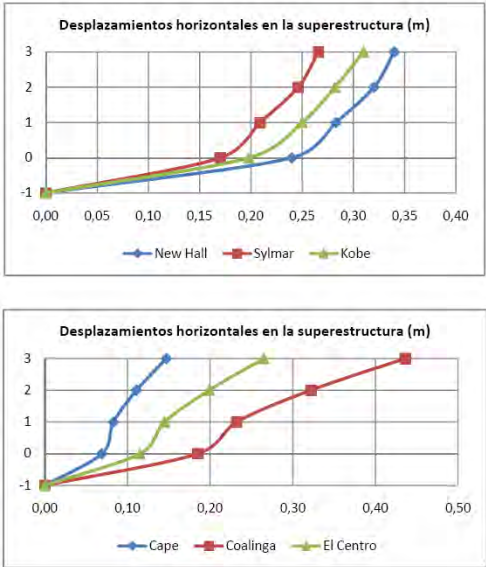


Figura 13 Desplazamientos horizontales en la superestructura

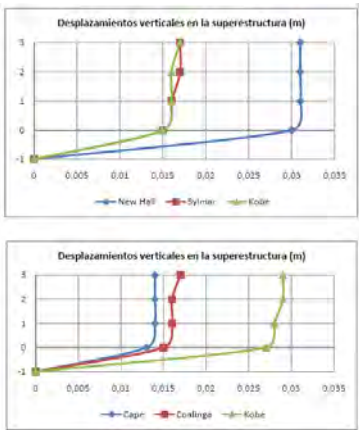


Figura 14 Desplazamientos verticales en la superestructura

En la Tabla.2 se resumen las respuestas en términos de aceleraciones horizontales (q_h) y verticales (q_v), inmediatamente por encima de los dispositivos de protección. El nivel indicado como (-1), en la tabla, corresponde a la aceleración del terreno.

Tabla 2 Aceleraciones horizontales y verticales por encima de los dispositivos de protección

Nivel	Terremoto Cape Mend. Estación Cape Mend.		Terremoto Coaliga Estación Transmitter Hill		Terremoto de El Centro Estación Array N° 6	
	$\ddot{q}_h$ (m/s ²)	$\ddot{q}_v$ (m/s ²)	$\ddot{q}_h$ (m/s ²)	$\ddot{q}_v$ (m/s ²)	$\ddot{q}_h$ (m/s ²)	$\ddot{q}_v$ (m/s ²)
1	6.28	6.60	10.50	5.20	8.35	19.70
-1	9.97	7.38	8.24	3.85	3.68	14.80

Nivel	Terremoto de New Hall Estación Fire Station		Terremoto Northridge Estación Sylmar		Terremoto de Kobe Estación JMA	
	$\ddot{q}_h$ (m/s ²)	$\ddot{q}_v$ (m/s ²)	$\ddot{q}_h$ (m/s ²)	$\ddot{q}_v$ (m/s ²)	$\ddot{q}_h$ (m/s ²)	$\ddot{q}_v$ (m/s ²)
1	15.88	13.48	11.79	4.54	13.11	6.06
-1	5.41	5.37	8.27	5.25	8.20	3.33

Los resultados de las respuestas en términos de aceleraciones indican que, en general, hay un incremento de los valores por encima de los dispositivos de aislamiento. Trabajos relacionados con la comparación de las respuestas con otros dispositivos (Tornello et al, 2007) demuestran que, por ejemplo, los aisladores elastoméricos filtran más eficientemente las aceleraciones horizontales y generalmente se observan reducciones de las aceleraciones entre los dos niveles que compara la Tabla 2. Las mayores aceleraciones se deben a un alto amortiguamiento del sistema de aislamiento (26% en sentido horizontal y 13% en sentido vertical con relación al amortiguamiento crítico), comparado con otros sistemas, valor necesario para controlar los elevados desplazamientos a nivel de dispositivos de aislamiento frente a terremotos de tipo impulsivos y de alto poder destructivo. Si bien otros sistemas, con menor amortiguamiento, filtran más eficientemente las aceleraciones horizontales, no queda resuelto el requerimiento de dimensiones de los dispositivos de aislamiento para controlar los elevados desplazamientos ocasionados por los terremotos con características de pulso.

Conclusiones

El modelo matemático desarrollado en el trabajo ha permitido predecir la respuesta de la estructura aislada, en términos de aceleraciones y desplazamientos, cuando el edificio está sujeto a la acción de terremotos destructivos en

Desde el punto de vista científico-tecnológico los modelos matemáticos permiten generar nuevos conocimientos y patrones, los cuales son relevantes para predecir el comportamiento de fenómenos físicos.

A nivel general, los aportes que los modelos matemáticos hacen a la comprensión de un problema implica el desarrollo de distintas fases tales como: simulación, estimación, descripción, análisis e interpretación aplicados a los resultados de fenómenos físicos situación que permite acercarse a la realidad.

Los resultados que se obtienen de un modelo matemático para predecir la respuesta no deben ser interpretados como únicos hasta que los mismos sean validados con resultados reales que provengan de otros procesos (mediciones del fenómeno físico en el campo real). La comparativa de resultados puede conducir a una revisión del modelo matemático con el fin de mejorar su performance de tal manera que los resultados representen lo más fielmente posible la realidad física.

Referencias

- AGUIAR R., (2004). *Análisis Matricial de Estructuras. Centro de Investigaciones Científicas*. Escuela Politécnica del Ejército, Tercera Edición, 550 p., Quito, Ecuador.
- AGUIAR R., (2007). *Dinámica de estructuras con MATLAB*. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito, Ecuador.
- AGUIAR R., Almazán J. L., Dechent P. y Suárez V (2008). *Aisladores de base Elastoméricos y FPS*. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito, Ecuador.
- DÍAZ, J. L; Casanueva, M.; Pérez, R.; López, A.; Labastida, J. (2005). *El Modelo en la Ciencia y la Cultura*. México: Siglo XXI Editores.
- DÍAZ, V. (2009). *Metodología de la Investigación Científica y la Bioestadística*. Chile: Ril Editores.
- FOUREZ, G. (2006). *La construcción del Conocimiento Científico*. España: Nancea, S. A. de Ediciones.
- FUENTES GONZÁLEZ H, Silvia Cruz Baranda, Álvarez Valiente I,

- (1998). *La Didáctica de la Educación Superior desde un Enfoque Holístico? Configuracional. Modelo Holístico Configuracional de la Didáctica*. Capítulo II. Santiago de Cuba.
- KULKARNI J.; JANGRID R., (2002). *Rigid body response of base-isolated structures*. Journal of Structural Control (9), 171-188.
- MARTÍNEZ M. (1997). *El método hermenéutico-dialéctico. Comportamiento humano*. Capítulo 7. Editorial Trillas.
- TORNELLO M. y SARRAZIN A. M. (2007). *Dynamic response of a building with base isolation for near-fault motions*. 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering. Paper No 1057. Ottawa. CAEE, ACEP.
- TORNELLO M. (2012). *Protección de estructuras con aislamiento sísmico de base*. Schaltungsdienst Lange. Editorial Académica Española. Pp. 285. ISBN: 978-3-8484-5168-5.

Un modelo para evaluar el comportamiento de pilas de mampostería no reforzada sometidas a cargas de compresión axial

Nelson D. Agüera & Miguel E. Tornello & Carlos D. Frau¹

Resumen

Muchas construcciones históricas emplazadas en regiones sísmicas poseen como estructura principal muros de mampostería no reforzada con espesores significativos. Trabajos de investigación orientados a evaluar las respuestas estructurales de dichas construcciones desestiman los espesores de los muros en la respuesta estructural de la construcción. El presente trabajo estudia la influencia del espesor del muro bajo cargas de compresión en pilas de mampostería no reforzada. Los espesores de muros ensayados corresponden a los efectivamente encontrados en las construcciones históricas emplazadas en la provincia de Mendoza, Argentina, las cuales aún se encuentran en servicio a pesar de no contar con una estructura sismorresistente que responda a los reglamentos actuales de diseño. Las pilas ensayadas se construyeron utilizando mampuestos y morteros con características similares a los encontrados en los edificios históricos con el objeto de correlacionar la respuesta analítica con la determinada a través de ensayos de laboratorio. Se realizaron predicciones de carga última a partir de una modelación numérica de elementos finitos en el código Abaqus que contempla el comportamiento plástico de los mampuestos y del mortero. Se realizó una calibración de los valores obtenidos en los ensayos con los que arrojan los modelos numéricos. Los resultados encontrados muestran que los modos de falla son dependientes de la posición de las juntas verticales de los muros y que la variación lineal de los espesores de los muros no se corresponde con una variación lineal de la carga última determinada.

Palabras claves: mampostería, ensayos, estructura.

¹ CEREDETEC, F. R. Mendoza, UTN. Email: naguera@frm.utn.edu.ar

Introducción

En los últimos años, la mayoría de los autores destacan la modelación como método fundamental de carácter teórico. La modelación se considera un poderoso recurso auxiliar de la búsqueda teórica; ella permite caracterizar el fenómeno que se estudia en forma de imágenes visuales, de esquemas, de diseños. En algunos casos se llega a la descripción en término de fórmulas matemáticas, símbolos, matrices.

En particular se traza como objetivo estudiar la incidencia de la respuesta a compresión de la mampostería no reforzada en función de la variación de los espesores de muros. Se propone la construcción en laboratorio de pilas de mampostería para luego ser ensayadas hasta su rotura. Con las mismas condiciones de borde de los ensayos se realizan análisis numéricos de cada pila, los cuales son comparados con los resultados experimentales.

Características de las pilas de mampostería fabricadas en laboratorio

En el laboratorio se fabricaron 3 pilas de mampostería, cada pila responde a un espesor diferente, manteniendo las otras dos dimensiones geométricas iguales para todos los especímenes.

En la Tabla 1 se indican las características geométricas de las pilas de mampostería.

Tabla 1: Características geométricas de las pilas de ladrillos y morteros

ID	Largo (mm)	Espesor (mm)	Altura (mm)	Foto
PL140	285	140	450	
PL290	285	285	450	
PL450	285	430	450	

Los ladrillos son cerámicos macizos de dimensiones 290mm x 140mm x 70mm.

Los morteros poseen un espesor promedio de 20mm y fueron elaborados con una dosificación en volumen con las siguientes proporciones:

- 1 Cemento
- 7 Arena
- 2 Cal Aérea Común

En la Figura 1 se observa la preparación de 3 probetas de mortero bajo Norma CIRSOC. Las dimensiones de cada probeta son de 70mm x 70mm x 70mm.



Figura 1: Probetas de Mortero

Para conocer el comportamiento mecánico de los ladrillos y morteros se evalúan los mismos a través de ensayos destructivos en laboratorio. En la Figura 2 se observa el ensayo a compresión de las probetas de mortero.

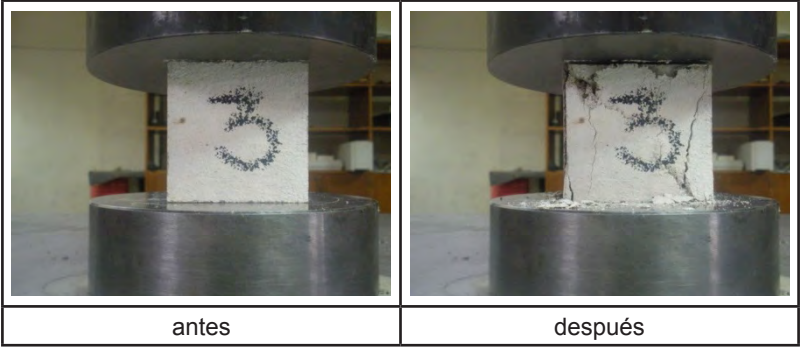


Figura 2: Ensayo a Compresión de morteros

En la Figura 3 se observa el ensayo a compresión de los ladrillos cerámicos macizos.

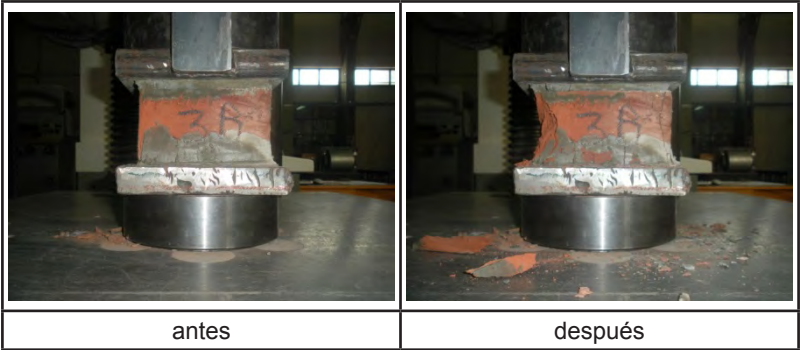


Figura 3: Ensayo a Compresión de ladrillos cerámicos macizos

En la Tabla 2 y Tabla 3 se indican los resultados obtenidos del ensayo a compresión para los morteros y para los ladrillos cerámicos macizos respectivamente.

Tabla 2: Resultados Ensayo a Compresión Morteros

ID	Fc [N]	Rc [MPa]	Promedio Rc [MPa]	Dispersión Rc
MC701	22900	4.67	4.56	0.12
MC702	21700	4.43		
MC703	22370	4.57		

Tabla 3: Resultados Ensayo a Compresión Ladrillos Cerámicos Macizo

ID	Fc [N]	$\sigma_{pk\epsilon}$ [MPa]	Dispersión	$\sigma_{pk\epsilon}$
L1 - 1A	211700	9.26	0.32	5.06
L2 - 1B	109200			
L3 - 2A	86200			
L4 - 2B	87000			
L5 - 3A	109000			
L6 - 3B	128700			
L7 - 4A	174000			
L8 - 4B	177700			
L9 - 5A	151500			
L10 - 5B	99000			

En la Figura 4 se observa la etapa final de construcción de las pilas de mampostería en el laboratorio.



Figura 4: Pilas de Mampostería en Laboratorio

Modelo Numérico

En el programa computacional Abaqus se presenta el modelo de elementos finitos de las pilas de mampostería. Este modelo de elementos finitos tiene en cuenta los materiales componentes de las pilas y su interacción entre ellos. En la Figura 5 se observa el modelo realizado en el programa Abaqus.

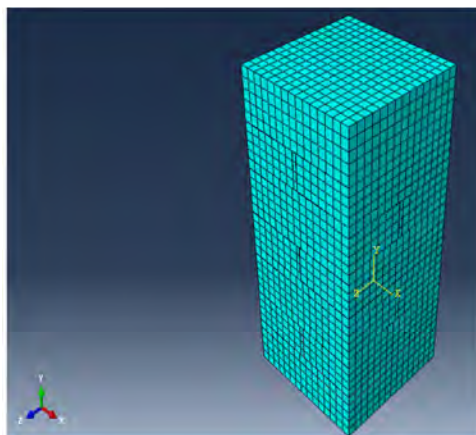


Figura 5: Modelo de elementos finitos de la pila de mampostería

La formulación matemática de las relaciones tensiones-deformaciones se realiza a través de modelos de plasticidad, en el presente trabajo se utiliza el modelo de plasticidad denominado CDP (Concrete Damaged Plasticity).

Modelo Concrete Damaged Plasticity (CDP)

El modelo tiene una buena capacidad para modelar hormigón y otros materiales cuasi-frágiles en todos los tipos de estructuras. Utiliza conceptos de elasticidad de daño isotrópica en combinación con la tracción isotrópica y plasticidad compresiva para representar el comportamiento inelástico de hormigón. El modelo tiene en cuenta la degradación de la rigidez elástica inducida por el esfuerzo plástico tanto en tracción como en compresión y explica adecuadamente los efectos de recuperación de rigidez bajo carga cíclica.

Respuesta a Compresión en el modelo numérico

Es necesario definir el comportamiento en el plano de tensión-deformación del material en compresión uniaxial fuera del rango elástico. Los datos de tensiones de compresión se presentan como una función de la deformación inelástica y la curva de tensión-deformación puede ser definida más allá de la tensión última, en el régimen de deformación de ablandamiento. Los datos de endurecimiento pueden expresarse en función de una deformación inelástica, en lugar de la deformación plástica. La deformación inelástica de compresión se define como la deformación total menos la deformación elástica correspondiente al material no dañado (Abaqus, 2003).

El programa Abaqus convierte automáticamente los valores de deformación inelástica a los valores de deformación plástica mediante la siguiente relación:

$$\varepsilon_c^p = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1 - dc)} \frac{\sigma_c}{E_0}$$

Donde:

ε^{pl} = deformación plástica

ε^{in} = deformación inelástica

d_c = variable de degradación de rigidez

E_0 = módulo elasticidad inicial

σ_c = tensión de compresión

La tensión efectiva se define como:

$$\bar{\sigma}_0 = D^{el} : (\varepsilon - \varepsilon^{pl})$$

Donde:

D_0^{el} = matriz de elasticidad (no dañada) inicial

La función potencial de flujo plástico y la superficie de fluencia hace uso de dos invariantes de tensión del tensor tensiones efectivas, es decir, la tensión de presión hidrostática (ecuación 3) y la tensión efectiva equivalente de Mises (ecuación 4):

$$\bar{p} = - \frac{1}{3} \text{trace} (\bar{\sigma})$$

$$\bar{q} = - \sqrt{\frac{3}{2} (\bar{s} : \bar{s})}$$

Donde $\bar{s}$ tensión efectiva desviatoria, definida como:

$$\bar{s} = \bar{\sigma} + p\bar{l}$$

Resultados

En la Tabla 4 se resumen los valores obtenidos de los ensayos a compresión en las pilas de mampostería.

Tabla 4: Resultados obtenidos de los ensayos a compresión en pilas

ID	Peso kg	Vol m ³	Peso Específico kg/m ³	Carga Máx. KN	Def. En Carga Máx. mm	Tensión Máxima MPa	Def. Espec. en Tensión Máxima mm/mm	Carga Máx. / Peso "CMP"	Carga Máx. / Vol. "CMV"
PL140	28.48	0.02	1586	397	3.43	9.97	0.0076	14	22
PL290	60.80	0.04	1663	596	4.22	7.34	0.0094	10	16
PL450	92.40	0.06	1675	664	4.00	5.42	0.0089	7	12

Siendo:

- "CMP": Carga máxima obtenida dividido el peso de la pila.
- "CMV": Carga máxima obtenida dividido el volumen de la pila.

En la Figura 6 se observan las curvas de tensión-deformación de las pilas de mampostería ensayadas en el laboratorio.

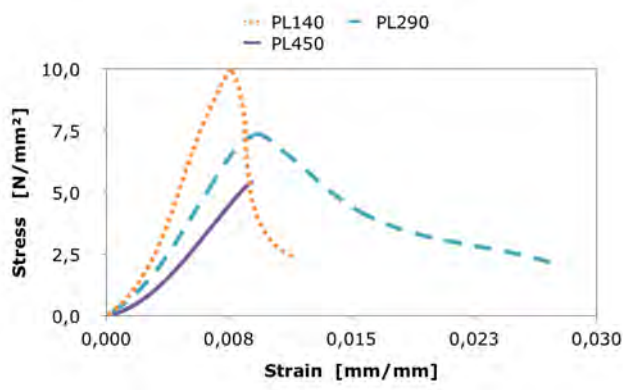


Figura 6: Curva Tensión Deformación Específica de las pilas

En las Figuras 7, 8 y 9 se observan las curvas comparativas entre los ensayos experimentales en laboratorio y los análisis numéricos.

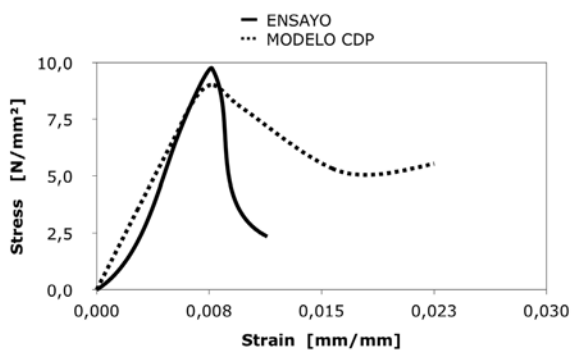


Figura 7: Tensión-Deformación Pila de Mampostería PL140

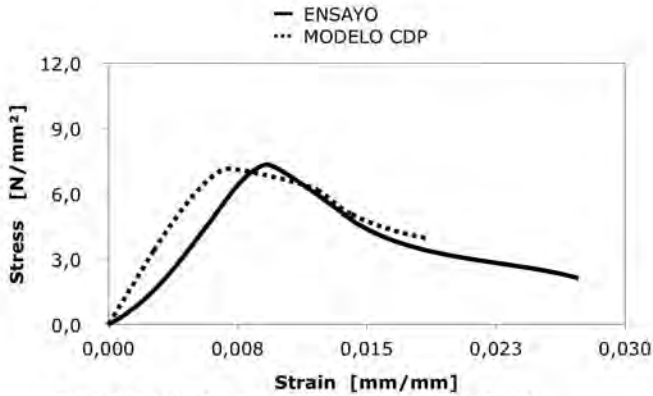


Figura 8: Tensión-Deformación Pila de Mampostería PL290.

Figura 8: Tensión-Deformación Pila de Mampostería PL290

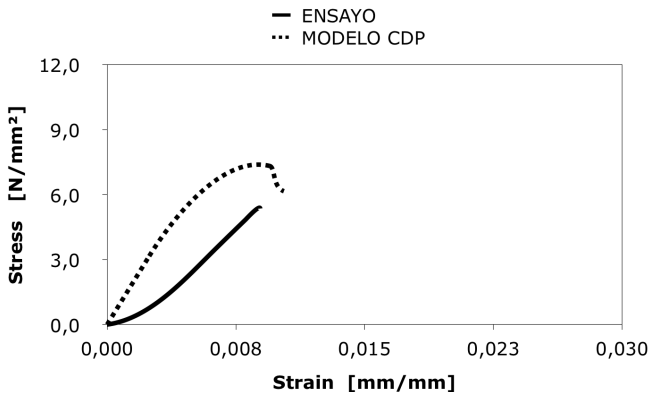


Figura 9: Tensión-Deformación Pila de Mampostería PL450

Conclusiones

En función de los resultados obtenidos de los ensayos experimentales y de los análisis numéricos concluimos que un aumento lineal del espesor de las pilas de mampostería no corresponde con un aumento lineal en la capacidad última. Que la presencia de mayor volumen de mortero en las juntas verticales produciría una reducción en la carga última. El análisis numérico tiende a captar con cierta precisión los ensayos experimentales, aunque para la pila de espesor mayor el modelo numérico se aleja del ensayo experimental. El aumento del volumen de mortero en las juntas de las pilas de mampostería tiende a disminuir la capacidad axial de las mismas, y los análisis numéricos tradicionales tienen dificultades para reflejar estos fenómenos.

Bibliografía

- ABAQUS 6.4-1. *Theory Manual*. Hibbit, Karlson and Sorenson, Inc.: Pawtucket, U.S.A., 2003.
- ANTHOINE A, MAGONETTE G, MAGENES G. Shear-compression testing and analysis of brick masonry wall. In *Proceedings of 10th European Conference on Earthquake Engineering 3*, Dumas G (ed). Balkema: Rotterdam, 1995; 1657-1662.
- AREF A.J., et al. A three-dimensional cyclic meso-scale numerical procedure for simulation of unreinforced masonry structures. *Computers and Structures*, Vol. 120, pp. 9-23, 2013.
- ATKINSON, R.H., AMADEI, B.P., SAEB, S., STURE, S. – Response of masonry bed joints in direct shear, *Journal of Structural Engineering*, 115 (9), 2277-2296, 1989.
- KARAPITTA L., et al. Explicit finite-element analysis for the in-plane cyclic behaviour of unreinforced masonry structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 40, pp. 175-193, 2010.
- LOURENCO, P. B., J. G. ROTS, J. BLAAUWENDRAAD. Two Approaches for the Analysis of Masonry Structures: Micro-and Macro-Modeling, *Heron*, Vol. 40, No. 4, 1995, pp. 313-340.

- LOURENÇO P. Computational strategies for masonry structures. *Thesis Delft University of Technology*. Delft University Press, (1996).
- LOURENÇO P. et al. Shear testing of stack bonded masonry. *Construction and Building Materials*. Vol. 18, Issue 2, pp. 125-132, 2004.
- LOURENÇO PB, MILANI G, TRALLI A, ZUCCHINI A (2007) Analysis of masonry structures: review of and recent trends of homogenization techniques. *Can J Civil Eng* 34:1443–1457.
- MAGENES, G. Seismic behavior of brick masonry: strength and failure mechanisms, *PhD Thesis, Department of Structural Mechanics*, University of Pavia, 1992.
- MASE G. E., *Theory and Problems of Continuum Mechanics*. Ed. McGraw-Hill Mexico, 247pp., 1977.
- PAGE, A. W., A Biaxial Failure Criterion for Brick Masonry in the Tension-Tension Range, *Int. Journal Masonry Constr.*, 1980, 1 (1), pp. 26-29.
- PAGE, A. W., An Experimental Investigation of the Biaxial Strength of Brick Masonry, *Proc. Sixth Int. Brick Masonry Conf.*, Rome, 1982, pp. 3-15.

Clasificación de los modelos científicos usando una modificación de la teoría de los tres mundos de Karl Popper[†]

Oscar Orellana

Resumen

Aunque existen varias formas diferentes de clasificar los modelos científicos, por una parte, ninguna de ellas (de acuerdo a nuestro mejor conocimiento) nos permite distinguir claramente los modelos teóricos de los restantes modelos científicos, de modo que estos se puedan caracterizar como objetos abstractos (artefactos), y por otra parte, pensamos que “La Ontología Pluralista o Teoría De Los Tres Mundos” de Karl Popper, podría resolver tal inconveniente para el desarrollo posterior de nuestro proyecto FONDECYT, número 1141260, titulado: “Modelling in Science and Abstract Objects: for a fictional artefactual approach”.

En este artículo procedemos a introducir una doble modificación tanto de “La Ontología Pluralista o Teoría de los Tres Mundos” de Karl Popper, como del correspondiente esquema Popperiano, con los objetivos de: (a) usarlo como modelo o esquema clasificatorio ontológico artificial de los modelos científicos, a partir de las interacciones existentes y los elementos comunes entre los tres mundos de Popper superpuestos al conjunto de los modelos científicos; (b) explorar heurísticamente la eventual naturalización del modelo o esquema clasificatorio basado en los tres mundos de Popper modificado. Es decir, investigar por medio de ejemplos de modelos científicos específicos (bien definidos y autorizados) la correspondencia entre el conjunto de los modelos científicos y el modelo o esquema clasificatorio propuesto; (c) clasificar los modelos teóricos como aquellos que pertenecen a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 de Popper (modulo modificaciones y considerados como

[†] Los resultados presentados en este artículo fueron obtenidos en el marco del proyecto Fondecyt Regular N°1141260.

conjuntos), para caracterizarlos como objetos abstractos (o artefactos); y (d) otros objetivos complementarios a los anteriores y de más largo plazo.

Pero, previamente se hacen algunos comentarios sobre: clasificación artificial v/s natural; clasificación ontológica v/s epistemológica; los modelos científicos como clases de equivalencia; la evolución de la doctrina de los tres mundos; y se presenta una breve caracterización tanto del proceso de modelización científica, como de lo que entenderemos por modelo científico.

Palabras Claves: Clasificación artificial y natural; clasificación ontológica y epistemológica; relación y clases de equivalencia; proceso de modelización; modelo científico; la ontología pluralista o teoría de los tres mundos de Karl Popper; diagrama de Venn.

Tabla de Contenidos: (1) Introducción: motivación y planteo del problema; (2) Clasificación artificial v/s clasificación natural; (3) Clasificación ontológica v/s clasificación epistemológica; (4) Los modelos científicos como clases de equivalencia; (5) Evolución del esquema de la doctrina de los tres mundos y la primera modificación tanto de la teoría de los tres mundos, como del esquema de Popper; (6) Caracterización del proceso de modelización científica, más un esquema simplificado del mismo; (7) Caracterización de los modelos científicos; (8) El esquema de Popper como diagrama de Venn: segunda modificación; (9) El diagrama de Venn como modelo o esquema clasificatorio; (10) Heurística: algunos ejemplos de modelos científicos y su clasificación de acuerdo al modelo o esquema propuesto; (11) Caracterización de los modelos teóricos como aquellos que pertenecen a la intersección del mundo 2 (mundo mental) con el mundo 3 (mundo de las creaciones humanas) de Popper (modulo modificaciones); (12) Comentarios finales.

I. Introducción (motivación y planteo del problema)

En el proyecto FONDECYT titulado: “Modeling in Science and Abstract Objects: for a fictional artefactual approach”, nos hemos planteado las siguientes inquietudes generales respecto de los modelos científicos: (a) ¿cómo se puede distinguir un modelo de otro?, es decir cómo definir un criterio de identidad; (b) cuando estamos trabajando con modelos científicos emerge la necesidad de aclarar cómo y cuándo podemos analizar y comparar propiedades, elementos y relaciones que le pertenecen al modelo en relación con (en representación de) la realidad problemática que supuestamente modela; (c) cuales son los compromisos ontológicos

y epistemológicos de un modelo científico determinado; (d) cual es la relación entre los modelos científicos y la verdad; (e) ¿cuál es el estatuto epistemológico de los modelos científicos?; (f) ¿cuál es la relación entre los modelos científicos y los usuarios conscientes?; (g) otras inquietudes.

Uno de los objetivos específicos de nuestro proyecto consiste en proponer una clasificación de los modelos científicos que nos permita distinguir claramente los modelos teóricos de los restantes modelos científicos de modo que estos puedan caracterizarse como objetos abstractos (o artefactos) y así eventualmente darle una solución a las inquietudes planteadas en el párrafo anterior.

Cómo hipótesis de trabajo pensamos que algunas de las inquietudes planteadas pueden ser resueltas con la ayuda de un modelo o esquema clasificatorio “ad hoc” (de corte y confección) a los objetivos de nuestro proyecto. En este sentido, hemos planteado en nuestro proyecto que la ontología pluralista de K. Popper podría ser de gran ayuda. En particular, pensamos que la teoría de los tres mundos de Popper nos permite distinguir y delimitar claramente (como conjunto) los modelos teóricos de los restantes modelos científicos, de modo que puedan ser tratados como objetos abstractos (o artefactos) y en consecuencia susceptibles de ser estudiados con la ayuda de la teoría artefactual de Amiel L. Thomasson.

Puesto que los modelos científicos son artificiales, sigue que el conjunto de los modelos científicos es un subconjunto del Mundo 3 de Popper (mundo de los productos de la mente humana). Entonces, la aplicación de la teoría de los tres mundos de Popper (después de sufrir un par de modificaciones) consistirá principalmente en dividir el conjunto de los modelos científicos (o en su defecto el conjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados”) en tres subconjuntos: (i) concretos-artificiales (el Mundo 1 de Popper intersectado con el conjunto de los modelos científicos (“bien definidos y autorizados”)). Por ejemplo: el modelo miniaturizado a escala hecho de madera de un perfil aerodinámico a escala real; (ii) mentales-artificiales (el Mundo 2 de Popper intersectado con el conjunto de los modelos científicos (“bien definidos y autorizados”)). Por ejemplo: un experimento mental para chequear la consistencia lógica de una teoría; y (iii) abstractos-artificiales (el Mundo 3 de Popper intersectado con el conjunto de los modelos científicos (“bien definidos y autorizados”)). Por ejemplo: el modelo para un tipo de reacción auto-catalítica llamado Brusselator (acrónimo de Bruselas y oscilador) de Ilya Prigogine; o el modelo de un cierto tipo de singularidad matemática usando ecua-

ciones diferenciales para estudiar su emergencia, forma y tiempo crítico; o modelo geométrico de un cierto sistema axiomático.

Las dos modificaciones del Esquema de los Tres Mundos de Popper consistirán: (1) en admitir y permitir la posibilidad cierta de interacción directa entre los mundos 1 y 3 de Popper, (es decir, sin intermediación del mundo 2, ver ponencia de Carlos Verdugo titulada “Vigencia de la Ontología Pluralista de Karl Popper”, en esta misma serie) y (2) en considerar los tres subconjuntos del conjunto de los modelos científicos glosados arriba como tres conjuntos que se intersectan mutuamente en un diagrama de Venn, lo cual dividirá el conjunto de todos los modelos científicos (o el conjunto de todos los modelos científicos “bien definidos y autorizados”, o sin apellidos, si se estima necesario o adecuado, respectivamente) en 7 subconjuntos, los cuales se obtienen considerando (en un conjunto universo dado, que puede ser: el conjunto de todos los modelos científicos, o de todos los modelos científicos “bien definidos y autorizados”, o sin apellido): (a) todos los elementos de uno de los subconjuntos que no pertenecen a los otros dos subconjuntos (tomándolos de a uno, total 3), (b) todos los elementos en común a dos de los subconjuntos (tomándolos de a pares, total 3), y (c) los elementos comunes a los tres subconjuntos (tomando a los tres juntos, total 1). En otras palabras, consideramos: la intersección de los tres subconjuntos tomados juntos (total 1), las intersecciones de los tres subconjuntos tomados de a pares (total 3), y las partes de cada subconjunto que no se intersectan con ninguno de los otros dos subconjuntos (total 3), (Ver diagrama de Venn en la sección VIII de este artículo).

Los modelos o elementos en común a los tres subconjuntos (de los modelos científicos con o sin apellidos) tomados juntos o de a pares, quedarán representados en el diagrama de Venn por medio de la intersección de los tres subconjuntos tomados juntos y las intersecciones de los tres subconjuntos tomados de a pares, respectivamente. Las relaciones de interacción entre los tres subconjuntos de los modelos científicos con o sin apellidos (o tres mundos de Popper sobrepuestos al conjunto de los modelos científicos con o sin apellidos), se representarán en el diagrama de Ven por medio de los correspondientes trazos dirigidos en una y otra dirección (Ver diagrama de Venn en la sección VIII de este artículo).

Si la solución propuesta para el conjunto de los modelos científicos sin apellido no es satisfactoria, se puede restringir la investigación al conjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados”, porque sobre este conjunto (como se verá), se puede definir una relación de equi-

valencia basada en la correspondiente caracterización tanto del proceso de modelización, como la de un modelo científico. Esta relación de equivalencia divide al conjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados” en clases de equivalencia, evitando problemas de ambigüedad y repetición, a la vez que resuelve el problema de la unicidad tan caro para el problema de la identidad de un modelo científico.

Finalmente, glosaremos algunos ejemplos de modelos científicos que procederemos a clasificar en uno de los 7 subconjuntos en que se divide el diagrama de Venn, para iniciar la exploración heurística de la eventual naturalización del esquema o modelo clasificatorio propuesto, y de este modo distinguir los modelos teóricos como aquellos que pertenecen a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 de Popper (modulo las dos modificaciones), y poder caracterizarlos como objetos abstractos (o artefactos), para terminar con alguno comentarios importantes.

II. Sistemas clasificatorios artificiales v/s naturales

La utilidad de los sistemas clasificatorios en las ciencias naturales (física, química, astronomía, biología, zoología, etc.), sociales (economía, sociología, historia, etc.), cognitivas (psicología, neurología, psiquiatría, etc.), y formales (matemáticas y lógica) está más que demostrada y es muy difícil de exagerar. Por ejemplo, la clasificación de las ecuaciones diferenciales parciales: en lineales y no lineales; en deterministas y estocásticas; y en hiperbólicas, elípticas y parabólicas, respectivamente, juegan un rol fundamental a la hora de elegir los métodos de resolución tanto analíticos, como numéricos para poder simularlas en una plataforma computacional. Sin embargo, tanto la invención y/o descubrimiento, como el establecimiento de un sistema clasificatorio representan un problema tanto para la ciencias naturales y formales, como para la filosofía de la ciencia.

De acuerdo a Hans Vaihinger (padre del ficcionalismo moderno y que veía ficciones en todas partes): (1) “Todos los objetos cósmicos presentan formas especiales, las cuales son expresadas teóricamente en alguna clasificación, y cuando esta especificación corresponde con la realidad en todos los aspectos, entonces es un sistema natural. **El sistema natural es en sí mismo uno de los problemas más complicados de la filosofía y las ciencias naturales, y de él emerge la pregunta vital acerca de la naturaleza de las especies**” y; (2) “Un sistema natural es uno en que las entidades están dispuestas de acuerdo a los principios que aparentemente sigue la naturaleza en su desarrollo. Expresado de manera breve,

el sistema natural de clasificación debe ser una copia correspondiente al origen real y las relaciones mutuas de todas las cosas. **Esta es la meta de la ciencia y todo método directo debe trabajar directamente hacia él**".

La clasificación de los modelos científicos que proponemos en estas notas no pretende ser un sistema en el sentido de Vaihinger, por el contrario es un esquema (un modelo) sujeto a modificaciones y perfeccionamiento de acuerdo se avance en el conocimiento de los modelos científicos. La clasificación que proponemos en estas notas siendo artificial y convencional, es coherente, y no solo se mostrará útil y pertinente en relación con la clasificación de los elementos pertenecientes al conjunto de los modelos científicos, sino que también esperamos que alcance grados crecientes de naturalización por aproximaciones sucesivas utilizando algunos modelos científicos como ejemplos de las diferentes clases de modelos científicos inducidas por el modelo o esquema clasificatorio propuesto.

III. Clasificación ontológica v/s epistemológica

Siguiendo la ontología pluralista de Popper y sus consecuencias. La clasificación basada en la teoría de los tres mundos de Popper (modulo las dos modificaciones), que proponemos en estas notas es una clasificación ontológica, en el sentido de que consistentemente con la ontología pluralista Popperiana, consideramos los modelos científicos como objetos reales. Los modelos científicos podrán ser concretos o abstractos, pero los consideramos a todos como objetos reales de acuerdo a la teoría de los tres mundos de Popper.

Resumiendo, el modelo o esquema clasificatorio propuesto en las presentes notas es ontológico y provisionalmente artificial.

IV. Los modelos científicos como clases equivalencia

El problema de clasificar los modelos científicos puede ser una tarea bastante compleja, como lo demuestra la literatura especializada sobre el tema y los diferentes intentos por clasificarlos. Por ejemplo: ¿dos perfiles aerodinámicos de la misma dimensión, pero de diferente color, se deben considerar iguales o diferentes? **La respuesta a esta pregunta es: depende**, porque dependiendo de las intenciones, pretexto u objetivos de los investigadores o usuarios conscientes, podrán considerarse iguales o diferentes. En efecto, si el objetivo que se persigue con el perfil aerodinámico

a escala es medir las diferentes fuerzas aerodinámicas que experimenta el perfil en un túnel de viento, el color no importa mucho y puede ser ignorado como factor diferenciador. Pero, si lo que se pretende es medir la cantidad de energía solar por unidad de área que es capaz de recolectar, entonces el color del perfil aerodinámico podría ser relevante, no se puede ignorar y tendríamos que considerar los perfiles de diferente color como diferentes aún que dimensional y materialmente fueran iguales. Por lo demás este ejemplo no ilustra todas las razones por las cuales podríamos considerar que dos modelos son iguales o diferentes. Por ello, es necesario tener una caracterización tanto del proceso de modelización, como de los modelos científicos lo más ajustadas posibles a las condiciones de contexto y los requerimientos de los usuarios conscientes. Así y todo, tal vez sea necesario adicionalmente restringir el conjunto de los modelos científicos al subconjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados”, para obtener un modelo o esquema clasificatorio más o menos riguroso. Por tal motivo a continuación presentamos una glosa preliminar de lo que habría que hacer para evitar ambigüedades, repeticiones y de ésta forma (dando por sentada la existencia de los modelos científicos) resolver el problema de unicidad tan caro al problema de la identidad de los modelos científicos:

4.1.- Considere el conjunto de todos los modelos científicos en un tiempo dado (el cual por lo demás es siempre finito). De esta forma se tiene un conjunto claro y preciso de modelos científicos, contando eventuales repeticiones.

4.2.- Considere el subconjunto del conjunto de todos los modelos científicos en un tiempo dado, compuesto por los modelos científicos “bien definidos y autorizados”, **donde “bien definidos y autorizados” es una noción paraguas que alude, por una parte, a que el modelo está claramente (sin ambigüedades) delimitado como sistema cerrado o abierto a las correspondientes escalas espacio-temporales, con sus partes y relaciones internas y externas claramente determinadas, y por otra parte, a que el modelo está debidamente calibrado y/o modulado respecto de la realidad problemática que supuestamente modela, en el sentido de que cumple con los requerimientos de precisión y exactitud (de acuerdo a las medidas o métricas contempladas en el proceso de modelización), que la comunidad científica exige de él en un momento dado.**

4.3.- Dada una caracterización clara y precisa de lo que se considera un modelo “bien definido y autorizado” (donde juegan un papel funda-

mental tanto el proceso de modelización, como el producto del proceso de modelización, a saber: el modelo), **diremos que dos modelos son iguales si responden a la misma caracterización** (Ver sección VII del presente artículo).

4.4.- La relación de igualdad sobre el subconjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados (en un tiempo dado)”, es una relación de equivalencia.

4.5.- La relación de igualdad como relación de equivalencia sobre el subconjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados (en un tiempo dado)”, induce una partición sobre este último, en clases de equivalencia. Donde, todo modelo científico “bien definido y autorizado (en un tiempo dado)”, pertenece a una única clase de equivalencia.

4.6.- Las clases de equivalencia son disjuntas y la unión de todas ellas es el subconjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados (en un tiempo dado)”.

4.7.- Todo modelo científico “bien definido y autorizado (en un tiempo dado)”, es un representante de su clase de equivalencia.

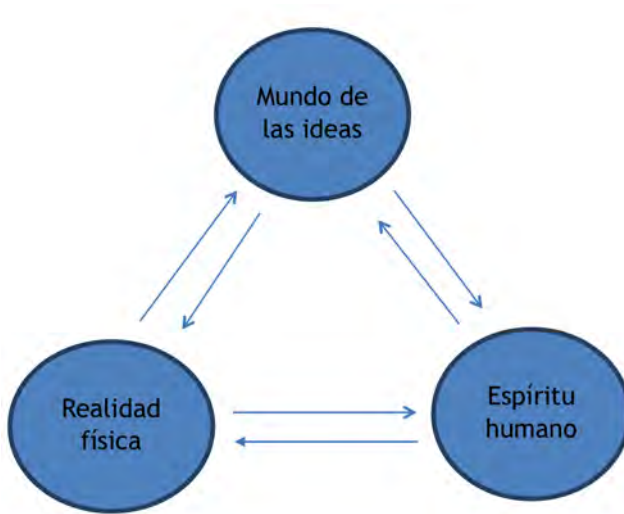
Desde esta perspectiva toda clase de equivalencia tiene al menos un elemento (es decir, toda clase de equivalencia es un conjunto no vacío) y todos los modelos científicos pertenecientes a una clase de equivalencia son considerados iguales. Así las cosas, el conjunto de modelos científicos constituido por un representante de cada clase de equivalencia es el prototipo de conjunto adecuado (más simple), para resolver en principio las inquietudes plantadas en la introducción del presente artículo.

V. Breve resumen de la evolución de la doctrina de los tres mundos

5.1.- (Giordano Bruno) La doctrina de los tres mundos tiene raíces místicas, herméticas y neoplatónicas. Pero es en la obra de G. Bruno “*Sigilus sigillorum*” donde esta doctrina es presentada por primera vez en el contexto de una visión que abarca un universo infinito físicamente homogéneo. Se trata de una construcción metafísica que conecta cíclicamente el espíritu humano a la realidad física y su origen ideal. Bruno teoriza acerca de un circuito entre el mundo de la ideas (localizado en Dios o en la mente divina), la realidad física, y el espíritu humano y su contenido, distinguiendo una dirección ascendente y una descendente.

Esta doctrina también es recurrente en algunos autores eclécticos del siglo XVII, tales como: Conrad Berg y Johannes Clauberg.

Esquema de G. Bruno:

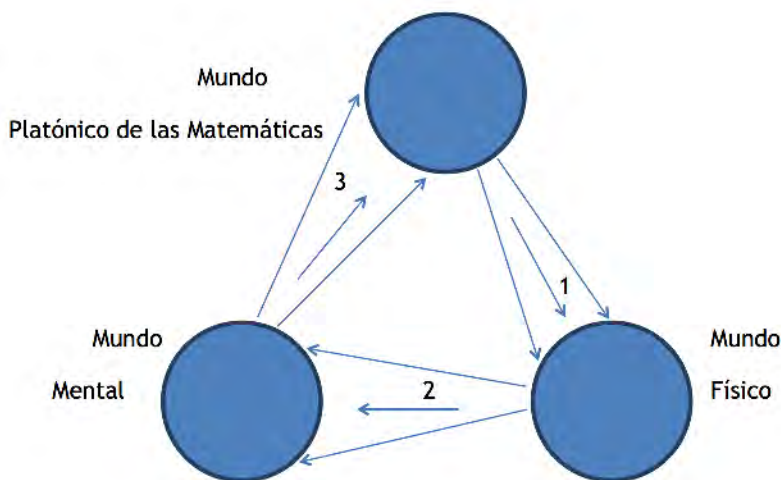


5.2.- (Roger Penrose) En la parte final de su obra titulada “Shadows of the Mind” y más recientemente en la sección (1.4) del primer capítulo de su libro titulado “The Road to Reality”, R. Penrose plantea la hipótesis de la existencia de tres mundos y tres misterios profundos: el mundo de las percepciones conscientes, el mundo físico, y el mundo Platónico de las formas matemáticas. Cada uno de estos tres mundos parece emerger misteriosamente de (o al menos estar íntimamente relacionado con) una fracción de su predecesor (tomando los mundos cíclicamente). La construcción de Penrose es similar a la teoría de los tres mundos desarrollada por G. Bruno.

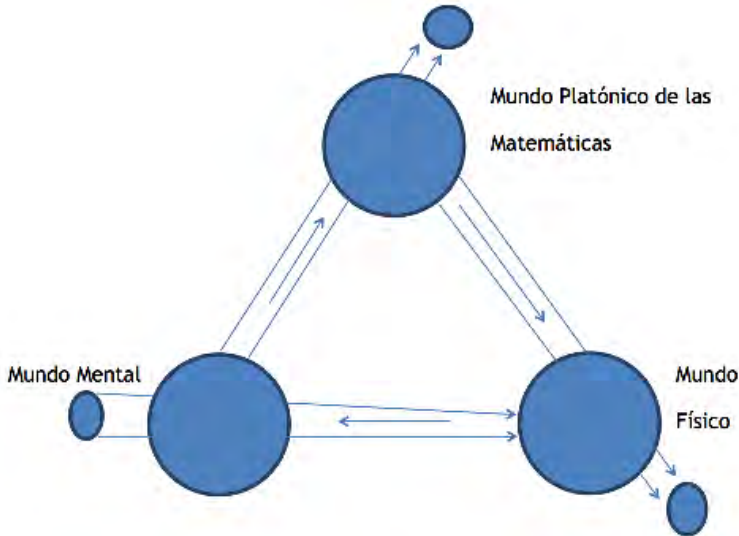
El punto de vista de Penrose acerca del mundo Platónico de las formas matemáticas está relacionado fundamentalmente con la filosofía de las matemáticas de Kurt Gödel. El Platonismo fue interpretado por la filosofía de las matemáticas del siglo XX en varias formas diferentes. El Platonismo absoluto al afirmar la existencia de un mundo estático de ob-

jetos ideales, se mostró insostenible debido a la paradoja de Russell. Sucesivamente, el Platonismo fue atacado también por Weyl, Kronecker y Brouwer. En contraste Kurt Gödel (posiblemente el Platónico matemático más prominente del siglo XX), desarrolló una forma de Platonismo de “extremos abiertos” (es decir, a nivel de axiomas y conceptos fundamentales). Según Gödel, los axiomas y conceptos fundamentales se pueden encontrar o descubrir, lo cual significa que existen objetivamente, pero no forman un mundo cerrado. Kurt Gödel rechazó las posturas intuicionistas (de que los objetos matemáticos son construcciones nuestras), en relación con la teoría de conjuntos de George Cantor, manteniendo que los axiomas de la teoría de conjuntos no forman un sistema cerrado, sino que el concepto de conjunto sugiere la extensión de dicho sistema agregándole nuevos axiomas.

Esquema I de Penrose:



Esquema II de Penrose:

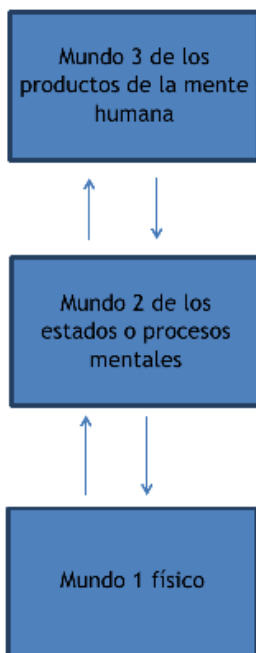


5.3.- (Karl Popper) Penrose expresa sus convicciones en términos de tres mundos diferentes, y tres misterios profundos que relacionan cada uno de estos mundos con los otros dos (ver los diagramas previos). Los mundos de R. Penrose están relacionados de alguna manera con los de K. Popper, pero los énfasis y los mundos tienen algunas diferencias. Por ejemplo: Penrose habla del mundo Platónico de las matemáticas, mientras que Popper habla del mundo de las creaciones humanas que es muchísimo más grande; Penrose habla del mundo de las percepciones conscientes, mientras que Popper habla del mundo mental incluidos los procesos conscientes e inconscientes; Penrose en su primer esquema da a entender que cada uno de los tres mundos es descrito, representado, o producido por una porción del mundo precedente siguiendo un orden cíclico, mientras que Popper habla de la interacción entre los mundos 1 (físico) y 3 (de las creaciones humanas), interpósito el mundo 2 (de los procesos mentales); Penrose está interesado en argumentar a favor de la reducción de la representación de todo el conocimiento físico a las ma-

temáticas, mientras que Popper está interesado en darle una solución al problema mente-cuerpo y la relación entre el conocimiento subjetivo y el conocimiento objetivo; el esquema de Penrose es cíclico, mientras que el de Popper no es cíclico; etc.

En su artículo titulado “Three Worlds” y su libro titulado “Knowledge and the Body-Mind Problem”, entre otras de sus obras, Karl Popper distingue tres mundos: el físico, el psicológico o subjetivo, y el objetivo que consiste en los productos de la mente humana, tales como: mitos, cuentos, teorías científicas, arte y música. A la vez que coloca el mundo 2 de los procesos mentales entre el mundo 1 y el mundo 3, con las respectivas interacciones, no permitiendo la interacción directa entre el mundo 1 y el mundo 3. Por lo tanto, el esquema de Popper no es cíclico como el de G. Bruno y el de R. Penrose.

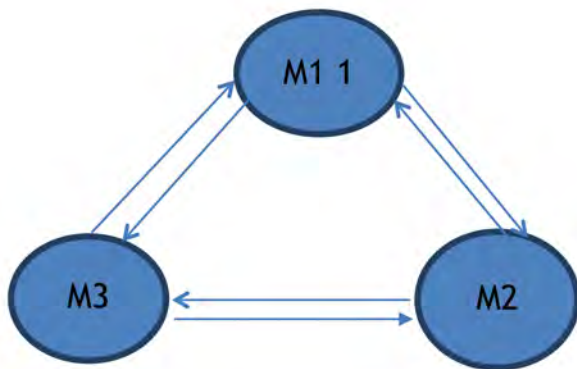
Esquema de Popper:



El mundo 3 de Popper contiene construcciones mentales que tienen alguna similitud con aquellas que residen en el mundo Platónico extendido de Penrose. Sin embargo, el mundo 3 de Popper no tiene existencia atemporal independiente de nosotros, tampoco es un mundo subyacente a la estructura de la realidad física, como en el caso de Penrose. En efecto, Popper considera los objetos pertenecientes al mundo 3 como esencialmente hechos por el hombre y rechaza el Platonismo. Además, con ello (como ya dijimos más arriba) pretende dar una solución a la relación entre conocimiento objetivo y subjetivo, y al problema mente-cuerpo.

5.4.- (Carlos Verdugo y Oscar Orellana) La primera modificación de la ontología pluralista y teoría de los tres mundos de K. Popper consiste en hacer cíclico el esquema de los tres mundos, reconociendo que es posible que pueda haber interacción directa entre el mundo 1 y el mundo 3 de ida y de vuelta (ver la ponencia de Carlos Verdugo titulada “Vigencia de la Ontología Pluralista de Karl Popper”, en esta misma serie).

Esquema de Verdugo & Orellana;
primera modificación de la teoría de los tres mundos de Popper:



VI. Fases del proceso de modelización científica

6.1.- El proceso de modelización científica se inicia enfocando una realidad problemática como sistema.

6.2.- En segundo lugar, se procede a delimitar la realidad problemática enfocada como sistema abierto o cerrado a las escalas espacio - temporales pertinentes.

6.3.- En tercer lugar se hace el levantamiento de datos, propiedades, características, magnitudes, efectos, elementos, relaciones causales, relaciones generales, etc. según corresponda.

6.4.- En cuarto lugar se procede a familiarizarse científicamente con ella, para abstraer los aspectos que se consideren relevantes y neutralicen los aspectos que se consideren irrelevantes de acuerdo a los objetivos, intenciones, intereses, o fines que persiguen los modeladores.

6.5.- En quinto lugar se procede a determinar las diferentes maneras, modos o formas de aproximarse a la realidad problemática (usando los diferentes medios teóricos y tecnológicos), para “domesticarla” y lograr nuestros fines, objetivos, intereses o intenciones.

6.6.- En sexto lugar se procede a mejorar la accesibilidad sensorial y teórica a la realidad problemática (si es que se puede y corresponde, usando todos los medios teóricos y tecnológicos disponibles), para disminuir su complejidad.

6.7.- En séptimo lugar se procede a diseñar, formular y/o construir un modelo de la realidad problemática, según esta haya dado lugar. Para ello se representa y/o instancian de manera teórico-conceptual y/o material los aspectos que hemos considerado relevantes de la realidad problemática enfocada como sistema.

6.8.- En octavo lugar se procede a definir claramente las medidas o metricas cualitativas y cuantitativas comunes a que dan lugar tanto la realidad problemática, como el modelo.

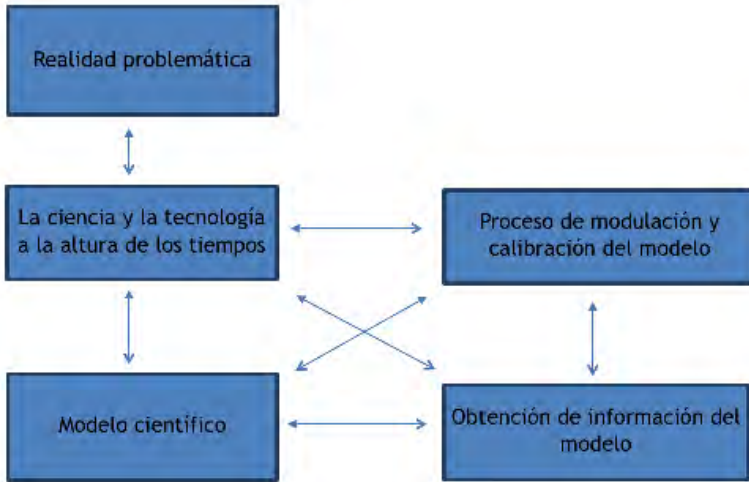
6.9.- En noveno lugar se procede a operar y controlar el modelo, para sacarle información.

6.10.- En décimo lugar se procede a calibrar y/o modular el modelo respecto de la realidad problemática, usando las medidas o metricas cualitativas y/o cuantitativas definidas de acuerdo a los diferentes mo-

dos (teóricos-conceptuales y/o tecnológicos), de aproximarse a la realidad problemática y en relación con los aspectos destacados de esta.

En cualquier caso, el proceso de modelización es dinámico y las fases descritas se recorren de ida y de vuelta una y otra vez.

Esquema de simplificación del proceso de modelización:



VII. Sobre la caracterización de un modelo científico y la igualdad entre modelos científicos

Una caracterización clara y precisa de los modelos científicos “bien definidos y autorizados” debe contemplar la claridad y precisión de al menos los siguientes aspectos, para que sirva de fundamento a una definición de igualdad entre modelos científicos.

7.1.- Los modelos científicos están elaborados o concebidos por una o varias personas. En consecuencia, siendo naturales son artificiales (es decir, son producto de la mente humana). En otras palabras los modelos científicos son artefactos abstractos o concretos. Esto no significa, que por ejemplo la modelación por medio de computadores o impresoras 3D

no sea posible (ver: Paul Humphrey “Extending Ourselves: Computational Sciences, Empiricism and Scientific Method”).

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales no es necesario que estén elaborados o concebidos por las mismas personas o comunidad científica. Pero, si es razonable exigir que la comunidad científica en la práctica de la investigación y uso de ambos modelos tenga un fundamento explícito y objetivo para tratarlos como iguales. En otras palabras, la igualdad entre dos modelos científicos no puede, ni debe ser una cuestión arbitraria o subjetiva.

7.2.- Los modelos científicos están elaborados y/o expresados por medio de algo concreto y/o abstracto (por ejemplo: madera o palabras o símbolos).

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales es necesario que estén elaborados de exactamente los mismos materiales y/o expresados simbólica o lingüísticamente de manera equivalente.

7.3.- Los modelos científicos se refieren a una realidad problemática real o imaginaria diferente de ellos mismos, como sistema objeto de modelización.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales es necesario que estén referidos a la misma realidad problemática.

7.4.- Los modelos científicos están elaborados o concebidos con un propósito, objetivo, intención, finalidad, o pretexto.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales es necesario que estén elaborados o concebidos con el mismo propósito, objetivo, intención, finalidad, o pretexto.

7.5.- Los modelos científicos tienen una o varios sentidos, formas, o maneras de aproximarse a la realidad problemática, que intentan modelar.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales deben tener el mismo sentido, forma, o manera de aproximarse a la realidad problemática que modelan. En particular, deben coincidir en los aspectos (elementos, partes, relaciones, etc.) enfocados o destacado, abstraídos, y que representan de la realidad problemática que modelan.

7.6.- En general, los modelos científicos, emergen en y responden a un determinado contexto histórico, cultural, y económico-financiero, y en particular al conocimiento científico y la tecnología de su tiempo.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales deben estar basados en el mismo conocimiento científico, y misma tecnología.

7.7.- Los modelos científicos se elaboran o conciben con el compromiso expreso de ser verídicos, en el sentido de “representar y dar cuenta” cualitativa y/o cuantitativamente de los aspectos de la realidad problemática enfocados en el proceso de modelización, de acuerdo a las medidas o métricas definidas y los requerimientos exigidos por la comunidad científica que lo elaboró y/o concibió, respectivamente.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales deben estar fundamentados respecto de la realidad problemática que modelan en las mismas métricas o medidas. En particular deben coincidir en la exactitud y precisión de aquellos aspectos de la realidad problemática enfocados durante el proceso de modelización usando las mismas métricas o medidas. En otras palabras, los dos modelos deben coincidir en los requerimientos de la comunidad científica durante el proceso de calibración o modulación (fidelización) del modelo, en aquellos aspectos de la realidad problemática que el modelo modela.

7.8.- Para obtener una caracterización más rigurosa de los modelos científicos se debe exigir que estos estén bien definidos y autorizados por la correspondiente comunidad de investigadores, lo cual restringe el conjunto de los modelos científicos a un subconjunto de este, constituido por los modelos científicos bien definidos y autorizados.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales ambos deben estar bien definidos y autorizados por el grupo de personas o comunidades científicas respectivas.

7.9.- Los modelos científicos siempre dan más de lo que se ha puesto en ellos. Por ejemplo: (a) si es un modelo matemático este implica lógicamente una serie de consecuencias lógicas no prevista, y (b) si es un modelo concreto puede comportarse o mostrar propiedades inesperadas. Lo deseable es que estas consecuencias o propiedades también resulten estar bien moduladas y/o calibradas con la realidad problemática objeto de modelización. Este aspecto de los modelos dice relación con el uso predictivo y verificativo que se hace de ellos.

Para que dos modelos científicos sean considerados iguales las consecuencias y propiedades que se obtengan de ellos a posteriori deben ser iguales.

Si los modelos son complejos y por lo tanto exhiben consecuencias y/o propiedades y/o características emergentes. Entonces, para ser considerados iguales debieran exhibir las mismas consecuencias, propiedades, y/o características emergentes.

VIII. El esquema de los tres mundos de Popper. Segunda modificación

En consistencia con la ontología pluralista de Popper consideramos que los modelos científicos son objetos reales. Ahora y puesto que los modelos científicos son artificiales (pero naturales), se sigue que son habitantes del mundo 3 de Popper. Por lo tanto, la segunda modificación del esquema de Popper consiste en superponer los tres mundos de Popper sobre el conjunto de los modelos científicos o en su defecto sobre el conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizado por la comunidad científica correspondiente (donde ambos son obviamente subconjuntos del mundo 3), dando lugar a una estructura auto-similar. Además, considerando los tres mundos en que se divide el conjunto de los modelos científicos (o el conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados) como conjuntos, los graficamos en un diagrama de Venn de modo que se intersecten, donde la intersección significa que estos tres mundos en que se divide el conjunto de los modelos científicos (o el conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados) tienen elementos en común ontológicamente hablando.

Resumiendo, esta segunda modificación tiene dos aspectos, por un lado, los tres mundos de Popper se superponen al conjunto de los modelos científicos (o conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados), los cuales son subconjunto del mundo 3 de Popper, y por otro lado, los tres mundos de Popper en que se ha particionado el conjunto de los modelos científicos (o que se ha particionado el conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados) son considerados como tres conjuntos que conforman un diagrama de Venn que alude al aspecto ontológico de los modelos científicos.

De acuerdo a la descripción de los dos párrafos anteriores, el universo del discurso puede ser el conjunto de todos los modelos científicos, o el conjunto de todos los modelos científicos bien definidos y autorizados, donde el segundo es obviamente subconjunto del primero. Sin embargo, ambos tienen un número finito de elementos, es decir tienen cardinalidad finita. En consecuencia, la subdivisión auto-similar tiene un límite,

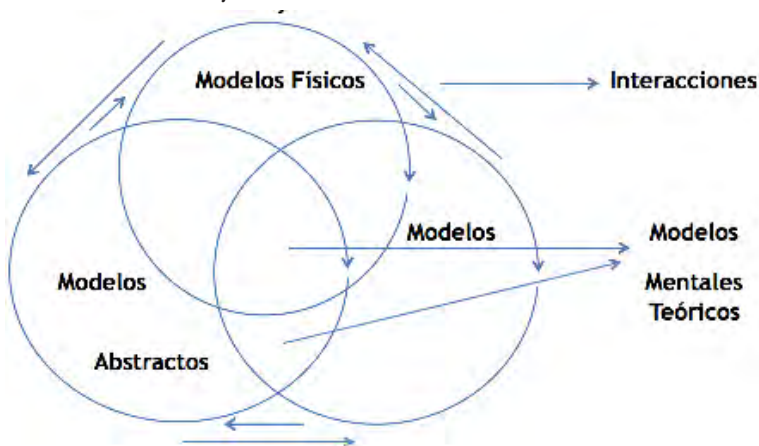
y se puede realizar recursivamente hasta que el número de subconjuntos de la división coincida con el número de modelos científicos. Pero, llegados a este límite no tenemos ninguna clasificación que se pueda juzgar interesante y/o útil.

Puesto que el conjunto de los modelos científicos sin apellido, puede ser una realidad muy compleja de analizar y puede presentar dificultades insalvables si deseamos hacer una clasificación de sus elementos, es que hemos intentado caracterizar el conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados al cual habría que restringirse, como una alternativa viable a nuestras pretensiones, porque este conjunto es muchísimo más manejable, sobre todo si consideramos la relación de equivalencia definida en la cuarta sección del presente trabajo.

Dado el conjunto de los modelos científicos (o el conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados) como universo del discurso, los tres subconjuntos fundamentales que se obtienen al subdividirlo de acuerdo a los tres mundos de Popper, y la sobre posición de todos ellos en un diagrama de Venn, se obtienen una partición del conjunto de los modelos científicos (o del conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados) en 7 subconjuntos, como se ilustra a continuación.

El diagrama de Venn más las interacciones entre los tres mundos:

Conjunto de los modelos científicos o conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados:



IX. EL diagrama de Venn como modelo o esquema clasificatorio

9.1.- Note que el diagrama de Venn desde el punto de vista ontológico (en principio) divide al conjunto de los modelos científicos (o conjunto de los modelos científicos bien definidos y autorizados) en 7 tipos de modelos científicos.

9.2.- La proporciones en que el diagrama de Venn divide al conjunto de los modelos científicos con o sin apellidos, no son necesariamente las correctas. Para obtener las proporciones correctas habría que hacer un catastro completo de todos los modelos científicos con o sin apellidos existentes a la fecha.

9.3.- Al existir intersecciones no vacías entre los tres subconjuntos básicos (físicos, mentales, y abstractos) en que hemos subdividido el conjunto de los modelos científicos con o sin apellidos, la clasificación propuesta reconoce y establece fronteras difusas , tanto desde el punto de vista ontológico, como desde el punto de vista epistemológico, entre los diferentes modelos científicos. En otras palabras, se reconoce que no existe una separación dicotómica o un criterio de demarcación entre estos tres tipos básicos de modelos. Pero, la subdivisión en 7 subconjuntos que se establece por intermedio del diagrama de Venn, no contempla intersecciones, lo cual la hace a primera vista una subdivisión interesante y probablemente útil. En particular se muestra útil a nuestros propósitos, en el sentido que nos permite distinguir claramente el conjunto de los modelos teóricos como aquellos pertenecientes a la intersección entre el conjunto de los modelos mentales con el conjunto de los modelos abstractos, lo cual a su vez nos permite pensar los modelos teóricos como “objetos abstractos” (o artefactos).

9.4.- El modelo propuesto no solo contempla la intersección entre los tres conjuntos básicos en que hemos dividido el conjunto de los modelos científicos con o sin apellidos, sino que también contempla las correspondientes interacciones entre los tres subconjunto fundamentales, lo cual hace que el esquema o modelo clasificatorio propuesto también sea interesante desde el punto de vista del epistemológico, y en particular hace posible la aplicación de la epistemología Popperiana, debidamente modificada.

9.5.- Los tres subconjuntos fundamentales en que hemos subdividido el conjunto de los modelos científicos con o sin apellidos forman un solo conjunto. En consecuencia, tales subconjuntos se presuponen entre sí, es

decir son coherentes. Por lo tanto, no se puede definir uno de ellos con independencia de los otros dos.

9.6.- Note que las modificaciones primera y segunda que hemos hecho del diagrama de Popper, nos ha llevado a una estructura auto-similar, es decir esta estructura nos permite continuar subdividiendo cada uno de los subconjuntos fundamentales (tres en total) en tres de manera iterativa. Pero, como ya notamos antes, este proceso tiene un límite, porque la cardinalidad del conjunto de todos los modelos científicos con o sin apellidos es finita. En consecuencia, el límite de este proceso de subdivisión se produce cuando cada subconjunto generado en el proceso iterativo llega a tener un y solo un modelo científico como elemento, lo cual no es muy útil, ni interesante como modelo o esquema clasificatorio. Por lo tanto, para que el modelo o esquema clasificatorio propuesto tenga algún valor, el proceso de subdivisión (en tres a la vez) de cada subconjunto fundamental de una iteración dada, debe detenerse antes de que tengamos un modelo científico por subconjunto así producido. Nosotros pensamos, que la primera iteración graficada en el diagrama de Venn de más arriba, es lo más adecuado, porque evita complicaciones innecesarias y divide el conjunto de los modelos científicos con o sin apellidos en 7 conjuntos disjuntos.

9.7.- El fundamento último de que el sistema clasificatorio que proponemos debe tener estructura auto similar finita es más o menos obvio, a saber: todo modelo científico como habitante del mundo 3 de Popper (es decir, como producto de la mente humana) es un artefacto, es algo artificial, y en consecuencia es producto de una conjunción físico-mental. En otras palabras, no existen los modelos científicos puramente físicos, o puramente mentales, o puramente artificiales. Pero, si podemos notar que siendo todos los modelos científicos artefactos, algunos son más concretos que otros, algunos son más mentales que otros, y algunos son más abstractos que otros.

X. Heurística: algunos ejemplos de modelos científicos y su clasificación de acuerdo al diagrama de Venn propuesto

10.1.- Un perfil aerodinámico miniaturizado de acuerdo a la teoría de los números adimensionales correspondientes y hecho de metal; o una estructura hacha de esferas y alambres del sistema solar; o la estructura física del ADN de Watson y Crick; el experimento de las celdas de Bernard;

son modelos pertenecientes al mundo 1 del diagrama de Venn, debido a su estructura física y/o material.

10.2.- Un experimento mental, o los procesos mentales que se siguen en la creación de un modelo científico; o los experimentos mentales de Albert Einstein; son modelos pertenecientes al mundo 2 del diagrama de Venn, debido a su carácter mental.

10.3.- El Brusselator de Ilya Prigogine en su momento, o el modelo de una singularidad matemática usando ecuaciones diferenciales para estudiar su emergencia, forma y tiempo crítico; o el modelo geométrico de un sistema axiomático; el mercado de un solo bien y la igualdad entre las cantidades demandada y ofrecida como condición de equilibrio; los modelos estacionario y dinámico de Von Tünen, Galría y Orellana, respectivamente; son modelos pertenecientes al mundo 3 del diagrama de Venn, debido a su carácter abstracto.

10.4.- El modelo de la morfogénesis de Alan Turing es un modelo teórico que está en la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.5.- El modelo numérico sobre “concurrent coupling of length scales in nano mechanics” de una fractura (mecánica continua, dinámica molecular y mecánica cuántica) y el SILOGEN, es un modelo teórico que está en la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.6.- Los modelos de viscosidad artificial y sintética en dinámica de fluidos computacional, para poder computar las ondas de choque; son modelos pertenecientes a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.7.- El modelo del movimiento planetario y el modelo de un péndulo sin rozamiento con el aire, basados en las leyes de Newton, pertenecen a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.8.- El modelo hidrodinámico de las celdas de Bernard basado en las ecuaciones de la dinámica de fluidos, para investigar la inestabilidad térmica de una capa de fluido calentado por debajo pertenece a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.9.- El modelo de redistribución de las zonas de criminalidad en la ciudad de Los Ángeles- California (EEUU), pertenece a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.10.- Los modelos advectivo-difusivo de la calidad del aire, pertenecen a la intersección del mundo 2 con el mundo 3 del diagrama de Venn.

10.11.- Los modelos del movimiento de placas tectónicas que forman la capa solida de la tierra, pertenecen al mundo 3 del diagrama de Venn.

10.12.- El modelo convectivo de la atmosfera de la tierra en una celda cubica de Lorentz y los modelos depredador-presa y las ecuaciones de Lotka-Volterra, pertenecen al mundo 3 del diagrama de Venn.

10.13.- Los diagramas de flujo, los mapas conceptuales y semánticos, los diagramas de bloque, y los diagramas de Bode son modelos pertenecientes al mundo 3 del diagrama de Venn.

Así, modulo errores de clasificación absolutamente corregibles, podríamos continuar clasificando los modelos científicos existente de acuerdo al esquema clasificatorio propuesto. La idea fundamental consiste (obviamente) en que dado un modelo científico (bien definido y automatizado), este se pueda ubicar en uno de los 7 subconjuntos que componen el diagrama de Venn ilustrado más arriba. Pero, por ahora nosotros estamos particularmente interesados en aquellos modelos que están en la intersección del conjunto de los modelos mentales con el conjunto de los modelos abstractos (es decir, los modelos teóricos), por los motivos señalados en la introducción del presente artículo.

XI. Caracterización de los modelos teóricos como aquellos que pertenecen a $M2 \cap M3$

De acuerdo al esquema o modelo clasificatorio presentado en este artículo, los modelos teóricos (donde algunos ejemplos han sido dados en la sección precedente), pertenecen a la intersección del mundo 2 (mundo mental restringido al conjunto de los modelos científicos de acuerdo a las modificaciones introducidas a la teoría de los tres mundos) con el mundo 3 (mundo de las creaciones humanas restringido al conjunto de los modelos científicos de acuerdo a las modificaciones introducidas a la teoría de los tres mundos). En consecuencia, los modelos teóricos pueden considerarse como objetos abstractos o artefactos, y por lo tanto son susceptibles de ser analizados por medio de la teoría artefactual de Amiel L. Thomasson.

Comentarios finales

(1) El proceso de modelización científica, es decir el proceso de creación (descubrimiento y/o invención) de todo modelo científico tiene tres componentes fundamentales, a saber: la realidad problemática concreta o abstracta que se desea modelar, la comunidad de científicos que crea el modelo (en la cual podríamos incluir a los usuarios conscientes), y el modelo (producto del proceso de modelización). Estas tres componentes no se pueden separar dicotómicamente y definir cada una de ellas con independencia de las otras dos, es decir son coherentes entre sí. Por ello es que estas tres componentes juegan un rol fundamental en la definición de igualdad entre modelos científicos con o sin apellidos.

(2) Los modelos materiales son objetos cuyas propiedades físicas pueden estar potencialmente en una relación representacional con respecto a la realidad problemática que modelan; los modelos abstractos son estructuras abstractas cuyas propiedades pueden estar potencialmente en una relación de representación matemática con respecto a la realidad problemática que modela, y los modelos mentales son estructuras mentales cuyas propiedades pueden estar potencialmente en una relación de representación lógica y/o conceptual con respecto a la realidad problemática que modelan. Pero, una vez que el modelo científico está bien definido y es autorizado tal relación pasa de potencia a actual, respecto de los aspectos de la realidad problemática representados en el modelo.

(3) La caracterización de un modelo científico bien definido y autorizado, por una parte, debe incluir las medidas y/o métricas que se deben usar en el proceso de fidelización (calibración y/o modulación) del modelo respecto de los aspectos de la realidad problemática que modela, y por otra parte, debe incluir explícitamente los niveles de precisión y exactitud que cumple el modelo respecto de la realidad problemática en aquellos aspectos que representa de acuerdo a las correspondientes medidas y/o métricas.

(4) El programa de investigación que se propone o que se infiere de este artículo en relación con las inquietudes y objetivos planteados en la introducción es el siguiente:

4.1.- Estudiar y/o investigar el conjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados”.

4.2.- Estudiar y/o investigar hasta qué punto se pueden generalizar los resultados del estudio y/o investigación previa al conjunto de todos los modelos científicos.

4.3.- Estudiar y/o investigar hasta qué punto se pueden generalizar los resultados de los estudios y/o investigaciones previas al conjunto de todos los modelos.

(5) Si por ejemplo: (5.1) en teoría de conjuntos, dos conjuntos son considerados iguales si tienen los mismos elementos, independientemente del orden en que se presenten los elementos en uno y el otro conjunto, y cuantas veces un determinado elemento se repite o no se repite en cualquiera de los dos conjuntos; y (5.2) en geometría vectorial, dos vectores son iguales si tienen la misma magnitud, la misma dirección y el mismo sentido, modulo traslaciones paralelas. Entonces, es razonable esperar que sea cual sea la definición de igualdad entre modelos científicos que se adopte, necesariamente se dejaran algunos aspectos fuera de tal definición. Lo importante es no dejar fuera algún aspecto (propiedad o característica) de los modelos científicos relevante o fundamental, para la práctica de la investigación científica y el correspondiente uso de los modelos científicos. Por ejemplo (si se trata de un modelo físico), de que materiales esta hecho el modelo y en consecuencia cuáles son sus cualidades primarias y secundarias.

La noción de igualdad entre modelos científicos “bien definidos y autorizados” dada en la sección VII siendo provisional es perfectible y susceptible de ser completada. Lo importante es darse cuenta que tiene sentido preguntarse bajo qué condiciones pueden dos modelos considerarse iguales y que es posible tener una definición de igualdad entre modelos científicos que sea operacionalmente valida de acuerdo a la práctica científica. Por lo tanto, desde el punto de vista formal, se puede pensar que existe una noción de igualdad entre los modelos científicos “bien definidos y autorizados”, la cual induce una partición sobre el conjunto de los modelos científicos “bien definidos y autorizados” en clases de equivalencia.

Reconocimiento

El trabajo de investigación hecho por el autor de la presente ponencia ha sido en parte financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), bajo el proyecto número 1141260,

titulado: “Modelling in Science and Abstract Objects: for a fictional artefactual approach”, y la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso – Chile.

En cuanto al contenido de la ponencia, el autor está en deuda con los colaboradores Carlos Verdugo y Juan Redmond, porque no sería lo que ha llegado a ser sin los comentarios, recomendaciones y críticas que ha recibido de parte de ellos. Los errores que persisten son de entera responsabilidad del suscrito.

Bibliografía

- POPPER, Karl R., “Knowledge and the Body-mind Problem: In defense of interaction”, Editorial Routledge; 1994.
- POPPER, Karl R., “Three Worlds”; The Tanner Lecture on Human Values; Delivered at The University of Michigan; April 7; 1978.
- PENROSE, Roger, “The Road to Reality”; Editorial Knoff; 2004.
- PENROSE, Roger, “The Emperor’s New Mind”; Editorial Penguins, 1991.
- PENROSE, Roger, “Shadows of the Mind: A search for the missing science of consciousness”; Editorial Oxford University Press; 1994.
- THOMASSON, Amiel L., “Fiction and Metaphysics”; Editorial Cambridge University Press; 1999.
- HUMPHREYS, Paul, “Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method”; Editorial Oxford University Press; 2004.
- SUAREZ, Mauricio, (Editor); “Fiction in Science”; Editorial Routledge; 2009.
- VAIHINGER, Hans, “The Philosophy of “As If””; Editorial Kegan Paul, Trench, Truebner & Co., Ltd.; 1935.
- BOLZANO, Bernard, “Theory of Science”; Editorial D. Reidel Publishing Company; 1973.

-
- BAILER-JONES, Daniela M., “Scientific Model in Philosophy of Science”; Editorial University of Pittsburgh Press; 2009.
- FRIEDMAN, Avner & LITTMAN, Walter, “Industrial Mathematics: A course in solving real-world problems”; Editorial SIAM; 1994.
- MCCLAMROCH, N. H., “State Models of Dynamic Systems: A case study approach”; Editorial Springer-Verlag; 1980.
- PRIGOGINE, Ilya & NICOLIS, G., “On Symmetry Breaking Instabilities in Dissipative Systems”; the Journal of Chemical Physics, 46, 3542; 1967.
- TURING, Alan, “The Chemical Basis of Morphogenesis”; Phil. Transc. R. Soc. Lond. B1952 237, 37-72.
- SPRUIT, Leen, “Giordano Bruno Revisited: Roger Penrose’s Theory of the Three Worlds”; Band 3; 1999.

Modelo de daño unilateral, descomposición del tensor de tensiones en tracción y compresión.

Pablo E. Martín¹

Resumen

Si bien el daño o degradación de la rigidez en un material es un proceso irreversible, este puede estar activo o no dependiendo de las condiciones de carga. Se ha probado experimentalmente que la reversión de la carga puede cerrar las fisuras dando como resultado una recuperación de la rigidez del material. Se presenta una extensión del modelo de daño escalar, daño direccionado unilateral, en una propuesta de Chaboche (1995), extendida para considerar daño en compresión. Esta estrategia permite desacoplar el tensor de tensiones en un punto material y desarrollar la evolución del proceso de degradación con sus variables internas asociadas diferenciando el proceso para las componentes en tracción y compresión.

Palabras claves: modelos numéricos, degradación de rigidez, daño unilateral.

1. Introducción

Muchos materiales, en especial los geomateriales, exhiben un particular comportamiento cuando son sometidos a esfuerzos mas allá de su umbral de resistencia, comienza un proceso de fisuración, además de ir debilitando el material el mismo pierde rigidez. Este fenómeno en ciencia de los materiales se denomina daño o degradación de la rigidez, y está fuertemente influenciado por la dirección y sentido de las cargas aplicadas. Por ejemplo, si un geomaterial como el hormigón o la mampostería es sometido a un estado de tracción en una dirección hasta superar el

¹ FRM - UTN, pablo.martin@frm.utn.edu.ar

límite de resistencia el mismo se degrada, si luego, se invierte el sentido de la carga, el material recupera rigidez. La simulación de este fenómeno exige la formulación de un modelo matemático complejo, que adecuadamente integrado en un software de elementos finitos permite predecir el comportamiento estructural y la falla o colapso de las estructuras. En mérito a la claridad, se desarrolla primero el modelo de daño escalar y en una segunda etapa, se explica su extensión del mismo para considerar la activación o desactivación del daño.

2. Modelo de daño escalar

2.1. Formulación del modelo

El modelo de daño escalar se basa en admitir que existe un espacio ficticio no dañado que se obtiene del real quitando el daño. Las relaciones entre las tensiones y deformaciones en ambos espacios se obtienen a partir de la hipótesis de equivalencia de energía y resultan:

$$\bar{\epsilon}_{ij} = \epsilon_{ij} \left(\sqrt{1-d} \right) \quad (1)$$

$$\bar{\sigma}_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\left(\sqrt{1-d} \right)} \quad (2)$$

Donde ϵ_{ij} y σ_{ij} son la deformación y la tensión en el espacio ficticio no dañado respectivamente y d es la variable interna de daño.

La relación secante en el espacio ficticio no dañado, es la correspondiente a un material elástico:

$$\bar{\sigma}_{ij} = \bar{C}_{ijkl} \bar{\epsilon}_{kl} \quad (3)$$

Donde $\bar{C}_{ijkl}$ es el tensor secante no dañado. Reemplazando en las ecs. (1) y (2),

$$\sigma_{ij} = \left(\sqrt{1-d} \right) \bar{C}_{ijkl} \left(\sqrt{1-d} \right) \varepsilon_{kl} \quad (4)$$

y operando, se obtiene la relación secante en el espacio real dañado.

$$\sigma_{ij} = (1-d) \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (5)$$

De la ec.(5) se puede deducir el tensor material secante de C_{ijkl} que puede expresarse como:

$$C_{ijkl} = (1-d) \bar{C}_{ijkl} \quad (6)$$

La energía libre por unidad de volumen, que es la energía disponible para realizar trabajo mecánico en el espacio no dañado, puede escribirse como:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \bar{C}_{ijkl} \bar{\varepsilon}_{kl} \quad (7)$$

En tanto que la energía libre dañada resulta:

$$\psi = \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (8)$$

Reemplazando la ec.(6) y la ec.(1) en la ec.(8), se llega a:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} (1-d) \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl} = \\ &= \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \left(\sqrt{1-d} \right) \bar{C}_{ijkl} \left(\sqrt{1-d} \right) \varepsilon_{kl} = \\ &= \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \bar{C}_{ijkl} \bar{\varepsilon}_{kl} = \bar{\psi} \quad (9) \end{aligned}$$

Lo que comprueba la equivalencia de energía entre los espacios definidos.

Teniendo en cuenta la forma propuesta para la energía libre en ec.(8):

$$\psi = \psi (\varepsilon_{ij}; d) \quad (10)$$

La disipación por unidad de volumen puede escribirse como:

$$\Xi = \left(\sigma_{ij} - \frac{\partial \psi}{\partial \varepsilon_{ij}} \right) \dot{\varepsilon}_{ij} + \left(\eta_T + \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) \dot{\theta} - \frac{\partial \psi}{\partial d} \dot{d} - \frac{1}{\theta} q_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \quad (11)$$

Donde η_T es la entropía específica por unidad de volumen, q_i es el flujo de calor por conducción, χ_i las coordenadas espaciales y θ una medida de la temperatura.

El cumplimiento de la desigualdad de Clausius Duhem se asegura si se satisfacen las relaciones de Coleman:

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial \psi}{\partial \varepsilon_{ij}} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (12)$$

y

$$\eta_T = - \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad (13)$$

y la disipación mecánica resulta:

$$\begin{aligned} \Xi_m &= \frac{\partial \left(\frac{1}{2} \varepsilon_{ij} C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \right)}{\partial d} \dot{d} = \\ &= \frac{\partial \left[\frac{1}{2} \varepsilon_{ij} (1-d) C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \right]}{\partial d} \dot{d} = \\ &= \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl} \dot{d} = Y \dot{d} \quad (14) \end{aligned}$$

Donde Y es la variable termodinámica conjugada de la variable de daño d y resulta:

$$Y = \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (15)$$

Y puede expresarse en función de la tensión $\tilde{\sigma}_{ij}$ definida como:

$$\tilde{\sigma}_{ij} = \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (16)$$

resultando:

$$Y = \frac{1}{2} \sigma_{ij} C_{ijkl}^{-1} \bar{\sigma}_{kl} \quad (17)$$

2.2. Umbral de Daño

El umbral de comportamiento dañado se describe a través de una función de daño que debe estar expresada en términos de la tensión termodinámica Y (Maugin, 1992) y tiene la siguiente forma general:

$$F(Y; d) = f(Y) - c(d) = 0 \quad (18)$$

Donde la función escalar $c(d)$ define la posición del umbral de daño.

La ecuación anterior puede interpretarse como la ecuación de una superficie convexa en el espacio de las fuerzas termodinámicas Y que marca el límite entre el comportamiento elástico y el comportamiento dañado.

Si en particular se define:

$$f(Y) = \sqrt{2Y} = \sqrt{\varepsilon_{ij} \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl}} = \sqrt{\tilde{\sigma}_{ij} \bar{C}_{ijkl}^{-1} \tilde{\sigma}_{kl}} \quad (19)$$

La función de daño coincide con la propuesta por Simo y Ju, (1987).

En la Fig.1, se representa la forma que toma la función umbral de daño en el espacio de tensiones $\tilde{\sigma}_{ij}$ para el caso particular de un material con isotropía elástica.

La curva umbral de daño descrita por la ec. (19) no es apropiada para materiales que presentan comportamiento diferenciado en tracción y compresión como es el caso del hormigón.

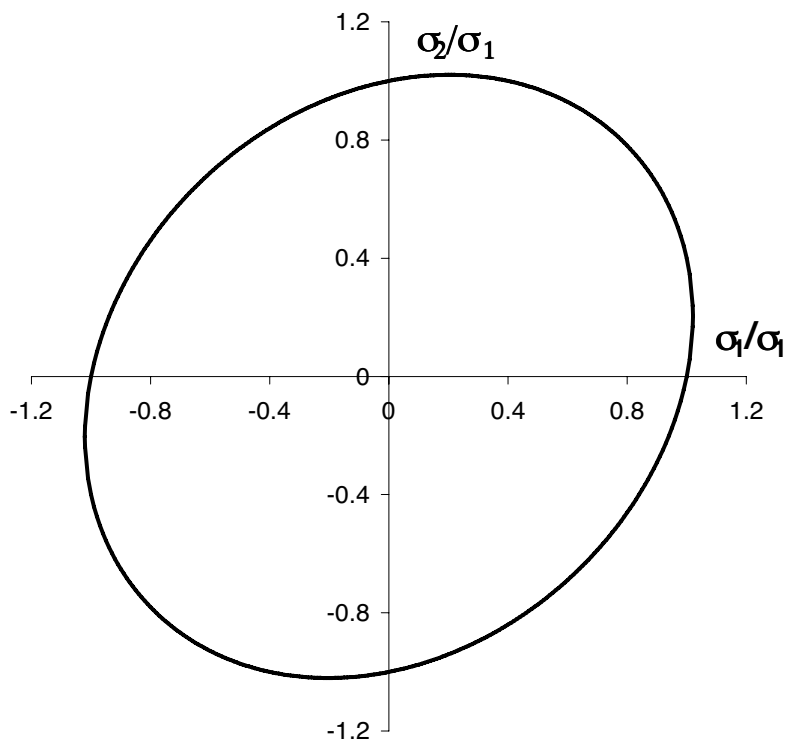


Figura 1: Curva umbral de daño en el plano $\sigma_1 - \sigma_2$, para el caso de isotropía elástica.

Para este tipo de comportamiento se propone la siguiente expresión para la función de daño:

$$f(Y) = \sqrt{2\hat{Y}} = \sqrt{\hat{\sigma}_{ij} C_{ijkl}^{-1} \hat{\sigma}_{ij}} \quad (20)$$

Donde $\hat{\sigma}_{ij} = N_{ik} \tilde{\sigma}_{kj} N_{ik}$ es un tensor diagonal definido como

$$N_{ik} = \delta_{ir} \delta_{kr} r_k$$

donde:

$$r_k = \frac{\langle \tilde{\sigma}_k \rangle}{|\tilde{\sigma}_k|} (n-1) + 1 \quad (\text{no hay suma sobre el subíndice } k)$$

Y n es la relación entre los umbrales de daño en compresión y tracción uniaxial:

$$n = \frac{\sigma_c^{\max}}{\sigma_t^{\max}}$$

En la Fig. 2, se representan las funciones umbral de daño en el espacio de tensiones σ_{ij} para un material con isotropía elástica.

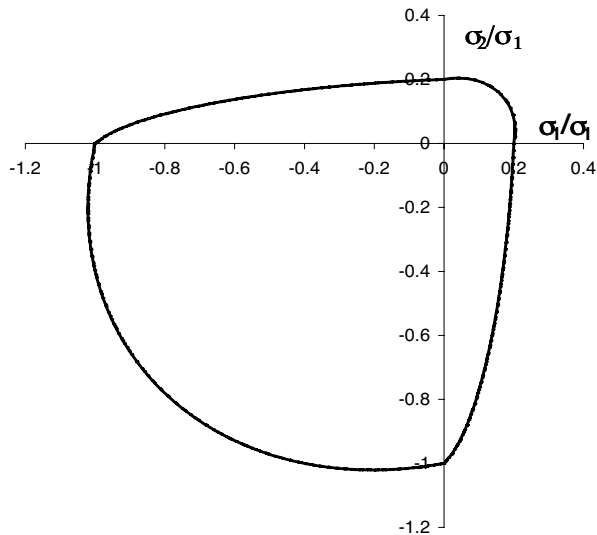


Figura 2: Curva umbral de daño en el plano $\tilde{\sigma}_1 - \tilde{\sigma}_2$, para un material con isotropía elástica.

2.3. Ley de Evolución de la Variable Interna de Daño

La ley de evolución de la variable de daño puede obtenerse a partir siguiente regla de flujo: (Oller, 2000)

$$\dot{d} = \dot{\mu} \frac{\partial \bar{\mathbf{F}}(Y; d)}{\partial [f(Y)]} \equiv \dot{\mu} \frac{\partial G[f(Y)]}{\partial [f(Y)]} \quad (21)$$

Las condiciones de carga, descarga y recarga se describen a través de las condiciones Kuhn-Tucker:

$$\begin{aligned} \dot{\mu} &\geq 0 \\ \bar{\mathbf{F}}(Y; d) &\leq 0 \\ \dot{\mu} \bar{\mathbf{F}}(Y; d) &= 0 \end{aligned}$$

El factor de consistencia de daño $\dot{\mu}$ se puede deducir de las condiciones de consistencia de dano de Il'ushim, de tal modo que si $\dot{\mu} > 0$ se debe cumplir:

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{F}}(Y; d) &= 0 \\ G[f(Y)] &= G[c(d)] \\ f(Y) &= c(d) \\ \frac{\partial G[f(Y)]}{\partial [f(Y)]} &= \frac{\partial G[c(d)]}{\partial c(d)}\end{aligned}\quad (22)$$

La condición de consistencia de daño exige, además, que el punto permanezca sobre la superficie de daño, esto es:

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\mathbf{F}}}(Y; d) &= 0 \\ \frac{\partial G[f(Y)]}{\partial f(Y)} \dot{f}(Y) - \frac{\partial G[c(d)]}{\partial c(d)} \dot{c}(d) &= 0 \\ \dot{f}(Y) &= \dot{c}(d)\end{aligned}\quad (23)$$

Haciendo una analogía entre las ecs. (21) y (23) resulta:

$$\dot{G}[f(Y)] = \dot{f}(Y) \frac{\partial G[f(Y)]}{\partial f(Y)} \quad (24)$$

$$\dot{d} = \dot{\mu} \frac{\partial G[f(Y)]}{\partial f(Y)} \quad (25)$$

$$\dot{d} \equiv \dot{G}[f(Y)] \quad (26)$$

$$\dot{\mu} \equiv \dot{f}(Y) \quad (27)$$

Integrando en el tiempo el incremento de la variable de daño $\dot{d}$, se deduce que:

$$d = G [f(Y)] \quad (28)$$

y el umbral de daño en un tiempo $t = s$ puede calcularse como:

$$c = \max \{c^{\max}; \max [f(Y_s)]\} \quad \forall 0 \leq s \leq t \quad (29)$$

3. Modelo de daño unilateral

3.1. Introducción

Si bien el daño es irreversible, puede estar activo o no dependiendo de las condiciones de carga. Se ha probado experimentalmente que la reversión de la carga puede cerrar las fisuras dando como resultado una recuperación de rigidez.

En lo que sigue se presenta una extensión del modelo de daño escalar desarrollado en el apartado 2 que permite considerar el efecto unilateral del daño. Incorporado dentro de un marco adecuado, como el procedimiento de homogeneización, basada en la teoría de mezclas, este modelo permite simular daño direccionado unilateral.

El efecto de activación / desactivación del daño introducido está basado en una propuesta de Chaboche (1993, 1955), extendida para considerar daño en compresión.

Se puede probar que el modelo de daño unilateral resultante se deriva de un potencial bien definido (Carol et al, 1996) y, en consecuencia, no se produce disipación espuria en una historia de carga cerrada. También se demuestra que las condiciones de simetría del tensor de flexibilidad elástica y continuidad de los campos de tensiones y deformaciones para condiciones unilaterales se satisfacen.

3.2. Bases termodinámicas

Para pequeñas deformaciones y problemas térmicamente estables, la energía libre por unidad de volumen se escribe como una función cuadrática:

$$\psi(\varepsilon_{ij}; \beta) = \frac{1}{2} [\varepsilon_{ij} C_{ijkl}(\beta) \varepsilon_{kl}] \quad (30)$$

donde ε_{ij} es el tensor deformaciones elásticas y $C_{ijkl}(\beta)$ es el tensor constitutivo secante afectado por la evolución de las variables internas de daño. En esta tesis se propone para el mismo la siguiente expresión (Chaboche, 1993, 1995):

$$\begin{aligned} C_{ijkl} = & (1 - d^- - d^+) \bar{C}_{ijkl} + \\ & + \xi \sum_{\alpha=1}^3 H[tr(P_{rstu}^{\alpha} \varepsilon_{tu})] P_{ijmn}^{\alpha} (d^- \bar{C}_{mnpq}) P_{pqkl}^{\alpha} + \\ & + \eta \sum_{\alpha=1}^3 H[-tr(P_{rstu}^{\alpha} \varepsilon_{tu})] P_{ijmn}^{\alpha} (d^+ \bar{C}_{mnpq}) P_{pqkl}^{\alpha} \quad (31) \end{aligned}$$

Donde d^+ es la variable interna de daño en tracción y es d^- la variable interna de daño en compresión. Tomando $d^- = 0$ se obtiene la forma propuesta por Chaboche (Chaboche 1993, 1995), para el tensor secante.

$\bar{C}_{ijkl}$ es el tensor constitutivo del material virgen, ξ controla la activación del daño en compresión en un proceso de tracción y η controla la activación del daño en tracción en un proceso de compresión. Ambos son parámetros materiales que deben ser ajustados a partir de resultados experimentales de ensayos con reversión de deformaciones y cumplen las siguientes relaciones:

$$0 \leq \xi \leq 1 \text{ y } 0 \leq \eta \leq 1$$

Los casos más simples corresponden a:

- a) $\xi = \eta = 1$ en el que las dos formas de activación del daño están desacopladas.
- b) $\xi = \eta = 0$ en el que las dos formas activación de daño están totalmente acopladas y se recupera la forma del daño escalar:

$$C_{ijkl} = (1 - d^- - d^+) \bar{C}_{ijkl} = (1-d) C_{ijkl} \text{ con } d = d^- - d^+$$

P_{ijmn}^α es el operador proyección en la dirección del autovector n_i^α del tensor de deformaciones ϵ_{ij} y se calcula como:

$$P_{ijkl}^\alpha = n_i^\alpha n_j^\alpha n_k^\alpha n_l^\alpha \quad (32)$$

y

$$H(x) = \begin{cases} = 1 & \text{si } x > 0 \\ = 0 & \text{si } x \leq 0 \end{cases} \quad (33)$$

es la función escalón.

De la ec.(31) se puede deducir que, en un proceso en el que todas las deformaciones principales son positivas,

$$H(-tr(P^\alpha \epsilon)) = 0 \text{ y } H(tr(P^\alpha \epsilon)) = 1$$

y el tensor secante resulta:

$$C_{ijkl} = [1 - d^- (1 - \epsilon) - d^+] \bar{C}_{ijkl} \quad (34)$$

donde se ve claramente el significado del parámetro ξ . Si se considera que el daño en compresión no afecta el comportamiento en tracción:

$\xi = 1$ resulta:

$$C_{ijkl} = [1 - d^+] \bar{C}_{ijkl} \quad (35)$$

Un análisis similar puede realizarse para el caso en que todas las deformaciones principales sean de compresión.

La disipación puede escribirse como:

$$\Xi = \left(\sigma_{ij} - \frac{\partial \psi}{\partial \varepsilon_{ij}} \right) \dot{\varepsilon}_{ij} + \left(\eta + \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) \dot{\theta} - \frac{\partial \psi}{\partial d^+} \dot{d}^+ - \frac{\partial \psi}{\partial d^-} \dot{d}^- - \frac{1}{\theta} q_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \quad (36)$$

Si se satisfacen las ecuaciones, conocidas como relaciones de Coleman, (Lubliner, 1972) se asegura el cumplimiento de la desigualdad de Clausius-Duhem para un dado estado termodinámico:

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial \psi}{\partial \varepsilon_{ij}} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (37)$$

La disipación mecánica resulta:

$$\Xi_m = - \left[\frac{\partial \psi}{\partial d^+} \dot{d}^+ + \frac{\partial \psi}{\partial d^-} \dot{d}^- \right] \geq 0 \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \Xi_m = & Y \dot{d}^+ - \\ & - \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \left\{ \eta \sum_{\alpha=1}^3 H [-tr (P_{rstu}^\alpha \varepsilon_{rs})] P_{ijmn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} P_{pqkl}^\alpha \right\} \varepsilon_{kl} \dot{d}^+ + \\ & + Y \dot{d}^- - \\ & - \frac{1}{2} \varepsilon_{ij} \left\{ \xi \sum_{\alpha=1}^3 H (tr (P_{rstu}^\alpha \varepsilon_{rs})) P_{ijmn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} P_{pqkl}^\alpha \right\} \varepsilon_{kl} \dot{d}^- \quad (39) \end{aligned}$$

Donde:

$$Y = \frac{1}{2} [\varepsilon_{ij} \bar{C}_{ijkl} \varepsilon_{kl}] \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \Xi_m = Y \dot{d}^+ - \frac{1}{2} \left\{ \eta \sum_{\alpha=1}^3 H[-lr(\varepsilon_{rs}^\alpha)] \varepsilon_{mn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} \varepsilon_{pq}^\alpha \right\} \dot{d}^+ + \\ + Y \dot{d}^- - \frac{1}{2} \left\{ \xi \sum_{\alpha=1}^3 H[lr(\varepsilon_{rs}^\alpha)] \varepsilon_{mn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} \varepsilon_{pq}^\alpha \right\} \dot{d}^- \quad (41) \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{ij}^\alpha = P_{ijkl}^\alpha \varepsilon_{kl} \quad (42)$$

3.2.1. Umbral de Daño

El umbral de daño se describe mediante una función de daño a partir de una tensión de comparación. Resulta conveniente, en este caso, realizar un cambio de variables.

Se definen como variables de daño auxiliares a:

$$\begin{aligned} D^+ &= d^+ + (1 - \xi) d^- \\ D^- &= d^- + (1 - \eta) d^+ \end{aligned} \quad (43)$$

De tal forma que para:

$$\xi = \eta = 1 \rightarrow D^+ = d^+ ; D^- = d^-$$

Para el caso general si $\eta \neq \xi \neq 1$ la variable de daño resultaría:

$$d^+ = \frac{D^+ - (1 - \xi) D^-}{(1 - \xi) - (1 - \eta)} \quad (44)$$

y operando en forma análoga:

$$d^- = \frac{D^- - (I - \xi) D^+}{(I - \xi) - (I - \eta)} \quad (45)$$

Si se reemplaza en la ec.(39) de la disipación se tiene:

$$\begin{aligned} \Xi = & \frac{\dot{D}^+ - (1 - \xi) \dot{D}^-}{1 - (1 - \xi)(1 - \eta)} \cdot \left\{ Y - \frac{1}{2} \eta \sum_{\alpha=1}^3 H[-tr(\varepsilon_{rs}^\alpha)] P_{ijmn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} P_{pqkl}^\alpha \right\} + \\ & + \frac{\dot{D}^- - (1 - \eta) \dot{D}^+}{1 - (1 - \xi)(1 - \eta)} \cdot \left\{ Y - \frac{1}{2} \xi \sum_{\alpha=1}^3 H[tr(\varepsilon_{rs}^\alpha)] P_{ijmn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} P_{pqkl}^\alpha \right\} \quad (46) \end{aligned}$$

Agrupando términos resulta:

$$\Xi = Y^+ \dot{D}^+ + Y^- \dot{D}^- \quad (47)$$

Donde:

$$Y^+ = \frac{1}{1 - (1 - \xi)(1 - \eta)} [A - (1 - \eta) B] \quad (48)$$

$$Y^- = \frac{1}{1 - (1 - \xi)(1 - \eta)} [B - (1 - \xi) A] \quad (49)$$

$$A = \left\{ Y - \frac{1}{2} \eta \sum_{\alpha=1}^3 H[-tr(\varepsilon_{rs}^\alpha)] \varepsilon_{mn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} \varepsilon_{pq}^\alpha \right\}$$

$$B = \left\{ Y - \frac{1}{2} \xi \sum_{\alpha=1}^3 H[tr(\varepsilon_{rs}^\alpha)] \varepsilon_{mn}^\alpha \bar{C}_{mnpq} \varepsilon_{pq}^\alpha \right\}$$

Luego, en forma análoga al modelo desarrollado en el apartado anterior 2, la tensión de comparación se puede escribir como:

$$\begin{aligned}\tau^+ &= f(Y^+) = \sqrt{2Y^+} \\ \tau^- &= f(Y^-) = \sqrt{2Y^-}\end{aligned}\tag{50}$$

En esta propuesta se calcula la variable de daño en forma explícita. La función adoptada tiene la forma general ya indicada en el apartado 2:

$$\begin{aligned}D^+ &= c(\tau^+) \\ D^- &= c(\tau^-)\end{aligned}\tag{51}$$

4. Ejemplos de comportamiento unilateral

Se estudia a continuación el comportamiento de un material cargado inicialmente en tracción hasta producir cierto grado de daño, descargado y cargado luego en compresión más allá del umbral de daño. Las propiedades mecánicas se resumen en la Tabla 1 Se analizan los casos correspondientes a distintos valores de ξ y η con el objeto de estudiar como modifican los mismos el comportamiento unilateral.

Módulo elástico	$E = 10000 \text{ MPa}$
Coeficiente de Poisson	$\nu_{12} = 0,2$
Umbral de Daño tracción	$\sigma_f = 10 \text{ MPa}$
Umbral de Daño compresión	$\sigma_c = 30 \text{ MPa}$
Curva de ablandamiento en daño	exponencial

Cuadro 1: Propiedades elásticas del material

En la figura 3 se muestra la curva tensión deformación de una probeta sometida a compresión, superando el umbral de daño y descargada y luego cargada en tracción hasta superar el umbral de daño en tracción, cuando se considera $\eta = \xi = 1$. Se observa que este caso corresponde a un desacoplamiento total de los daños en tracción y compresión. Al cargar en tracción después de haber cargado en compresión el material lo hace con la rigidez del material virgen y conserva el umbral de daño original.

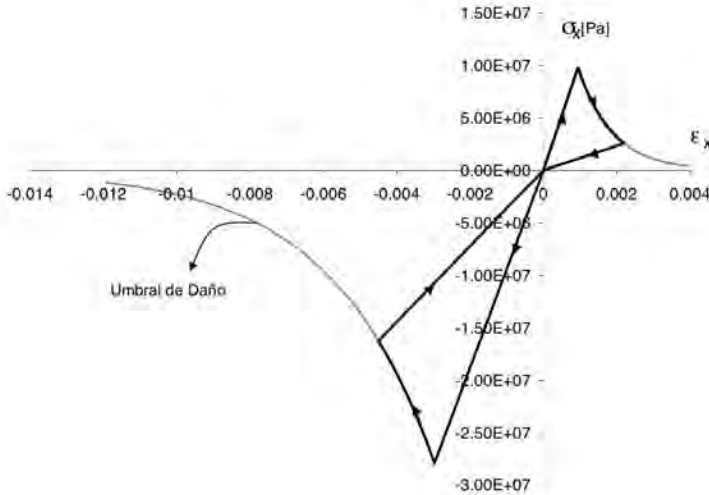


Figura 3: Curvas tensión-deformación para historias de carga uniaxiales con reversión del sentido de la carga $\eta = 1$ $\xi = 1$

En la figura 4 se muestra el mismo ejemplo con un cierto grado de acoplamiento $\eta = \xi = 0,25$. Se observa en este caso, al invertir el signo de la tensión el material recupera parte de la rigidez y su umbral de daño corresponde a un valor con cierta degradación, ubicado sobre la curva de respuesta de la primera carga del material virgen.

En la figura 5 se muestra el mismo ejemplo pero con daño completamente acoplado $\eta = \xi = 0$. En este caso el material no recupera la rigidez al invertir la carga y su umbral de daño se afecta en la misma proporción en tracción que en compresión independientemente del sentido de la car-

ga. En este caso el modelo de daño unilateral coincide con un modelo de daño escalar que no considera el efecto de cerrado-apertura de las fisuras.

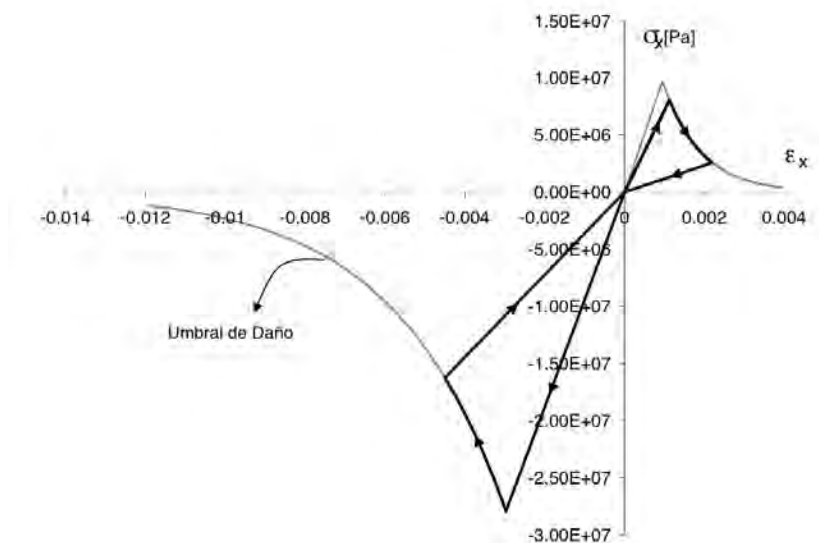


Figura 4: Curvas tensión-deformación para historias de carga uniaxiales con reversión del sentido de la carga, $\eta = 0,25$ $\xi = 0,25$

5. Conclusiones

En el presente trabajo se ha mostrado un ejemplo de modelo numérico que permite predecir el comportamiento de geomateriales a través de la descomposición del tensor de tensiones. Así mismo se muestran algunos ejemplos académicos que muestran la simulación de un material genérico.

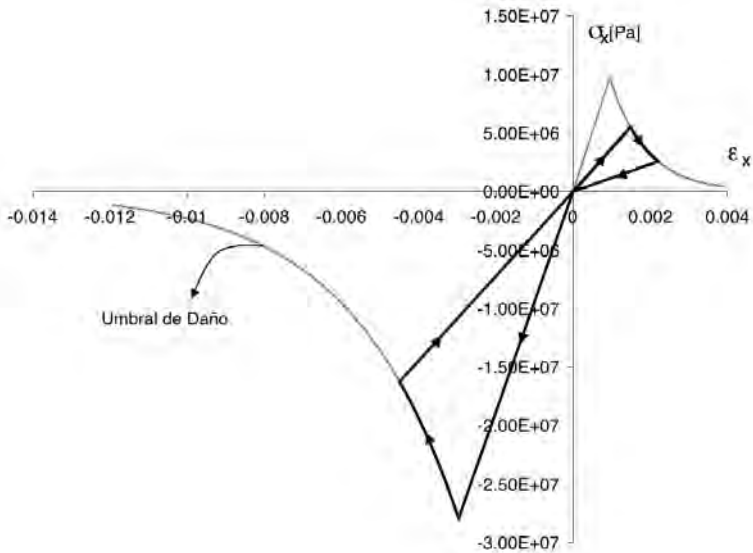


Figura 5: Curvas tensión-deformación para historias de carga uniaxiales con reversión del sentido de la carga, $\eta = 0$ $\xi = 0$

Bibliografía

- CAROL, I.; WILLAM, K., (1996), *Spurious Energy Dissipation / Generation in Stiffness Recovery Models for Elastic Degradation and Damage*, Int. J. Solids Structures, Vol.33, No.20-22, pp. 2939- 2957.
- CHABOCHE, J.L., (1993), *Development of Continuum Damage Mechanics For Elastic Solids Sustaining Anisotropic and Unilateral Damage*, International Journal of Damage Mechanics 2, págs. 311-329.
- CHABOCHE, J.L., (1995), *A Continuum Damage Theory with Anisotropic and Unilateral Damage*, La recherche Aérospatiale, N° 2, págs.139-147.
- LUBLINER, J., (1972), *On the Thermodynamic Foundations of Non-Linear Mechanics*, Int. Journal Non Linear Mechanics, Vol.7, 237- 254.

- LUCCIONI B.; OLLER S.; DANESI R., (1996-a), *Coupled Plastic Damaged Model*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 129, págs. 81-89.
- MAUGIN, G. A., (1992), *The Thermomechanics of Plasticity and Fracture*, Cambridge University Press.
- MARTÍN, P., (1997), *Estudio Teórico del Comportamiento de la Mampostería*, tesis presentada como requisito parcial para acceder al grado académico de Magíster en Ingeniería Estructural Universidad Nacional de Tucumán. y publicada por el Laboratorio de Estructuras U.N.Tucumán.
- MARTÍN, P., (2001), *Modelo de Daño Anisótropo*, tesis presentada como requisito parcial para acceder al grado académico de Doctor en Ingeniería Universidad Nacional de Tucumán, y publicada por el Laboratorio de Estructuras U.N.Tucumán.
- OLLER, S., (2000), *Fractura Mecánica - Un enfoque global*, CIM-NE.
- SIMO, J.C.; JU, J., (1987), *Stress and Strain Based Continuum Damage Models. Part I and II*. Int. J. Solids Structures 23, 375-400.

Neuroestética: modelos empíricos de la experiencia de belleza

Raúl Alberto Milone¹

Resumen

La Neuroestética, subdisciplina de la Neurociencia, desarrolla modelos empíricos sobre los estudios neurobiológicos y los circuitos neuronales que se activan durante la experiencia de belleza y la creación artística. El conocimiento obtenido constituye un hito en el avance de la Estética tradicional, fundada en el pensamiento especulativo. El presente trabajo tiene por objetivo analizar y ponderar la perspectiva de Semir Zeki, que afirma la importancia y necesidad de completar la Estética filosófica con la investigación neuroestética que sostiene la intervención de la corteza orbitofrontal en el sujeto que califica de *bello* a cuadros artísticos mientras se escanea su cerebro. Por consiguiente, se consideran las principales tesis, teorizaciones y ejemplificaciones de Zeki, junto con las de Vilayanur Ramachandran y Eric Kandel, quienes, y también desde un enfoque naturalista, contribuyen con sus respectivos modelos neuroestéticos al logro de una mejor comprensión de la experiencia de belleza y de la naturaleza y función del Arte. Finalmente, se exponen las correspondientes conclusiones.

Palabras clave: Neuroestética, Semir Zeki, Vilayanur Ramachandran, Eric Kandel, experiencia de belleza.

¹ Universidad Nacional de Cuyo. Universidad del Aconcagua.

I

La reciente Neuroestética es cultivada por destacados neurocientíficos, entre ellos, Semir Zeki (2011, 2008, 1999, 1999b; Kawabata & Zeki, 2004), Vilayanur Ramachandran (2003; Ramachandran & Blakeslee, 1998; Ramachandran & Hirstein, 1999) y Eric Kandel (2012), quienes legaron y continúan desarrollando modelos empíricos sobre redes neuronales activas en la experiencia de belleza, ocupándose también del estudio científico del Arte. El conocimiento obtenido constituye un hito respecto de la tradicional Estética integrada a la Filosofía y, por ello, identificada con el pensamiento especulativo.

Baumgarten (1750) concibió a la Estética como ciencia del conocimiento sensible -*Aesthetica est scientia cognitionis sensitivae*- o de lo bello. Con antecedentes en el mundo clásico greco-romano, la Estética se centró principalmente en la actividad 'sensible', en la percepción de la belleza y en cuestiones relacionadas con la educación de los sentidos o los sentimientos (Labrada, 2001). Según Baumgarten, la belleza representaba la perfección del mundo sensible y el orden racional que lo rige. La *ciencia del conocimiento sensible*, desde el siglo XVIII, girará en torno del vínculo belleza/arte (Danto, 2003). En esa época, y en la filosofía empirista, Burke (1729) propuso que las cualidades de la belleza y de lo sublime, respondían, ante todo, a estados fisiológicos y a las pasiones (Beardsley & Hospers, 1997)². La reciente Neuroestética, nuevo campo de investigación empírica se focaliza en dar con las "[...] neural basis of cognitive and affective processes engaged when an individual takes an aesthetic or artistic approach towards a work of art, a non-artistic object or a natural phenomenon" (Nadal & Pearce, 2011). Por ello: a) Nalbatian (2008) la define como "the scientific study of the neural bases for the contemplation and creation of a work of art", b) Skov y Vartanian (2009) afirman que es: "[...] the study of the neural processes that underlie aesthetic behavior" (p. 3) y c) Zeki (2002) sostiene: "We are still far from knowing the neural basis of the laws that dictate artistic creativity, achievement

² "Burke was probably one of the first to write about the physiological bases of aesthetic experience in some depth. His central proposition was that there are no specific biological mechanisms that give rise to such experiences. The physiological explanation of the beautiful and the sublime was the same as for the non-aesthetic emotions. He believed that objects, landscapes, and other people were experienced as beautiful because they caused the same relaxation of the nerves as the emotions of love or tenderness. Objects and events that agitated and tensed the nerves, like pain, fear, or terror, were experienced as sublime" (Nadal & Skov, 2013).

and appreciation, but spectacular advances in our knowledge of the visual brain allow us to make a beginning in trying to formulate neural laws of art and aesthetics, in short to study Neuroaesthetics". De este modo, la Neuroestética, como subdisciplina de la Neurociencia, indaga la arquitectura y dinámica de poblaciones neuronales implicadas en la percepción, valoración, vivencia y creatividad estéticas. Todo ello en pos de fijar principios y leyes, sirviéndose a su vez, de la eficacia de la tecnología de imágenes, principalmente, de la *imagen por resonancia magnética funcional* (fMRI)³.

II

Zeki al introducir la *Neuroaesthetics en su Inner Vision: an exploration of Art and the brain* (1999)⁴, aspiraba superar el dualismo cartesiano imperante y el entrecruzamiento de las ciencias con las humanidades. Por ello, afirma que ninguna teoría de la Estética estará completa si se desconoce o niega en sus teorizaciones cómo opera el cerebro. Además, como Ramachandran (2003)⁵, vinculó el arte con el sistema visual humano

³ El uso frecuente de la *fMRI* en la investigación de la Neuroestética sería análogo a lo que fue el telescopio para la Astronomía, el microscopio para la Biología o el acelerador de partículas para la Física vigente. El avance de la tecnología de imagen aplicada al funcionamiento del cerebro humano trajo aparejado la aparición de nuevos *hechos*. Dicha tecnología permite "ver", no intrusiva y directamente, el cerebro en acción, debido a la concentración de oxígeno en sangre que irriga determinadas zonas. El principio básico es que el nivel de oxígeno es mayor en poblaciones de neuronas que operan con más intensidad, por ejemplo, en el juicio estético. El cerebro representa el 2 % de toda la masa corporal y consume el 20 % de la energía somática (Proal, de la Iglesia & Castellanos, 2014). Cuando una tarea que requiere concentración, contemplación o reflexión, el cerebro utiliza el 5 % de dicha energía metabólica. Este 5 % sería el cuantificado y visualizado en una *fMRI*. Su tecnología utiliza un potente imán (40.000 veces más potente que el campo magnético de la Tierra) para medir los cambios en la distribución de sangre oxigenada durante y después de que el sujeto realice determinadas tareas. La *fMRI* ofrece una resolución espacial de hasta 1-3 mm y requiere de 5-8 segundos para procesar las imágenes.

⁴ Zeki, antes de cultivar la Neuroestética, investigó el sistema visual de los primates estableciendo que numerosas áreas visuales del cerebro están especializadas respecto del movimiento y el color (Zeki, 1993). Si se afecta el centro del color (área V4), por ejemplo, la consecuencia será la incapacidad de percibir cromáticamente. Igualmente, ciertas lesiones próximas a una extensión neuronal determinada tornan imposible o dificultan la experiencia estética (Zeki, 1993; Ruiz Alarcón, 2001).

⁵ Ramachandran (2003) formuló un grupo leyes del "cerebro artístico" para dar cuenta de

afirmando que el éxito de una pieza y de los estilos artísticos dependen de la actividad neuronal, la cual opera conforme a patrones específicos. Por ejemplo, *El hombre con violín* o el *Violín y la guitarra* de Picasso en contraste con la *Mujer ante el clavicordio* de Vermeer no se ‘ajustaría’ al *principio de constancia* del cerebro, especializado en seleccionar y codificar de las propiedades estables de un objeto. Igualmente, las líneas horizontales y verticales de Mondrian o la *vaca* de van Doesburg se ‘ajustarían’ mejor al procesamiento de la visión. La intención de Zeki, con estos ejemplos extraídos de su incursión en la Historia del Arte, es mostrar la correspondencia –o no– entre creación artística y la corteza visual, la cual responde a determinados circuitos neuronales de orientación selectiva. Varios interrogantes sobre el sentido y la naturaleza del arte y la estética permanecen abiertos o fuera del modelo de Zeki, no obstante, su contribución constituye una importante fuente o hechos.

El cerebro humano, según Zeki, tendría por función primordial procesar información del mundo y, las artes plásticas serían una extensión de dicha función ya que estarán al servicio de estimular la competencia para explorar creativamente a dicho mundo (Kandel, 2012). Como Ramachandran (2003; Ramachandran & Rogers, 2006) y Kandel (2012), Zeki (2011, 2008; 2002; 2001; 2001b; 1999c) investiga conjuntos de neuronas de la corteza visual que procesan formas, colores y movimiento. En tal sentido, para los tres autores precitados, los artistas actuarían como si fueran *neurocientíficos silvestres*. Mediante técnicas artísticas explorarían y plasmarían eficazmente funciones y potencialidades del cerebro involucrado en la percepción, el color y las formas. Sus obras materializarían algún aspecto del funcionamiento legaliforme del “cerebro visual” relacionado con la resolución de algún tipo de problema estético de la época. Leonardo, Rafael y Miguel Ángel, por ejemplo, exploraron y plasmaron en sus pinturas un modo específico de la organización dinámica de la corteza visual. Metafóricamente, trabajaron su arte para ‘complacer’ a sus cerebros y el de sus destinatarios. Al lograr su cometido se ajustaron a las pautas neuronales legadas por la evolución (Dutton, 2009). El arte de Leonardo implica conocimiento neuroestético: de todos los colores, los que agradan o resultan bellos son los opuestos entre sí. El fenómeno, actualmente denominado *oponencia*, afirma que las neuronas excitadas

la eficacia del arte y sus estilos, v.g.: *hipérbole*, *agrupación*, *contraste*, *aislamiento*, *simetría*, *resolución del problema de la percepción*, o *metáfora*. Además, concluyó a partir del estudio de pacientes con lesiones neuronales, que el lóbulo parietal derecho integra el circuito neuronal relacionado con la proporción artística (Ramachandran, 2003).

por el rojo, siempre serán inhibidas por el *verde* y las que son estimuladas por el *amarillo* serán invalidadas por el *azul*. Kandel (2012) sostuvo que los artistas del modernismo vienés: Gustav Klimt, Oskar Kokoschka y Egon Schiele comprendieron, de manera excepcional e intuitiva, cómo funcionan los mecanismos de la visión. Kokoschka y Schiele, particularmente, expresan en sus cuadros hallazgos actuales de la Neurobiología: en el cerebro hay seis regiones que se activan en el reconocimiento facial y que conectan con la corteza prefrontal, la cual es el área dedicada a la evaluación de la belleza, los juicios morales y la toma de decisiones. Por lo expuesto, las funciones del cerebro y del arte y la experiencia estética serían, una y las mismas, o al menos, el arte y la experiencia estética sería un producto emergente del tejido nervioso.

III

El experimento de Kawabata y Zeki (2004), puede ser considerado como *caso ejemplar* de la Neuroestética. El mismo evidenció que determinada *región* se activa cuando determinados cuadros son calificados como *bellos*. El grupo estudiado estuvo conformado por estudiantes universitarios voluntarios sin conocimientos suficientes de pintura, Teoría del arte ni presentaban trastornos neurológicos o psicopatológicos. A cada uno se les presentó, en una pantalla de computadora y de una por vez, varias pinturas para que la calificara como “bella”, “fea” o “neutra”. Entre tres o seis días después, volvieron a ponderar las mismas pinturas mientras se registraba su actividad neuronal a través de la *fMRI*⁶. En estos escáneres las respuesta de “bello”, “feo” o “neutro” se obtenía presionando un botón de tres. La investigación mostró que ‘bello’ activaba la *región orbitofrontal* y, también, la *zona motora de la corteza pre-frontal*. La corteza orbitofrontal comprende las áreas 10, 11 y 47 de Brodmann, las cuales se también

⁶ Kawabata y Zeki señalan: “It is of course important to emphasize that, by its nature, an fMRI study only reveals areas that are especially active during the paradigm used. It does not follow that undetected areas do not contribute in some way to the question under study, a point that is important in assessing all fMRI results. Hence it is possible that, though undetected, many more areas and cortical zones may have been active during the tasks that we have studied although experience with other systems, such as the motion and color system, indicates that the fMRI method is a powerful guide to areas that are especially involved in a given task. It is also important to emphasize that the conclusions drawn here are derived from studies of visual beauty alone” (Kawabata & Zeki, 2004).

se activan en la emoción placentera y de recompensa siendo parte del *sistema límbico* (Kringelbach, 2005).

De acuerdo con Zeki (2011, 2011b), las obras de arte justipreciadas como *bellas* (v.g. la del paisajista Constable, el neoclásico Ingres o Guido Reni) provocan mayor actividad en la *corteza orbitofrontal*; por el contrario, otras como algunas de El Bosco, Honore Daumier o Quentin Massys, en las que figuran a personajes *feos* o caricaturescos, apenas estimularían el flujo sanguíneo local de dicha corteza. Zeki (1999) también presupuso, la presencia de una “gramática” en la constitución de las formas artísticas. Su punto de vista *neuromodular* aspira a dar con el fundamento natural del arte, sin pretender responder al clásico interrogante filosófico: ¿qué es el arte? La misión de Zeki es desarrollar un modelo empírico, cada vez más complejo y detallado, respecto de los correlatos, la estructura, los mecanismos y las reglas del cerebro implicado en la belleza y el arte.

En tal sentido, adopta un enfoque naturalista para afrontar cuestiones de la tradicional Estética (Brown, Gao, Tisdelle, Eickhoff & Liotti, 2011). Zeki *describe y explica* científicamente la percepción y los juicios, los sentimientos estéticos y el Arte. Su Neuroestética mapea en el laboratorio las determinaciones de la actividad electromagnética neurocerebral (Brown et al., 2011; Damasio, 2010). Sobre este tema, Jean-Marie Schaeffer (2005) sostuvo que, en los últimos tiempos, no predomina más la doctrina filosófica en el campo de la Estética, su papel hegemónico de casi dos siglos, habría cedido o sido minado ante el enfoque *naturalista*. De este modo, el horizonte de las nuevas teorizaciones e investigaciones se orienta a “[...] identificar y comprender los hechos estéticos, y no a proponer un ideal estético o criterio de juicio” (Schaeffer, 2005, 21).

Diana Pérez (2002) identificó dos sentidos de “naturalización”, los cuales son aplicables a la Neuroestética. En un primer sentido, significa *continuidad* entre los pensamientos filosófico y científico. En su versión fuerte, Estética filosófica y Neuroestética se valdrían de los mismos métodos de investigación y de justificación; así, el saber estético-especulativo perdería su tradicional y destacado rol de proveer un criterio y conocimientos *supracientíficos*. El segundo sentido, no necesariamente excluyente del primero, significa que todo lo que sucede en el mundo humano es *natural* o *biológico* y, por tanto, la experiencia estética y el arte, son parte de la Naturaleza. Sobre la cuestión el neurocientífico Rodolfo Llinás (2001) destacó que, para comprender la naturaleza de la mente (la del artista, por ejemplo), es necesario disponer de una perspectiva científica adecuada:

A fundamental first step in exploring the nature of mind, from a scientific point of view, is to reject the premise that the mind appeared suddenly as a result of spectacular intervention. The nature of mind must be understood on the basis of its origin, the process of its becoming, by the biological mechanism of trial and error endlessly at work. The mind, or what I shall refer to as the 'mindless state', is the product of evolutionary processes that have occurred in the brain as actively moving creatures developed from the primitive to the highly evolved. Therefore, a true examination of the scientific basis for mindless requires a rigorous evolutionary perspective, as it is through this process that mindless came to be. How the mind came to us (or we to it, as we shall see) is a rich and beautiful story that is over 700 million years old—and, like all things biological, is still being written (p. IX).

Los modelos de la Neuroestética reformulan, actualizan y plantean nuevos problemas relacionados con las clásicas distinciones natura/nurture o espíritu/naturaleza. Sus hallazgos empíricos son enmarcables en la también reciente *Neurofilosofía*. Al respecto:

Neurophilosophy embraces the hypothesis that what we call "the mind" is in fact a level of brain activity. A corollary of this hypothesis states that we can learn much about the reality of mental function by studying the brain at all levels of organization. Until fairly recently, many philosophers preferred to believe that important domains of mental function could never be addressed using the tools of empirical science. Nevertheless, co-evolutionary progress by psychology and the neurosciences on many topics, including consciousness, free will and the nature of knowledge, have meant that such convictions need to be updated [...] The main idea of Neurophilosophy can be expressed quite simply: if you want to understand the nature of the mind, you need to understand the nature of the brain (Churchland, 2007).

De modo concordante, Francis Crick en su *The Astonishing Hypothesis* (1995), centrado en la investigación de la conciencia humana, sostiene que todos los procesos mentales se deben a la actividad de las células cerebrales: "[...] that to understand ourselves we must understand how nerve cells behave and they interact" (p. XII), su *astonishing hypothesis* al adherir a la reducción neurobiológica, actualiza lo que Hipócrates expresó claramente: *en el cerebro, y nada más que en el cerebro, está el origen o la causa de la alegría, el placer, la risa, el ocio, las penas, el dolor o el abatimiento*. El cerebro, en el marco epistemológico de la Neuroestética, posibilita lo que una persona siente, piensa, imagina, sueña, crea o hace. Por ello, Vicent

Walsh y Alvaro Pascual-Leone (2003) destacan: “Cognitive neuroscience is founded on the idea that “the mind is what the brain does” (p. 7).

IV

La Neuroestética, por su estado inicial de desarrollo, no ha identificado completamente los circuitos y correlatos bioneuronales que le ocupa. Su acotada pero fértil base empírica aporta al entendimiento de la naturaleza de los fenómenos de la belleza y artísticos. Sus modelos empíricos, sin que implique adoptar una tesis naturalista reduccionista contribuyen a la especulación filosófica que está atenta, para no desbordar sus teorizaciones de modo infértil, al estado del conocimiento científico. Las investigaciones neuroestéticas no tienen como propósito responder ni definir *qué es* la belleza o una obra de arte, sino conocer cómo opera el cerebro implicado en ello. La Neuroestética sostiene que si bien cualquier objeto puede ser considerado arte, el arte no conlleva necesariamente la experiencia de belleza.

La universalidad del sustrato biológico junto con la subjetividad y relatividad de la respuesta y juicios de belleza podría pensarse de la siguiente manera: la universalidad de dichos juicios vendría dada porque cierto componente modular de poblaciones celulares de tejido cerebral está, por la evidencia disponible, invariablemente activo mientras se formula el correspondiente juicio de belleza sin que ello implique negar la participación de otros procesos involucrados. Es decir, hasta el momento, el registro tecnológico —principalmente la *fMRI*— muestra que la *corteza orbitofrontal* se activa mientras otras regiones no. La subjetividad vendría dada en que los juicios estéticos dependen de condiciones y constreñimientos individuales, culturales e históricos. La evidencia neuroestética brindaría cierto apoyo a la tradición estética subjetivista, la cual afirma que cada persona tendría su propio gusto o sensibilidad estética. La experiencia de “belleza” sería una cuestión relativa. Empero, como se señaló, cuando acaece esa experiencia se correspondería necesariamente con la activación directa de zonas cerebrales determinadas. Este correlato, hasta el momento de carácter universal, respondería a la evolución *neurobiológica por selección natural*. Que intervenga la corteza orbitofrontal implica que el término de ‘belleza’ podría codificarse, en sentido naturalista, neuronalmente. La *caja negra* de la experiencia estética se vuelve traslúcida. La Neuroestética pretende establecer las condiciones biológicas cerebrales de los fenómenos de estéticos y artísticos. No se trata únicamente de lo

que el cerebro puede revelar sobre la estética y el arte, sino también de lo que la estética y arte pueden revelar sobre el cerebro humano.

Las visiones, teorizaciones y modelos de Zeki, Ramachandran y Kandel conducen a referenciar el cerebro toda vez que se plantean y tematizan problemas estéticos y de cómo el arte es creado, ejecutado y justipreciado. Las estrategias para la construcción de modelos neurocientíficos buscan en el cerebro los mecanismos efectivos y las variables intervinientes que posibilitan la experiencia de belleza y el arte. Para ello, básicamente se diseñan y realizan estudios y experimentos que refrendan con la racionalidad científica aunque no pueden evitar presuponer cuestiones filosóficas que los enmarcan. Un asunto pendiente es si la Neuroestética finalmente dará cuenta de las *condiciones necesarias* o de las *condiciones suficientes*. Los supuestos metafísicos de la disciplina en ciernes continúan en el núcleo de sus modelos, teorizaciones y actividades de investigación y comunicación de resultados. Los avances de la Neuroestética tienen impacto respecto del conocimiento de quienes somos, qué podemos conocer y por qué podemos experimentar belleza y concebir el arte. Desde los siglos XVIII y XIX, la comprensión biológica de la condición del ser humano y de sus obras fue adquiriendo cada vez mayor relieve. La reformulación científica de varios problemas que otrora vertebraron exclusivamente a la Filosofía del arte y la Estética sería un ejemplo de la *naturalización* en el curso del tiempo. La Neuroestética juega, en este sentido, un modesto rol protagónico. Pone de manifiesto correlatos de áreas cerebrales en busca de identificar neuromecanismos eficientes.

La Neuroestética, como se indicó, está en sus comienzos y, por tanto, sus conclusiones y proyecciones en otros campos son incompletas, provisionales o parciales, no obstante poseen valor heurístico y sus hallazgos e hipótesis de investigación son reveladoras y encauzan el pensamiento científico y filosófico que reclaman. El enfoque naturalista de la Neuroestética se focaliza en el conocimiento de condiciones iniciales, causas y procesos neuronales localizados que posibilitan e intervienen en la generación de los juicios estéticos y la producción del arte, lo cual recrea la historia de los intentos de unificar la ciencia, el arte y la filosofía.

Referencias

- BAUMGARTEN, A.G. (1750, [1970]). *Aesthetica*. Hildesheim: Georg Olms.
- BEARDSLEY, M. & HOSPERS, J. (1997). *Estética. Historia y fundamentos*. Madrid: Cátedra.
- BROWN, S., GAO, X., TISDELLE, L., EICKHOFF, S. B., & LIOTTI, M. (2011). *Naturalizing aesthetics: brain areas for aesthetic appraisal across sensory modalities*. *NeuroImage*, 58(1), 250–258.
- BURKE, E. (1729-1797) *A philosophical enquiry into the origin of our ideas of the sublime and beautiful*. Introduction, Note on the Text, Select Bibliography and Explanatory Notes by Adam Phillips. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- CHURCHLAND P.S. (2007). Neurophilosophy: the early years and new directions. *Functional Neurology*, 22(4), 185-195.
- CRICK, F. (1995). *The astonishing hypothesis: The scientific search for the soul*. New York: Touchstone, Simon & Schuster Inc.
- DAMASIO, A. (2010). *Self comes to mind: Constructing the conscious brain*. New York: Pantheon Books.
- DANTO, A.C. (2003). *The abuse of beauty*. Chicago: Open Court.
- DUTTON, D. (2009). *The Art instinct: Beauty, pleasure, and human evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- KANDEL, E. (2012). *The age of insight. The quest to understand the unconscious in art, mind, and brain*. New York: The Random House Publishing Group; *La era del inconsciente. La exploración en el Arte, la mente y el cerebro*. Madrid: Paidós, 2013.
- KAWABATA, H. & Zeki, S. (2004). *Neural correlates of beauty*, *Journal of Neurophysiology*, 91, 1699-1705.
- KRINGELBACH, M.L. (2005). The orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 691-702.
- LABRADA, M. A. (2001). *Belleza y racionalidad: Kant y Hegel*. (2da. ed.). Pamplona: Eunsa.

-
- LLINÁS, R. (2001). *I of the Vortex: From neurons to self*. Cambridge: MIT Press.
- NADAL, M. & PEARCE, M. (2011). The Copenhagen Neuroaesthetics conference: Prospects and pitfalls for an emerging field, *Brain and Cognition*, 76, 172–183.
- NADAL, M. & SKOV, M. (2013). Introduction to the Special Issue: Toward an Interdisciplinary Neuroaesthetics. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 7 (1), 1–12.
- NALBANTIAN, S. (2008). Neuroaesthetics: neuroscientific theory and illustration from the arts. *Interdisciplinary Science Reviews*, 33 (4), 357–368.
- PÉREZ, D. (2002). Naturalismo y mente humana. De las intrincadas relaciones entre la Filosofía, la ciencia, el sentido común, el alma humana y la Madre Naturaleza (107-130). En: Pérez, D. (Comp.) (2002). *Los caminos del naturalismo. Mente, conocimiento y moral*. Buenos Aires: EUDEBA, 107-130.
- PROAL, E.; DE LA IGLESIA, V. & CASTELLANOS, F. (2014). Actividad espontánea del cerebro: bases de la conectividad funcional (143-148). En: Redolar Ripoll, D. (2014). *Neurociencia cognitiva*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- RAMACHANDRAN, V.S. (2003). *The emerging mind*. London: Profile Books; *Los laberintos del cerebro*, Barcelona: La Liebre de Marzo, 2008.
- RAMACHANDRAN, V.S. & ROGERS-RAMACHANDRAN, D. (2006). The Neurology of Aesthetics. *Scientific American Mind* octubre/noviembre.
- RAMACHANDRAN, V.S. & BLAKESLEE, S. (1998). *Phantoms in the brain*. New York: William Morrow; *Fantasmas en el cerebro. Los misterios de la mente al descubierto*. Barcelona: Debate, 1999.
- RAMACHANDRAN, V.S. & HIRSTEIN, W. (1999). The science of art. A neurological theory of aesthetic experience, *Journal of Consciousness Studies*, 6 (6-7), 15–51.

- RUIZ ALARCÓN, E. (2001). Hacia una anatomía de la percepción estética (5-15). En: Montañés, P. (2001). *Cerebro, Arte y Creatividad*, Bogotá: Universidad de Colombia.
- SCHAEFFER, J.M. (2005). *Adiós a la Estética*. Madrid: Antonio Machado.
- SKOV, M. & VARTANIAN, O. (2009). "Introduction: *What is Neuroaesthetics?*" In: Skov, M. & Vartanian, O. (eds.) (2009). *Neuroaesthetics*, New York: Baywood, 1-7.
- WALSH, V. & PASCUAL-LEONE, A. (2003). *Transcranial magnetic stimulation. A Neurochronometrics of minds*. Cambridge: MIT Press.
- ZEKI, S. (2011) Statement on Neuroesthetics. Institute of Neuroesthetics. Recuperado el 15 de diciembre de 2013 desde <http://neuroesthetics.org/statement-on-neuroesthetics.php>
- ZEKI, S. (2011b, 8 de mayo). La contemplación de una bella obra de arte estimula el flujo sanguíneo. *EFE News Service*.
- ZEKI S (2008). *Splendors and Miseries of the Brain: Love, Creativity, and the Quest for Human Happiness*, London: Blackwell; *Maravillas y miserias del cerebro humano*. Madrid: Wiley-Blackwell, 2009.
- ZEKI, S. (2002). Neural concept formation and Art: Dante, Michelangelo, Wagner. *Journal of Consciousness Studies*, 9, 53-76.
- ZEKI, S. (2001). El cerebro: en la búsqueda de lo esencial, *Elementos: Conciencia y Cultura*, 7 (40), 3-7.
- ZEKI, S. (2001b). Artistic creativity and the brain. *Science*, 293, 51-52.
- ZEKI, S. (1999). *Inner Vision: an Exploration of Art and the Brain*, Oxford: Oxford University Press.
- ZEKI, S. (1999b). Splendors and miseries of the brain, *Philosophical Transactions of The Royal Society of London B*, 354, 2053-2065.

ZEKI, S. (1999c). Art and the brain. *Journal of Consciousness Studies*, 6-7, 76-96.

ZEKI, S. (1993). *A vision of the brain*. Oxford: Blackwell.

Morfogénesis, inestabilidad y modelos químico-matemáticos: Turing y Prigogine

Ronald Durán Allimant¹ & Oscar Orellana Estay²

Resumen

Existen modelos científicos que por su carácter híbrido permiten el desplazamiento de conceptos entre áreas de estudio diversas, posibilitando nuevas vías de investigación y comprensión de fenómenos complejos. Este el caso de los dos modelos que consideraremos en este artículo: el modelo morfogénético del matemático inglés Alan Turing, y el modelo químico «Brusselator» del físico-químico ruso-belga Ilya Prigogine. Ambos modelos contribuyeron a desplazar el concepto de inestabilidad, propio de la mecánica o de la hidrodinámica, a la comprensión de la morfogénesis biológica. El surgimiento espontáneo de formas, característica propia de la morfogénesis, aparece desde esta perspectiva como un ejemplo de inestabilidad «que rompe la simetría», en sistemas dinámicos no-lineales.

Palabras claves: morfogénesis, inestabilidad, modelos, química, matemática, física.

¹ Instituto de Filosofía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

² Departamento de Matemáticas, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. El trabajo de Oscar Orellana fue financiado en parte por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) bajo el proyecto n° 1141260 y la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Valparaíso, Chile.

Introducción

El modelamiento y la simulación mediante computadores constituyen hoy en día una práctica de «ciencia normal». Es indudable que ofrecen algún tipo de conocimiento, sin embargo no es fácil responder qué tipo de conocimiento específico ofrecen. Poseer el modelo de un fenómeno o proceso ¿implica tener conocimiento de los mecanismos involucrados en el proceso, o se posee meramente una «copia» o reproducción de las «formas», sin conocimiento específico de los procesos que las producen? No existe una respuesta tajante. Se afirma, muchas veces, que los modelos tienen un valor meramente heurístico, por lo que su relevancia epistémica quedaría reducida a la apertura de vías inexploradas de investigación. Se ha resaltado menos el valor que podría tener la formulación de modelos teóricos en el desplazamiento de conceptos entre disciplinas o áreas de estudio diversas, desplazamiento que se hace posible gracias a la conjunción de los objetivos epistémicos antes mencionados: intento de imitación del resultado de un proceso para sacar a luz los mecanismos implicados en él, abriendo así nuevas vías de investigación. El desplazamiento conceptual se ve favorecido además por modelos cuyo carácter híbrido actúa de puente entre ámbitos teóricos y prácticos de naturaleza diversa.

En este artículo estudiaremos dos modelos concretos: el modelo morfogénico del matemático inglés Alan Turing (1952), y el modelo químico «Brusselator» del físico-químico ruso-belga Ilya Prigogine (1968), y mostraremos cómo gracias a su formulación contribuyeron a situar el concepto de inestabilidad, propio de la mecánica y de la hidrodinámica, como clave interpretativa en la comprensión de la morfogénesis biológica. La morfogénesis, el surgimiento espontáneo de formas o patrones en el desarrollo biológico, es comprendida como un ejemplo de inestabilidad que «rompe la simetría», es decir, como un proceso en el que se produce el paso de un estado homogéneo a otro heterogéneo, gatillado por perturbaciones o fluctuaciones.

El modelo morfogénico de Turing: inestabilidad y rotura de simetría

En 1952, en el artículo «The Chemical Basis of Morphogenesis», Alan Turing expone su modelo teórico abstracto matemático-químico de la morfogénesis biológica (el problema del desarrollo del embrión). En palabras del propio Turing: «Se sugiere que un sistema de sustancias químicas, llamadas morfógenos, en reacción entre ellas, y difundiéndose a

través de un tejido, es adecuado para dar cuenta del importante problema de la morfogénesis. Tal sistema, a pesar de que pueda ser originalmente bastante homogéneo, puede luego desarrollar un patrón o estructura debido a una inestabilidad del equilibrio homogéneo, que es gatillada por perturbaciones aleatorias» (Turing, 1952, p. 37). Para modelar el proceso biológico de la morfogénesis como un proceso químico, Turing establece como elementos básicos sustancias químicas que él denomina «morfogenes» [*morphogens*] (productores de forma), que establecerían una suerte de plantilla o molde a partir del cual se desarrollarían las formas orgánicas. Establece además las relaciones entre estos elementos: reacciones y difusión, y una dinámica formalizada como un sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales de reacción-difusión. Aquí presentamos el sistema discreto, tal como aparece en su artículo (Turing, 1952, p. 47):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_r}{dt} &= f(X_r, Y_r) + \mu(X_{r+1} - 2X_r + X_{r-1}) \\ \frac{dY_r}{dt} &= g(X_r, Y_r) + \nu(Y_{r+1} - 2Y_r + Y_{r-1}) \end{aligned} \right\} \quad (r = 1, \dots, N).$$

Las ecuaciones indican las variaciones en el tiempo de las concentraciones de los morfogenes X e Y, como funciones de las reacciones y las difusiones, que tienen lugar en el sistema. El sistema de ecuaciones diferenciales permite plantear esquemas de reacciones químicas, que especifican la estructura del sistema. En su artículo, Turing ofrece el siguiente ejemplo que sirve para ilustrar su procedimiento (Turing, 1952, p. 42):

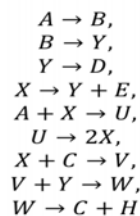
Sistema de ecuaciones

$$\frac{dX}{dt} = 5X - 6Y + 1$$

$$\frac{dY}{dt} = 6X - 7Y + 1$$



Esquema de reacciones



En el planteo de su modelo, Turing ejecuta simplificaciones e idealizaciones. Por ejemplo: considera las células como puntos geométricos (en su modelo discreto), o los tejidos como continuos (en su modelo continuo); o bien, descarta los factores mecánicos como el crecimiento, o los factores eléctricos. Turing está consciente de que su modelo no es ni pretende ser una copia fiel del proceso real de desarrollo del embrión, o del proceso como sería considerado experimentalmente o mediante observación. Tan sólo espera que las simplificaciones operadas saquen a la luz los mecanismos esenciales implicados en el proceso de morfogénesis: «Este modelo será una simplificación y una idealización, y en consecuencia una falsificación. Es de esperar que las características retenidas en la discusión sean aquellas de la mayor importancia en el presente estado de conocimiento» (Turing, 1952, p. 37). En palabras de Keller: «Turing no estaba sugiriendo que sus reacciones hipotéticas correspondían a algunas reacciones reales que ocurrieran en la célula: era la utilidad y la accesibilidad matemática la que guiaba su construcción más que cualquier intento de realismo. Su modelo tenía la virtud de ser a la vez simple y elegante, pero era en el mejor de los casos biológicamente inocente y en el peor de los casos irrelevante» (Keller, 2002, p. 99).

Para analizar el modelo, Turing opera una nueva simplificación: linealiza el sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales. Luego estudia las soluciones y la estabilidad de este sistema lineal mediante la técnica tradicional de modos normales. Su modelo lineal sólo le permite concentrarse en el comienzo [*onset*] de la inestabilidad, pero esto le es suficiente para conseguir una imagen bastante amplia de las posibles soluciones o estados estables que puede alcanzar el sistema más allá de la inestabilidad: «Después del paso de un cierto periodo de tiempo, desde el comienzo de la inestabilidad, aparece un patrón de concentraciones de morfogenes, que puede ser descrito en términos de “ondas”» (Turing, 1952, p. 66). Obtiene seis tipos posibles de solución, las que interpreta biológicamente: a) caso estacionario con longitud de onda extremadamente larga: sería el caso menos interesante según Turing, aunque podría explicar patrones de color a manchones (*drappled colour pattern*); b) caso oscilatorio con longitud de onda extremadamente larga: similar al caso anterior, pero el alejamiento del equilibrio es oscilatorio: «Hay probablemente muchos ejemplos de esta oscilación metabólica, pero ninguna realmente satisfactoria es conocida por el autor» (Turing, 1952, p. 67); c) ondas estacionarias de longitud de onda extremadamente corta: no existía ningún ejemplo biológico conocido para Turing; d) ondas estacionarias con longitud de onda finita: algunos ejemplos biológicos serían los tentáculos de la

Hydra, o la disposición de las hojas en la aspérula; e) caso oscilatorio con longitud de onda finita (ondas viajeras): por ejemplo, el movimiento de la cola del espermatozoide; y, f) caso oscilatorio con longitud de onda extremadamente corta: ningún ejemplo conocido por Turing (1952, p. 68). Estos resultados parecen confirmar la posible relevancia biológica del modelo, y confirmar además que el mecanismo implicado en la morfogénesis puede corresponder a un proceso de inestabilidad que «rompe la simetría» [*breakdown of symmetry*], una inestabilidad que hace pasar al sistema de un estado homogéneo a otro heterogéneo de manera espontánea (gatillado por perturbaciones o fluctuaciones) (Turing, 1952, p. 41), tal como el que se da en sistemas mecánicos o hidrodinámicos.

Turing no sólo estudia la dinámica de su modelo con técnicas matemáticas tradicionales, sino que dando un paso pionero analiza y simula su modelo usando computadores (Turing, 1952, p. 60). Estudia un modelo del tipo d, «ondas» estacionarias con longitud de onda finita, modelo que le parece más interesante desde el punto de vista biológico. Para resolver numéricamente su modelo tiene que especificar valores y reacciones concretas: el número y dimensiones de las celdas o células del anillo, las difusibilidades de los morfógenos, las reacciones consideradas, las tasas a que ocurren las reacciones, información acerca de las perturbaciones aleatorias, etc. Respecto a su elección nos dice: «Desafortunadamente no es posible especificar reacciones químicas reales con las propiedades requeridas, pero pensamos que las tasas de reacción con las reacciones imaginarias no son irrazonables» (Turing, 1952, 60). Los resultados numéricos confirman la solución ondulatoria obtenida con las técnicas analíticas tradicionales. Turing es muy consciente de la importancia del uso de computadores para el estudio de sistemas no-lineales, y el rol de los modelos en la comprensión de ciertos procesos para los que se carece de una teoría, abriendo así la vía a un modo de hacer ciencia que es normal hoy en día: «La mayor parte de un organismo, la mayor parte del tiempo, se está desarrollando desde un patrón a otro, más que de la homogeneidad a un patrón. Uno querría ser capaz de seguir matemáticamente este proceso más general. Sin embargo, las dificultades son tales que no podemos esperar tener ninguna teoría que abarque tales procesos, más allá del planteo de las ecuaciones. Podría ser posible, sin embargo, tratar en detalle algunos casos particulares con la ayuda de un computador digital» (Turing, 1952, p. 72).

A la base del planteo de Turing se encuentra una analogía clave que le da sentido a su esquema de ecuaciones diferenciales: concebir la aparición

espontánea de formas en el desarrollo biológico como una cuestión de inestabilidad, de inestabilidad química, como una «rotura de simetría» en sistemas no-lineales. Los conceptos de inestabilidad y de rotura de simetría eran propios de la hidrodinámica y la física de cambio de fase, y su aplicación a la comprensión de sistemas químicos o biológicos resultaba un paso pionero (Durán, 2013, p. 138). De esta manera, simplificando la complejidad de los procesos que tienen lugar en la morfogénesis a dos tipos de procesos: reacción y difusión, Turing no espera lograr una copia del desarrollo biológico, sino obtener con este esquema simplificado una inestabilidad que dé lugar a la aparición espontánea de una «forma» espacial o temporal. La comprensión de la morfogénesis como inestabilidad permite la elaboración y el planteo del modelo. Es decir, el análisis del proceso biológico como un proceso puramente físico-químico. Ahora bien, esta suposición de partida, o analogía básica, una vez realizado el modelo y obtenidos resultados que pueden asemejarse en cierta medida a los resultados del proceso biológico, adquirirá un valor no meramente analógico. En última instancia, y es lo que creemos espera Turing y Prigogine sobre todo, la inestabilidad no será simplemente una analogía entre procesos de diversa naturaleza, sino la demostración de la identidad de estos procesos, siendo entonces la inestabilidad física, química o biológica, ejemplos o casos particulares de la inestabilidad en general. Esta posición ontológica será exacerbada al extremo por Prigogine, quien considerará desde la perspectiva de la inestabilidad incluso procesos sociales o culturales. Las pretensiones de Turing son más acotadas, quedándose sólo en el ámbito biológico y químico.

Para comprender y estudiar un proceso biológico complejo, Turing plantea un modelo teórico abstracto que conjuga elementos físicos, químicos, biológicos, matemáticos³, e incluso innovaciones técnicas, el computador, considerando el proceso de desarrollo morfogenético como un ejemplo de inestabilidad que rompe la simetría. Da así un paso pionero desde una perspectiva tanto conceptual como metodológica. El modelo morfogenético de Turing nos ofrece un ejemplo notable de modelo híbrido que gracias a su propia condición inespecífica permite el desplazamiento de un concepto, en este caso el concepto de inestabilidad, situándolo como clave de interpretación y comprensión de un proceso

³ Como afirma el propio Turing: «La comprensión acabada del artículo requiere un buen conocimiento de matemáticas, algo de biología, y algunos elementos de química» (Turing, 1952, p. 37).

complejo, en este caso el desarrollo biológico. Este modelo tendrá escasa resonancia, probablemente por su propia condición híbrida. Muy pocos biólogos lo tomaron en cuenta, y menos matemáticos. Durante varios años será prácticamente ignorado, hasta su redescubrimiento en los años 60, cuando contribuirá a consolidar como disciplina la biología matemática (Keller, 2002, p. 89). En esta época será redescubierto también por Ilya Prigogine y jugará un rol fundamental en el planteo del modelo químico «Brusselator», herramienta clave de la teoría de estructuras disipativas y procesos de autoorganización por la que Prigogine recibió el premio Nobel de Química en 1977.

Modelo químico «Brusselator»: estructuras disipativas y auto-organización

A comienzos de los años 60, Prigogine se ocupaba del estudio de la inestabilidad en sistemas hidrodinámicos, en particular en la inestabilidad de Bénard, experimento que consistía en una capa delgada de líquido en reposo calentada por debajo, en la que dado cierto gradiente de temperatura aparecían de manera espontánea convecciones y figuras hexagonales (Durán, 2013, p. 142). El estudio de la inestabilidad había surgido como extensión de su termodinámica lineal de procesos irreversibles, termodinámica de sistemas abiertos y de no-equilibrio, área en la que Prigogine desde los años 40 era una de las figuras principales. La inestabilidad Bénard ofrecía la conjunción entre orden y disipación que Prigogine consideraba característica propia de los procesos biológicos. Sin embargo, un sistema hidrodinámico era insuficiente para estudiar las bases físico-químicas de los seres vivos. Es en este contexto, en el año 1966, en el que redescubre el trabajo de Turing⁴. Y lo redescubre en sentido estricto, pues como él mismo afirma: «Había conocido a Turing en Manchester alrededor de tres años antes [de 1952]. Fue sólo bastante después que recordé los comentarios de Turing sobre aquellas cuestiones de estabilidad, a las que no fui suficientemente receptivo entonces, por haber estado demasiado interesado en la termodinámica lineal» (Prigogine, 1977)⁵.

⁴ Conoce el modelo gracias al «profesor Wasserman de la Universidad de Newcastle-upon-Tyne» Prigogine y Nicolis, 1967, p. 3544.

⁵ «A partir de la biografía de Turing de Andrew Hodges publicada en 1983, se colige que Prigogine asiste a una conferencia de Turing sobre la morfogénesis realizada en el departamento de química de Manchester, el 29 de febrero de 1952. Prigogine precisa que él

Este redescubrimiento jugará un rol crucial en el desarrollo del trabajo de Prigogine, pues conlleva un reenfoque metodológico y conceptual que da comienzo a la teoría de estructuras disipativas y procesos de autoorganización. El artículo que inaugura este periodo, «On Symmetry-Breaking Instabilities in Dissipative Systems» [Acerca de las inestabilidades que rompen la simetría en sistemas disipativos] (1967), deja en evidencia ya desde el título la influencia de Turing. En él, Prigogine estudia junto a su colaborador Grégóire Nicolis un esquema químico, planteado en el artículo de Turing, que conduce a inestabilidades, realizando algunas modificaciones en el esquema, y considerando con énfasis las cuestiones termodinámicas, apenas tomadas en cuenta por el matemático inglés. Se concluye en este artículo: «Existe una inestabilidad más allá de la cual la solución estacionaria estable corresponde a una situación no-homogénea [*inhomogeneous*]; esta situación es mantenida a través de un sutil balance entre las tasas de reacción y difusión. Una propiedad característica de esta inestabilidad es, por lo tanto, que rompe la simetría [*symmetry breaking*] a medida que lleva de un estado estacionario homogéneo a uno no-homogéneo [o heterogéneo]» (Prigogine y Nicolis, 1967, p. 3543). Para Prigogine y su grupo, la tarea es ahora elaborar un modelo teórico abstracto, que permita estudiar y comprender de mejor manera la inestabilidad en sistemas químicos, el tipo de dinámica y las formas o patrones espacio-temporales que puedan aparecer en sistemas no-lineales lejos del equilibrio. Prigogine denomina, de manera un poco inadecuada, «estructuras disipativas» a los patrones o formas que surgen más allá de una inestabilidad (Durán, 2013, p. 165).

En 1968, Prigogine y su colaborador René Lefever dan a conocer el modelo buscado: modelo químico teórico «trimolecular» (Prigogine y Lefever, 1968), conocido posteriormente como «Brusselator», por la denominación que le dio en 1973 el químico estadounidense John J. Tyson (1973). Este modelo teórico abstracto resulta un avance notable respecto a otros esquemas químicos propuestos, pues es muy sencillo, consiste sólo en 4 reacciones, dando lugar no obstante a una gran variedad de patrones. El modelo condensa las dos condiciones básicas establecidas por Prigogine para la aparición de inestabilidades que rompen la simetría: distancia del equilibrio termodinámico y «auto-catálisis» (expresada por

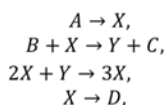
no asistió a esta conferencia, sino que Turing vino a verlo a su hotel: “Nuestra discusión no tuvo como resultado gran cosa, porque ni Turing, ni yo, habíamos establecido el lazo entre su efecto y la distancia al equilibrio” (nota. Prigogine, comunicación privada)» (Pacault y Perraud, 1997, p. 105).

ecuaciones que implican una retroalimentación positiva). Siguiendo un orden inverso al de Turing, que iba del sistema de ecuaciones diferenciales a los distintos esquemas químicos posibles, Prigogine parte de un esquema de reacciones general, y considera las ecuaciones diferenciales que se derivan de él ya sea con difusión o sin difusión. El siguiente es el esquema del Brusselator:

Sistema de ecuaciones con difusión

$$\begin{aligned}\frac{\partial X}{\partial t} &= k_1 A - (k_2 B + k_4) X + k_3 X^2 Y + D_X (\partial^2 X / \partial r^2) \\ \frac{\partial Y}{\partial t} &= k_2 B X - k_3 X^2 Y + D_Y (\partial^2 Y / \partial r^2)\end{aligned}$$

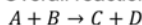
Esquema de reacciones



Sistema ecuaciones sin difusión

$$\begin{aligned}\frac{\partial X}{\partial t} &= k_1 A - (k_2 B + k_4) X + k_3 X^2 Y \\ \frac{\partial Y}{\partial t} &= k_2 B X - k_3 X^2 Y\end{aligned}$$

Overall reaction



Esta secuencia de reacciones teóricas describe de manera general la transformación o conversión de A y B (los reactantes) en C y D (los productos), mientras X e Y (los intermediarios) son formados y destruidos. La tercera reacción constituye la clave del esquema, es el paso trimolecular, pues implica una reacción donde intervienen tres reactantes, y consiste en una reacción de «autocatálisis», en la que el producto requiere de sí mismo para producirse. En este caso se trata de una retroalimentación positiva que vuelve inestable al sistema. Esta reacción establece el grado de no-linealidad necesario para la inestabilidad y para tener una gran variedad de comportamientos posibles.

La reacción trimolecular vuelve, al mismo tiempo, no realista al modelo, pues se trata de una reacción que no se encuentra en sistemas reales. «Este esquema de reacción es físicamente no-realista debido al paso trimolecular» (Prigogine y Lefever, 1968, p. 1697). Siguiendo la estrategia de Turing, el Brusselator no busca asemejarse a algún tipo específico de reacciones o sistema en concreto, sino que usando reacciones teóricas, busca exponer los mecanismos generales implicados en las inestabilidades en sistemas no-lineales, y en este caso en sistemas lejos del equilibrio ter-

modinámico. No obstante, a diferencia del modelo de Turing, que tenía como referente el desarrollo embrionario, la morfogénesis biológica, el Brusselator no tiene un referente específico, sino que se trata de un modelo que busca exponer en general, en sistemas químicos, o en sistemas que puedan ser modelados usando reacciones químicas, los mecanismos y la dinámica de la inestabilidad y la aparición de estructuras disipativas. El Brusselator no se refiere a ningún objeto o sistema concreto, no tiene un carácter representacional o referencial, como el de Turing. «El mecanismo [o esquema de reacciones], por lo tanto, tiene que ser considerado como un modelo más que como una representación de un proceso químico particular» (Lefever y Nicolis, 1972, p. 1697). De hecho, cuando se formula el modelo Brusselator, todavía no se conocían ejemplos concretos o experimentales de ordenación espontánea en química. No obstante, no se trata de un modelo puramente ficticio, en cuanto cumple las leyes de la física-química.

Al igual que el modelo de Turing, el Brusselator conjuga diversas teorías y leyes, teniendo así un carácter intrínsecamente interdisciplinar: leyes físicas y químicas (termodinámica, ley de acción de masas), técnicas matemáticas (ecuaciones diferenciales y estudios de estabilidad), interpretación biológica (morfogénesis, autoorganización), desarrollos técnicos (computador). Prigogine emplea técnicas similares a las de Turing para estudiar la dinámica y la estabilidad del modelo, aunque incorporando el enfoque termodinámico propio de su trabajo anterior, y que no está presente en el matemático inglés. Así el estudio del Brusselator se emprende usando varias técnicas: análisis lineal de estabilidad, resolución analítica de ecuaciones diferenciales, uso del criterio termodinámico de estabilidad, estudio de bifurcaciones (Petitgirard, 2004, p. 509). Pero es sobre todo el uso de computadores, más poderosos ahora que los usados por Turing, para el análisis numérico y la visualización de las estructuras disipativas, el que establece la novedad principal de este enfoque.

El análisis exhaustivo del modelo Brusselator, principalmente efectuado por Lefever, llevó al descubrimiento de distintos tipos de comportamientos espacio-temporales, o estructuras disipativas, más allá de un punto de inestabilidad. La aparición de los distintos tipos de comportamiento depende de la distancia del equilibrio (establecida por los parámetros de control A, B, E, D), de los valores de las constantes del sistema (constantes de reacción y de difusión D_A, D_B, D_X, D_Y), y del tipo de perturbaciones o fluctuaciones que lo afecten. En general se identificaron los siguientes tipos de comportamientos (Lefever, 1968; Prigogine y Nico-

lis, 1971; Glansdorff y Prigogine, 1971; Prigogine, Nicolis y Babloyantz, 1972; Nicolis y Prigogine, 1977; Prigogine y Stengers, 1994): a) estado de equilibrio; b) estados estacionarios de la «rama termodinámica», que al igual que el equilibrio presentan distribución espacial homogénea; c) distribución espacial regular heterogénea de X e Y, que rompe la simetría u homogeneidad inicial (estructura disipativa espacial); d) ondas de concentración espacial y oscilación temporal (estructura disipativa espacio-temporal), que pueden estar localizadas u ocupar todo el volumen; y e) oscilaciones temporales tipo «ciclo límite». También se realizaron estudios en dos o tres dimensiones encontrándose asimetrías espaciales, con aparición de ejes privilegiados (Prigogine y Stengers, 1994, p. 189).

Al igual que Turing con su modelo morfogenético, Prigogine considera que algunos de estos comportamientos podrían tener relevancia biológica, en cuanto se asemejan a tipos de actividad propios de lo vivo. Por ejemplo: asocia el comportamiento c), a una «memoria primitiva» (Prigogine, Nicolis y Babloyantz, 1972, p. 26), y el comportamiento d) a un «mecanismo primitivo de propagación de información» (p. 26); en el caso de dos o tres dimensiones, en donde aparecen asimetrías espaciales con ejes preferentes, Prigogine asocia estos patrones directamente con la morfogénesis biológica: «Esto corresponde a un nuevo y extremadamente interesante proceso de ruptura de simetría, especialmente cuando se recuerda que uno de los primeros pasos de la morfogénesis de un embrión es la formación de un gradiente en el sistema» (p. 26). En cada caso el salto analógico es exagerado, pero muestra con claridad que Prigogine, generalizando el enfoque de Turing, busca mostrar con su modelo teórico que los distintos casos de aparición espontánea de formas o patrones en sistemas y procesos de naturaleza muy distinta (morfogénesis en un sentido muy general), son en el fondo ejemplos o casos de inestabilidad que rompen la simetría. Respecto a la interpretación biológica del Brusselator, creemos justas las palabras de Tyson: «[...] Prigogine y colaboradores] han comentado la significación biológica del Brusselator, puesto que el desarrollo de organización temporal y espacial en este mecanismo de reacción simple semeja los ritmos complejos y patrones intrincados exhibidos por los organismos biológicos. Pero sería seguramente conceder demasiado considerar el Brusselator como algo más que una analogía: un ejemplo simple de un sistema químico que copiosamente despliega el conjunto de comportamientos interesantes de la dinámica no lineal [...] Sus insinuaciones de oscilaciones celulares, señales químicas viajeras, e incluso radios químicos son tan seductoras debido a que tales comportamientos en sistemas químicos son poco familiares» (Tyson, 1973, p. 3927).

El planteo del Brusselator fue crucial para apuntalar la teoría de estructuras disipativas de Prigogine, pues ofrece una «demostración» de la posibilidad de aparición de patrones espaciales y temporales más allá de una inestabilidad en sistemas químicos, a pesar de que no se refiera a un sistema químico concreto. En la presentación de la teoría por parte de Prigogine, los gráficos e imágenes obtenidas mediante las simulaciones computacionales adquieren un valor epistémico casi equivalente al de los ejemplos experimentales. La teoría de estructuras disipativas parece ser confirmada tanto por modelos con referencia, como por modelos sin referencia, incluso antes del descubrimiento de ejemplos experimentales. Al menos así nos parece que lo entiende Prigogine. «La existencia de tales estructuras ha sido confirmada tanto por cálculos de máquina [*machine calculations*] como por experimentos de laboratorio» (Prigogine, 1971, p. 163). Las estructuras disipativas son tanto modelos e imágenes computacionales como experimentales. Esto es una muestra clara del peso epistémico que adquieren los modelos teóricos y las simulaciones en la validación y la comprensión de una teoría científica a partir de los años 60 y 70.

El Brusselator también permitió asentar el valor del experimento de Belousov-Zhabotinsky como ejemplo efectivo de aparición espontánea de ordenaciones (en particular oscilaciones químicas) en sistemas químicos homogéneos, algo que parecía *contra natura*, debido a que se interpretaba la segunda ley de la termodinámica como prohibiendo este tipo de comportamientos (Durán, 2013, p. 202). El Brusselator hace ver así la aparición espontánea de formas en sistemas químicos como una cuestión natural: «El mayor valor del Brusselator parece ser pedagógico: hacer que la organización espacial y temporal en sistemas químicos sea tan poco misteriosa y tan común como el decaimiento monótono hacia un estado de equilibrio homogéneo» (Tyson, 1973, p. 3927). Con esto, la aparición espontánea de ordenaciones en sistemas químicos aparece como una cuestión de inestabilidad que rompe la simetría, desplazándose así este concepto de la mecánica y la hidrodinámica a la química, y a todos aquellos sistemas que puedan modelarse como un sistema de reacciones químicas de las características del Brusselator.

En su libro de 1977, junto a Nicolis, *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*, en donde Prigogine compendia su trabajo en estructuras disipativas y procesos de autoorganización, aparecen considerados una gran variedad de procesos y sistemas de diversa naturaleza: experimentos, sistemas puramente teóricos, modelos, etc. Aunque desde una perspecti-

va experimental no es posible considerarlos todos como meros casos de inestabilidad que rompe la simetría, al imitar la variedad de ordenaciones y patrones aquí presentes, el Brusselator dio coherencia y sirvió como una herramienta heurística para considerarlos como tales, como ejemplos de inestabilidad que rompe la simetría. Así, el paso dado por Turing al modelar la morfogénesis como un sistema de reacciones químicas que dan lugar a una inestabilidad que rompe la simetría, es extendido y generalizado por Prigogine y su grupo, abarcando ahora con una misma metodología, que plantea modelos teóricos abstractos para estudiar procesos complejos, estudiándolos mediante computadores, sistemas tan distintos como: oscilaciones temporales y diferenciación espacial en la reacción Belousov-Zhabotinsky (Glansdorff y Prigogine, 1971, p. 244; p. 261; Nicolis y Prigogine, 1977, p. 339), oscilaciones bioquímicas en la glicólisis (Nicolis y Prigogine 354), agregación de acrasiales (Prigogine y Stengers, 1984 p. 156), construcción de nidos de termitas (p. 181), histéresis (p. 166), procesos de regulación celular y subcelular (Nicolis y Prigogine, 1977, p. 354), diferenciación morfogenética (p. 354), entre otros. De esta manera, la inestabilidad aparece como un proceso general, de las que lo biológico y lo químico (e incluso lo social), pueden considerarse casos particulares.

Conclusiones: modelos, desplazamientos conceptuales y metodología científica

Hemos presentado dos modelos teóricos que han buscado exponer o sacar a luz los mecanismos implicados en procesos en los que se produce aparición espontánea de formas. De manera general podemos llamar a estos procesos, procesos morfogenéticos (no asociando ya este término solamente a lo biológico). En el caso de Turing, se trata de un modelo que tiene como referencia la morfogénesis biológica. En el caso de Prigogine de un modelo, el Brusselator, y de una metodología y enfoque teórico, la teoría de estructuras disipativas, que intenta explicar la morfogénesis en un sentido general: desde lo físico a lo social. Cada uno de estos modelos fue concebido tomando en cuenta criterios de simplicidad y coherencia, y sin tener intención de imitar de manera concreta todo el detalle de procesos reales. De hecho el Brusselator no tenía referente concreto, y fue elaborado antes de que fuera conocido y aceptado el primer ejemplo experimental de ordenación espontánea en sistemas químicos, la reacción de Belousov-Zhabotinsky. Tanto el modelo de Turing como el Brusselator, buscaban exponer lo esencial de los procesos de morfogé-

nesis, basándose en una analogía básica: considerar estos procesos como inestabilidades que rompen la simetría, concepto propio del ámbito de la mecánica, de los procesos físicos de cambio de fase, y de la hidrodinámica. En la construcción de sus modelos, tanto Turing como Prigogine conjugaron teorías y métodos de disciplinas diversas: física, química, matemática, biología, e innovaciones técnicas (el uso del computador), constituyendo así modelos de naturaleza híbrida, facilitando la aplicación de la noción de inestabilidad a la comprensión e investigación de la morfogénesis, en sentido biológico en Turing, en un sentido más general en Prigogine. Con cada modelo se obtuvieron resultados que imitaban en cierta medida el resultado de los procesos o sistemas modelados, usando no obstante criterios interpretativos muy amplios que apelaban fuertemente a la analogía y la metáfora. De hecho, la relevancia estrictamente biológica de ambos modelos, que fue el incentivo para su construcción, ha sido en el mejor de los casos marginal. A pesar de esto, es indudable que ambos modelos contribuyeron a situar la inestabilidad y una serie de conceptos asociados tales como no-linealidad, no-equilibrio, fluctuaciones, como un marco teórico en la comprensión de diversos sistemas naturales y artificiales a partir de los años 60 y 70 (Durán, 2013). El desplazamiento conceptual operado no fue fruto del mero capricho, o de una mera analogía superficial, sino que nació de un esfuerzo concreto de modelamiento usando enfoques teóricos y metodológicos pioneros. Además del desplazamiento conceptual mencionado, los modelos estudiados contribuyeron a configurar la metodología de la «ciencia normal» actual en al menos tres aspectos: a) el uso de modelos teóricos abstractos para la comprensión general de procesos o sistemas complejos; b) el uso de computadores para el estudio y simulación de modelos teóricos; c) el asentamiento del valor epistémico de modelos teóricos en la aceptación y validación de teorías científicas.

Bibliografía

- COOPER, S. B. & VAN LEEUWEN, J. (Eds.). (2013). *Alan Turing: His Work and Impact*. Elsevier.
- DURÁN, R. (2013). *Autoorganización y estructuras disipativas: la imagen de naturaleza en Ilya Prigogine*. Tesis doctoral no publicada, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

- GLANSDORFF, P. & PRIGOGINE, I. (1971). *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. Wiley.
- HODGES, A. (2012). *Alan Turing: The Enigma*. Princeton University Press.
- KELLER, E. F. (2002). *Making Sense of Life*. Cambridge: Harvard University Press.
- KONDO, S. & MIURA, T. (2010). «Reaction-Diffusion Model as a Framework for Understanding Biological Pattern Formation». *Science*, 329, 1616-1620.
- LEFEVER, R. & NICOLIS, G. (1972). «Chemical Instabilities and Sustained Oscillations». *Journal of Theoretical Biology*, 30 (2), 267-84.
- LEFEVER, R. (1968). «Dissipative Structures in Chemical Systems», *Journal of Chemical Physics*, 49, 4977
- NICOLIS, G. & PRIGOGINE, I. (1977). *Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*. Wiley.
- PACAULT, A. & PERRAUD, J.-J. (1997). *Rythmes et Formes en Chimie. Histoire des structures dissipatives*. Paris: Presses Universitaires de France.
- PETITGIRARD, L. (2004). *Les chaos: des questions théoriques aux enjeux sociaux*. Lyon.
- PRIGOGINE, I. & LEFEVER, R. (1968). «On Symmetry-Breaking Instabilities in Dissipative Systems. II». *Journal of Chemical Physics*, 48, 1695-1700.
- PRIGOGINE, I. & NICOLIS, G. (1967). «On Symmetry-Breaking Instabilities in Dissipative Systems». *Journal of Chemical Physics*, 46, 3542-3550.
- PRIGOGINE, I. & NICOLIS, G. (1971). «Biological order, structure and instabilities». *Quarterly Reviews of Biophysics*, 4 (2), 107-48.
- PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. (1994). *La nueva alianza*. Madrid: Alianza.

- PRIGOGINE, I. (1977). «Autobiography», The Official Web Site of the Nobel Prize, disponible online en: http://www.nobel-prize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1977/prigogine-facts.html
- PRIGOGINE, I. (1971). «Dissipative Structures in Biological Systems». En Marois, M. (Ed.), *De la physique théorique à la biologie*. Paris: CNRS.
- PRIGOGINE, I., NICOLIS, G. & BABLOYANTZ, A. (1971). «Thermodynamics of evolution». *Physics Today*, 25 (11), 23-28.
- SAUNDERS, P. T. (1993). «Alan Turing and Biology». *IEEE Annals of the History of Computing*, 15 (3).
- TURING, A. (1952). «The Chemical Basis of Morphogenesis». *Philosophical Transactions of The Royal Society London B*, 237 (641), 37-72.
- TYSON, J. J. (1973). «Some further studies of nonlinear oscillations in chemical systems». *Journal of Chemical Physics*, 58, 3919.
- WARDLAW, C. W. (1953). «A Commentary on Turing's Diffusion-Reaction Theory of Morphogenesis». *New Phytologist*, 52, 40-47.

Sección II

Lenguaje, información y conocimiento en
la educación superior e investigación

Lenguajes y descripciones en ciencia

Guillermo Cuadrado¹ & Italo A. Ortiz²

Resumen

La ciencia moderna se caracteriza por tener ciertas teorías que usan lenguajes matemáticos para describir procesos, objetos y sus propiedades, y las relaciones entre ellos, como es el caso de la Física o la Economía. Tuvo dos etapas de desarrollo, una inductiva, que duró hasta el tercer tercio del siglo XIX, la otra deductiva, consecuencia y continuación de la anterior, que indagó por sus propios fundamentos. En esa búsqueda se inició el *giro lingüístico*, que señaló que las posibilidades de conocer están supeditadas a los límites del lenguaje. El propósito de esta investigación fue caracterizar lenguajes, teorías y funciones comunicativas, teniendo en cuenta sus estructuras. El método usado consistió en el análisis lógico y epistemológico de la bibliografía, considerando los cambios diacrónicos en la ciencia, la estructura de un lenguaje y el uso de las funciones comunicativas. Se encontró que las teorías empíricas usan las formas expresivas que proporciona el lenguaje matemático para designar sus objetos y procesos, los que en muchos casos requieren necesariamente de esas formas para ser concebibles y calculables. Estos aspectos permitieron concluir que para que los temas impartidos en teorías empíricas muy formalizadas lleguen efectivamente a los receptores del conocimiento científico, se deben cumplir ciertas condiciones en las funciones comunicativas y en las codificaciones entre el lenguaje natural, el matemático y disciplina empírica, caso contrario la transmisión del tema se interrumpe.

Palabras claves: lenguaje, teoría, giro lingüístico, signo, formas expresivas, estructura.

Una característica inherente de la ciencia moderna es usar lenguajes matemáticos para describir procesos, objetos y sus propiedades, y las relaciones entre ellos. Desde el Renacimiento a la fecha el lenguaje ha sido considerado un recurso fundamental para enfrentar el conocimien-

¹ Grupo IEMI, F. R. Mendoza, UTN; Instituto de Filosofía, UNCuyo.

² Grupo IEMI, F. R. Mendoza, UTN.

to. Aunque hubo cambios en sus concepciones, ese punto de vista tiene actualmente un rol fundamental.

Para ajustar lo descrito con las descripciones, la ciencia generó la necesidad de disponer de lenguajes que evitaran la vaguedad y la ambigüedad que tienen las lenguas naturales. Ese es el camino que han seguido la lógica y la matemática desde la antigüedad. En la edad moderna, el problema de indagar y representar el conocimiento científico ha sido evidente.

Conviene señalar que Frege inició un proceso que luego se denominó '*giro lingüístico*'. Antes del giro se aceptaba que los pensamientos se comunicaban por medio del lenguaje, pero eran independientes de éste. Con el advenimiento del *giro lingüístico* se comenzó a considerar que el pensamiento dependía del lenguaje, porque éste determinaba las posibilidades de conocer la realidad.

Los autores de este trabajo consideran que las teorías matemáticas son formas expresivas o lenguajes de estructuras, que proporcionan las condiciones necesarias para pensar e indagar nuevos aspectos de la realidad. Así por ejemplo, Maxwell, Lord Kelvin, Planck, Einstein o Mandelbrot, concibieron realidades empíricas como interpretaciones de ciertas estructuras matemáticas. Por ese motivo sostienen que el desarrollo y transmisión de teorías científicas muy formalizadas depende de la estructura matemática que las funda y de las funciones comunicativas del lenguaje.

Este trabajo se ubica en una línea de investigación relacionada con la *concepción representacional* de la ciencia y se orienta determinar las condiciones que facilitan la comprensión de teorías muy formalizadas. El objetivo del mismo es señalar las características de los lenguajes formalizados y las funciones comunicativas necesarias para usarlos en ciencia y tecnología.

El lenguaje determina la comprensión de los objetos, en particular en ámbitos científicos muy formalizados como la Física, la Biomatemática o la Economía. Precisamente en esos ámbitos la matemática proporciona objetos que actúan como signos cuyo significado es provisto por el contexto específico de la disciplina que introduce una interpretación en ellos.

Entre las contribuciones de este trabajo, se señala que las teorías muy formalizadas son expeditas para resolver problemas, pero su sistema de significaciones es más complejo. La razón de ello se funda en que las teorías empíricas formalizadas están codificadas con objetos matemáticos. Eso establece interacciones entre los niveles sintácticos, semánticos y

pragmáticos, que no es automática. Por otra parte, se requiere la activación de ciertas las funciones comunicativas en los lenguajes formalizados para poder realizar los procesos de transferencia en ciencia.

Este artículo incluye primero una sinopsis diacrónica del proceso de la Ciencia Moderna en sus etapas inductiva y deductiva, con el propósito de justificar el rol del lenguaje y la aparición del giro lingüístico. Luego se caracterizan las teorías como lenguajes, en particular la matemática como forma expresiva para describir y comprender el comportamiento de los objetos empíricos. Luego se presentan diversas teorías comunicativas, los tipos de mensajes y las funciones comunicativas que cumplen, así como el modo como intervienen en las actividades científicas y tecnológicas. Finalmente se discute sobre posibles dificultades cuando se transmiten y usan teorías científicas muy formalizadas.

1. Sinopsis diacrónica de la etapa inductiva de la Ciencia Moderna

La ciencia utilizando descripciones reguladas por criterios de verdad para representar diversos aspectos de la realidad. La necesidad de ajustar esas descripciones a la realidad descrita ha generado la necesidad de disponer de un lenguaje instrumental para el conocimiento que evitara la vaguedad y la ambigüedad de las lenguas naturales. Ese es camino que han seguido la lógica y la matemática desde la antigüedad.

En el Renacimiento se fortaleció la idea de la unidad del espíritu humano y se reconoció el valor de la cultura, sobre la base de los elementos racionales que tienen todas las lenguas. En ese período inicia la aplicación de cálculos a cosas prácticas, pero Galileo se destacó en forma especial. Fue el primero en comprender los hechos observados estudiando unas pocas afecciones de los entes naturales. Él consideraba real al espacio descrito por la *geometría euclidiana*, asignándole un rol interpretativo que explicaba aspectos de la realidad que en apariencia eran caóticos. De esta manera su método para obtener conocimiento científico prometía que usando el lenguaje matemático la realidad se presentaría en forma nítida y sin secretos.

Al llegar el siglo XVII, ya se pensaba que la razón era igual para todos los hombres y además, todos los idiomas tenían la misma relación entre lenguaje y pensamiento. Esta idea impulsó la búsqueda de una *lengua racional universal*, que resolviera sin ambigüedades los interrogantes de la

ciencia y además, permitiera tratar afirmaciones, haciendo indiscutibles su significado y su validez (Muñiz Rodríguez, 1989; Valenzuela, 1978).

Hubo varios intentos tendientes a materializar ese ideal, con autores como Juan Becher; Pedro Bermudo; Atanasio Kircherlos; George Delgarno; John Wilkins; Antoine Arnauld y Claude Lancelot, con su *Gramática de Port-Royal*. Es muy posible que el *cálculo* de Newton también estuviera inscrito en ese programa de investigación. Conviene aclarar que en ese período sólo se disponía de la geometría griega, pero ésta no tenía capacidad expresiva para describir el movimiento. Luego, para salvar esa falencia se desarrolló del *cálculo infinitesimal*. Este último permitió representar el movimiento y otros fenómenos aún más recónditos y adquirió su fisonomía casi definitiva gracias a Leibniz y Newton.

Leibniz, en un tratado incompleto titulado '*Mathesis universalis*' (1695), intentó resolver las posibles conexiones entre álgebra, cálculo infinitesimal, y la *Characteristica Universalis*, un lenguaje universal, construido con símbolos matemáticos, para realizar deducciones. Se trata de una ideografía lógica que establece una correspondencia biunívoca entre signos e ideas, simples y compuestas, para demostrar verdades o verificar consecuencias en los razonamientos. Sin duda, un anticipo de la lógica simbólica actual (Becker, 1966; Kline, 2000). Un aspecto notable de todas estas construcciones es que asumían un dominio universal, para resolver todos los interrogantes.

Newton, igual que Galileo, creía que la matemática era el instrumento para investigar los fenómenos naturales. Naturalmente, con él formuló las leyes de *acción y reacción* y de la *gravitación universal*. Con la última unificó en una sola teoría fenómenos muy distintos: la caída de los cuerpos; el movimiento de los planetas alrededor del sol, de la luna alrededor de la tierra; las mareas con las posiciones de la Luna, por indicar algunos (Kline, 2000).

Las teorías encontradas, expresadas en el lenguaje del cálculo infinitesimal, llegan al siglo XVIII con notables éxitos en numerosos campos de investigación: música (Bernolli, D'Alambert, Euler, Lagrange, Fourier); mecánica de fluidos, llevada incluso al sistema sanguíneo (Bernolli, Euler); teoría del calor (Fourier); la predicción de Clairaut sobre el retorno del cometa Halley. Estos descubrimientos, parte de una lista más extensa, eran evidencias de que el universo obedecía a un plan basado en principios simples y eficaces. Además, se corroboraba la idea de que la matemática podía extraer una copia especular de éste (Kline, 2000). Si

bien se trata de la etapa inductiva, comienzan a aparecer consecuencias deductivas de las leyes descubiertas.

Naturalmente uno de los problemas filosóficos del siglo XVIII era determinar cómo era posible la ciencia matemática. En ese sentido, Kant distinguió dos aspectos de la capacidad de conocer, la *intuición sensible* y el *entendimiento*. La primera era condición necesaria para que la segunda pudiese pensar los objetos. La intuición tenía, como formas puras *a priori* de la sensibilidad, el espacio y el tiempo que coincidían con la geometría euclidiana. Dada esta correspondencia, la geometría y la aritmética no necesitaban de la observación empírica. Este punto de vista indicaba que la matemática no provenía del mundo físico sino de la mente humana (Becker, 1966; Kline, 2000).

2. Sinopsis diacrónica de la etapa deductiva de la Ciencia Moderna

En el siglo XIX se produjeron nuevos descubrimientos que contradecían la visión de los siglos anteriores, por ejemplo surgieron límites que no preveía el universo infinito newtoniano. En consecuencia, el camino inductivo iniciado por Galileo cedió su lugar a la vía deductiva. En ésta, investigando en el lenguaje matemático se descubrían objetos o procesos y luego, se corroboraba su existencia en la realidad. Así lo indican los ejemplos que se presentan a continuación.

El descubrimiento del cero absoluto, hecho por Lord Kelvin, introdujo un límite para las temperaturas. En otro ámbito Maxwell descubrió el electromagnetismo teóricamente, develando que la luz era una onda electromagnética. Años después, Hertz verificó su existencia en el laboratorio. Por cierto, las fuerzas electromagnéticas no seguían el comportamiento de las fuerzas mecánicas newtonianas ni tenían su dirección (Agazzi, 1978). Por otra parte, la Mecánica Relativista encontró el límite de la velocidad de la luz, mientras que la Mecánica Cuántica comprometió las nociones de continuidad de la materia y la energía.

En el siglo XIX, también aparecieron nuevos fenómenos no representables en términos aritméticos. Von Helmholtz sostenía que para que la aritmética fuera aplicable, los objetos no debían desaparecer, fundirse o unirse, así por ejemplo, una vaca en adición con otra son dos vacas, pero no ocurre lo mismo con las gotas de agua. Del mismo modo, si se superpone un sonido de 200 ciclos por segundo con otros 100 no se ob-

tiene uno de 300. La adición aritmética tampoco se mantiene cuando se mezclan agua y alcohol (Kline, 2000).

Con esas consideraciones, muchos científicos advirtieron que se podían ofrecer conjuntos de modelos conceptuales, que hicieran más comprensibles los fenómenos, en lugar de intentar representar el mundo fielmente. Es el caso de Faraday, Thomson, Lodge y Maxwell de la escuela denominada '*física de los modelos*'. Además fueron los fundadores de la teoría de campos. Hertz también adhirió a esa posición y en *Principios de la mecánica* (1876) sostuvo que la validez de las afirmaciones de la Física se circunscribía a sectores limitados de la naturaleza. Para él también, la Física sólo debía construir imágenes de los fenómenos en vez de elaborar un cuadro exhaustivo del mundo (Agazzi, 1978).

En el siglo XIX, Gauss, Lobachevski, Bolyai y Rieman intentaron, por separado, fundamentar mejor la geometría euclidiana y en ese esfuerzo descubrieron las geometrías no-euclidianas. El problema era que la geometría euclidiana se deducía de cinco postulados, de los cuales cuatro parecían correctos. Sin embargo, el quinto, llamado 'de las paralelas' no era demasiado evidente. En consecuencia se buscaba determinar si éste era independiente o no de los otros axiomas. Por cierto, se demostró que sí lo era. Es más, suprimiéndolo se obtenía un nuevo sistema coherente y así surgieron las nuevas geometrías. Gauss advirtió que éstas podían describir el espacio físico tan precisamente como la *geometría euclidiana*. También advirtió ésta no podía garantizar la verdad física sobre bases *a priori*, afectando en forma directa el punto de vista kantiano.

Para comprender la importancia de este descubrimiento, hay que tener en cuenta que las ciencias demostrativas, según la concepción aristotélica, descansaban en tres supuestos: *deducibilidad*, *evidencia* y *realidad*. El primero se apoyaba en el rigor y eficacia de los razonamientos deductivos, en particular el silogismo perfecto. El segundo garantizaba la deducción, partiendo de premisas verdaderas, evidentes en forma inmediata, más conocidas, anteriores y causa de la conclusión. En cuanto al tercero, para Aristóteles la palabra '*ciencia*' se refiere al estudio de la realidad.

Las *geometrías no-euclidianas* no eran evidentes para nada, en consecuencia afectaron el supuesto de *evidencia* de los axiomas, ligada por siglos a la *geometría clásica*. Pero también afectó al supuesto de *realidad*, porque ahora había más de un sistema verdadero que explicaba el diseño matemático de la naturaleza.

Por otra parte, Riemann integró las *geometrías no-euclídeas* a la matemática. Este autor consideraba que la geometría se constituía por conjuntos ordenados de números que se pueden combinar por reglas, difiriendo del sentido usual de ese momento. De este modo, al obviar los supuestos de *evidencia y realidad*, las ciencias demostrativas sólo retuvieron la *deducibilidad* (Boyer, 1999; Kline, 2000).

Con relación a las *geometrías no-euclidianas*, Einstein desarrolló su *teoría general de la relatividad* en 1915, asumiendo como espacio físico la geometría de Riemann. En esa época no se podía explicar una anomalía del movimiento del perihelio de Mercurio con la teoría newtoniana. Sin embargo, sí lo hacía la teoría de Einstein y con la tolerancia admitida por los astrónomos. De hecho, en 1919, Eddington observó cierto eclipse solar en las Islas Príncipe, África. Luego de fotografiar las estrellas ubicada alrededor del Sol, éstas aparecían un poco desplazadas. Así corroboró que su luz era curvada por el campo gravitatorio solar, de acuerdo con la predicción de la teoría de la relatividad general.

A partir de 1920 la *teoría general de la relatividad* se consideró más precisa que la newtoniana. Así puso en evidencia que una geometría *riemanniana* con curvatura *variable* representaba el espacio más adecuadamente que una *euclidianas*. Además, dejó asentado que la *teoría de la relatividad* describe la interacción entre la materia y el espacio con mucha aproximación. Este último se curva en las proximidades de masas gravitacionales muy grandes, como es el caso del sol. Se pudo advertir entonces que la geometría *euclidianas* consigue aproximaciones aceptables sólo cuando las distancias son pequeñas y los campos gravitacionales débiles (Gillies et al., 2005). Se advierte en consecuencia la influencia que tiene el lenguaje en la precisión de una descripción.

3. Lenguajes, teorías y giro lingüístico

Un *lenguaje*, en sentido lato, es un conjunto de símbolos y de reglas para su empleo: Por ejemplo, las diferentes ramas de la matemática, las teorías físicas, los programas de computadoras, ciertos juegos, por indicar algunos de una larga lista. Todos ellos conservan algunas propiedades de los lenguajes naturales y otras se omiten expresamente, de acuerdo con los propósitos buscados, que pueden ser de operación, de significación o ambos a la vez.

Battistella (1972) sostiene que un *lenguaje* es un tripo ordenado formado por: un *alfabeto* o conjunto de *signos*; una *gramática* o conjunto de reglas; y un conjunto reglas de *significado*. La *gramática* a su vez tiene *reglas de formación* para reconocer si una oración pertenece o no al lenguaje; y tiene también un conjunto de *reglas de transformación* que permiten elaborar nuevas oraciones partiendo de otras que ya existen en el mismo lenguaje. El *significado* puede quedar en suspenso en ciertos lenguajes, por ejemplo en la lógica simbólica o el cálculo infinitesimal, por razones que serán explicadas aquí, en breve.

De acuerdo con el punto de vista de Agazzi (1978), las teorías científicas son *lenguajes* orientados a describir el conocimiento de ciertos ámbitos de la realidad. Con ese propósito usan expresiones precisas para designar los objetos, sus propiedades y las relaciones que se establecen entre ellos. Con esos elementos se realizan descripciones sobre los estados del ámbito, generalmente expresadas en fórmulas matemáticas. Cabe agregar estas últimas suelen ir acompañadas de textos, planos, gráficos y diagramas de distinto tipo. Estas representaciones cumplen el rol de paratextos, que tienen cierta similitud con los gestos y la postura corporal cuando la comunicación se realiza en lenguaje natural.

La *Semiótica* es la teoría que se ocupa de los problemas de representación, estudiando las condiciones para que un signo signifique algo para alguien, en virtud de ciertas convenciones. De este modo, hechos, conocimientos, actitudes, incluso sentimientos, se pueden comunicar a otros con signos regulados por un acuerdo entre personas (Bunge, 2004; Walther, 1994).

Morris desarrolló un sistema que distingue tres tipos de relaciones entre signos: 1) las formales, que vinculan los distintos signos entre sí llamada '*sintaxis*'; 2) las de asignación de los signos para nombrar objetos o *semántica* y 3) las de uso de los signos, denominada '*pragmática*'. Se dice que un lenguaje es *completo* cuando intervienen los tres tipos de relaciones: *sintaxis*, *semántica* y *pragmática*. Además, conviene señalar, que sólo la *sintaxis* puede tener existencia independiente, en cambio las otras dos no y requieren siempre de ésta (Morris, 1994; De Lío de Brizzo et al., 1968).

La *sintaxis* contiene las formas y estructuras expresivas que constituyen el lenguaje con relaciones internas solamente. En éste el *significado* de objetos y relaciones queda en suspenso mientras no reciba una interpretación, como en el cálculo infinitesimal. Cuando el lenguaje se interpreta

recibe una *semántica* y queda vinculado con alguna realidad, como ocurre con el electromagnetismo. Y cuando se lo utiliza para hacer algo en esa realidad, surge la *pragmática*, el uso del lenguaje para hacer algo, por ejemplo el diseño de transformadores o líneas de alta tensión, para el caso del electromagnetismo.

Resulta oportuno mencionar que Moulines (1982) sostiene que las teorías empíricas son objetos *semióticos*, porque explican *algo* distinto de ellas mismas y además, alguien las usa para explicar ese *algo*. Cada teoría tiene: a) una estructura matemática, llamada '*núcleo*'; b) descripciones de ciertos aspectos de la realidad, hechas con las fórmulas del núcleo, denominados '*modelos*'; y c) una comunidad que utiliza la teoría con ciertos propósitos, los *usuarios de la teoría*, por ejemplo, los ingenieros que usan teorías científicas y tecnológicas. Las primeras las utilizan para comprender la realidad, las segundas para transformarla.

Hechas esas consideraciones, conviene señalar que a partir de la segunda mitad del siglo XIX, las disciplinas se agruparon dentro de sistemas más generales y los razonamientos matemáticos comenzaron a justificarse en forma lógica. Frege (1848-1925) sostenía que muchos errores de razonamiento se cometían por confusiones conceptuales no reconocidas. Para evitar ese problema concibió la *Conceptografía* (1879), un lenguaje para representar contenidos de pensamiento, en forma simbólica y sólo desde el punto de vista lógico, que luego originó la *lógica simbólica* actual. Además, escribió *Los fundamentos de la aritmética* (1884) y entre ambas publicaciones, desarrolló los conceptos lógicos de *función*, *concepto* y *objeto* y los semánticos de *sentido* y *referencia* (Stefanians, 2007).

En *Los Fundamentos*, Frege (1972) negó que los números fueran objetos físicos o de la intuición, en el sentido propuesto por Kant. En consecuencia, si los números no eran ni representaciones ni intuiciones, entonces cuál era su origen. Así advirtió que "Sólo en el contexto de una proposición significan algo las palabras" (§62). Con esta afirmación dejó sentado que hay que aclarar el sentido de una proposición en la que aparece un término numérico. De esta manera, lo que era un problema de conocimiento Frege lo transformó en uno sobre el lenguaje, iniciando lo que después se llamaría '*giro lingüístico*'.

Dicho de otro modo, el lenguaje era considerado un medio para comunicar pensamientos, que no influía sobre estos. El *giro lingüístico* cambió esa visión y actualmente se considera que el lenguaje determina el pensamiento. Así ocurre en el problema de la anomalía del movimiento

del perihelio de Mercurio, que es explicado por la teoría de la relatividad y no por la newtoniana. Wittgenstein sintetizó el problema del *giro lingüístico* en el § 5.6 del *Tractatus*: “Los límites de mi lenguaje significan los límites de mi mundo”.

Cabe agregar que los trabajos de Hertz en Mecánica y los de Hilbert en Geometría también conmovieron los fundamentos de la matemática, modificando el método axiomático y la ciencia en general. Hilbert reelaboró el sistema euclidiano en su obra “Los fundamentos de la geometría” (1899) usando la lógica de su tiempo, para evitar la silogística de sujeto y predicado y eludir las reglas intuitivas de inferencia usadas por Euclides. Su método para axiomatizar introdujo dos grandes abstracciones. En la primera se desprendió del espacio, independizando al sistema del mundo real. En la segunda lo vació de contenido, permitiendo que las variables puedan interpretarse con cosas diversas. Luego cada interpretación que coincidía con el sistema constituía un *modelo*.

Una consecuencia de este método es que palabras como ‘*punto*’, ‘*recta*’, ‘*plano*’ no significan nada por sí mismas, quedan definidas, de manera implícita, sólo cuando los axiomas se combinan entre sí. De este modo puso de manifiesto la condición estructural de todo lenguaje y la arbitrariedad de los signos lingüísticos. Además, al excluir cualquier referencia directa, aseguró que el sistema dependiera sólo del ámbito de aplicación para ser verdadero o falso. Esa condición eliminó toda pretensión de disponer de dominios universales. Así una teoría pasó a ser un conjunto de axiomas que tiene modelos o no. (Agazzi, 1978; Boyer, 1999; Kline, 2000).

Para Hilbert el método axiomático, en *matemática y física*, conduce a las teorías abstractas, por este motivo, en su carta a Frege (29-12-1899), sostuvo que los teoremas de una *teoría electromagnética* también eran válidos para cada sistema de cosas que ocupara el lugar de ‘*electricidad*’, ‘*magnetismo*’ y otros términos para nombrar entidades, siempre que se satisficieran los correspondientes axiomas. Años más tarde, puso como ejemplos de una teoría axiomática abstracta a la *geometría euclidiana*, la *mecánica de Newton* y la *termodinámica de Clausius*. Además postuló la necesidad de probar la consistencia de las teorías abstractas de la Física mediante la indicación de modelos aritméticos de las mismas (Monsterín, 1984).

En definitiva, las teorías científicas pasaron a ser estructuras ideales, que se pueden aplicar a la realidad bajo ciertas condiciones. Naturalmente se trata de un camino que va de lo ideal a lo real, totalmente opuesto

a la vía inductiva propuesta por los iniciadores de la ciencia moderna. También se advirtió que la *matemática* era una creación intelectual del hombre, una forma de pensamiento axiomático que deduce conclusiones válidas a partir de premisas. Por ese motivo, ésta dejó de ser una *ciencia natural* y se constituyó en una *ciencia formal*. Después de ese proceso, la *matemática* ya no se ocuparía más de observaciones, experimentos o inducciones (Boyer, 1999; Bochenski, 1949).

Desde otra tradición, Ferdinand de Saussure (1857-1913), impulsor del estructuralismo, cuya obra póstuma *Curso de Lingüística General* (1916) es una compilación de apuntes de sus clases, hecha por dos de sus alumnos. Allí distinguió la *lengua del habla*, que es el uso individual de ésta, tópico por el que comenzó sus estudios. Por otra parte, el sistema de la *lengua* está formado por diferencias fónicas y de significado, que estructuran la percepción de la realidad con la convención del lenguaje. Saussure (1994) sostiene en su *primer principio* que el vínculo entre el significante y su significado es arbitrario. Mientras que en el *segundo* afirma el carácter lineal del significante, que por ser de naturaleza auditiva se produce durante su secuencia temporal.

Conviene señalar que Saussure planteó que el signo lingüístico relaciona un concepto con una representación que se activa por la señal acústica, rompiendo así con una vieja tradición que vinculaba cada cosa con un nombre. Además, los conceptos se definen con un sistema lingüístico y se deben nombrar para que existan. Si se acepta que el conocimiento no es posible sin conceptos, éste queda confinado a las posibilidades expresivas del lenguaje. Dicho de otro modo, si algo está fuera del lenguaje, no tiene nombre ni significado y por lo tanto no se puede concebir.

4. Teorías comunicativas y tipos de mensajes

Karl Bühler (1879-1963) fue uno de los primeros en formular las tres funciones básicas del lenguaje. Entre sus discípulos se destacan L. Wittgenstein, K. Popper, E. Gombrich y K. Lorenz. Para Bühler esas funciones son: 1) la *expresiva* o *emotiva*, que expresa lo subjetivo y caracteriza el estado psíquico y la actitud del emisor; 2) la *apelativa* o *conativa* o *estimulante* que se usa para influir al receptor con palabras, actitudes o conductas y lograr atraer su atención o impartirle órdenes o sugerencias; y 3) la *representativa* o *referencial* que se usa para transmitir información sobre estados de cosas. Para que esta última función comunique un emisor y un receptor, se requiere un sistema de signos que represente cosas o

ideas, por ejemplo enunciados científicos, razonamientos, conceptos abstractos, opiniones, fantasías. En sentido estricto, la función representativa es propia del lenguaje humano, dado que los sistemas de comunicación animal no la tienen (Marías, 1950; Popper, 1991).

Es pertinente destacar que Popper (1982; 1991; 1995) reconoció a Bühler como su maestro y adhirió a su doctrina agregándole una cuarta función, la *argumentativa*. Si bien admitió otras más, como las 'expresiones de desempeño' formuladas por Austin, él enfatizó esas cuatro. Popper clasificó las funciones comunicativas en: a) inferiores, *emotiva* y *conativa* y b) superiores, *descriptiva* y *argumentativa*. También sostuvo que todos fenómenos lingüísticos comparten las dos funciones inferiores, las que están siempre presentes cuando se utilizan las funciones superiores. Por ello estas últimas se pueden explicar usando las inferiores y por ese motivo ha sido difícil reconocerlas.

Por una parte, las funciones inferiores existen en cualquier lenguaje, humano o animal. En el primer nivel está la función *expresiva*, sintomática del estado interior de algún organismo o de instrumentos sencillos, como termómetros o semáforos. Así instrumentos, plantas, animales y personas expresan sus estados internos en su comportamiento, como una forma de autoexpresión. En un segundo nivel se encuentra la función de *señalización* o de *dar a conocer* que es obvia, envía señales y presupone la función expresiva. Pero, para que esta función se ejecute requiere de alguna entidad que interprete su emisión como una señal y suscite en ella una respuesta. Los instrumentos como el termómetro o el semáforo adquieren el carácter de tales sólo cuando sus señales son interpretadas por alguien. Las aves emiten señales de peligro, que ellas mismas interpretan y también otros animales, motivando una respuesta. En actividades profesionales la función *conativa* tiene aplicaciones específicas en manuales técnicos, instructivos o normativas que describen procedimientos para el usar instrumentos, productos o realizar actividades.

Por otra parte, las funciones superiores del lenguaje, *descriptiva* y *argumentativa*, son características del lenguaje humano. La *descriptiva* se relaciona con referentes exteriores del acto comunicativo. En ella predominan los sustantivos y verbos; es la más común en textos informativos, científicos y periodísticos, porque permite transmitir conocimientos, conceptos e información objetiva. En cambio una argumentación consiste en proporcionar las razones para sostener cierta posición, por ejemplo, señalando las dificultades o contradicciones de una posición distinta. La función *argumentativa*, presupone la *descriptiva* y desempeña un rol muy

importante en la metodología del *racionalismo crítico* y en la constitución del *mundo 3*. Esto se debe a que los argumentos se ocupan de las descripciones considerando su contenido y las ideas reguladoras de verdad y verosimilitud. Los lenguajes descriptivos y escritos contribuyen a la emergencia de ese *mundo 3*, donde se desarrollan los problemas y las críticas racionales.

Es oportuno indicar que Popper (1982) clasifica el mundo en tres categorías: *mundo 1*, de los objetos físicos; *mundo 2*, de las disposiciones, expectativas y procesos mentales y *mundo 3*, de los contenidos objetivos de pensamiento científico, artístico o de otra índole, que se encuentra en el contenido de libros, bibliotecas, museos, computadoras y repositorios digitales. Este último es autónomo y tiene el potencial para hacer descubrimientos teóricos, por la existencia de relaciones lógicas implícitas en él, de la misma manera que en el *mundo 1* se hacen descubrimientos geográficos o se encuentran nuevas especies de plantas o animales.

Popper admite el conocimiento en dos sentidos, el subjetivo y el objetivo. El primero es un estado mental, una disposición para comportarse o para reaccionar. Mientras que el segundo consiste en problemas, teorías y argumentos, independientes de las creencias, las disposiciones para actuar o las pretensiones de conocimiento que tienen los sujetos. Se trata de un conocimiento objetivo sin sujeto cognoscente que está potencialmente disponible para ser conocido por alguien. Conviene agregar que la conciencia plena de sí mismo, que tienen los sujetos, así como el inicio y desarrollo del *mundo 3* se genera en el lenguaje humano. Por esa razón la mayor parte del conocimiento subjetivo, inherente al *mundo 2*, depende del contenido de los repositorios que tiene el *mundo 3*.

Dicho de otra manera, los problemas y relaciones entre objetos que se hacen conscientes en los procesos mentales ya existían en forma potencial en el mundo del conocimiento objetivo. Así, por ejemplo, la conjetura que dice “Todo número par mayor que 2 puede escribirse como suma de dos números primos” estaba potencialmente en el *mundo 3*, pero pasó al *mundo 2*, cuando Christian Goldbach la formuló en 1742. Se trata por lo general de relaciones posibles entre objetos creados por el hombre

En otro orden de cosas, a mediados del siglo XX, C. Shannon publicó *Una teoría matemática de la comunicación* (1948), obra que potenció el desarrollo de la telefonía, la microelectrónica y la informática. En esa publicación propuso un modelo de comunicación, donde una fuente de información emite un mensaje, un transmisor lo convierte en señal y

viaja por un canal, pero en su traslado puede ser interferida por algún ruido. Cuando la señal sale del canal llega a un receptor, que la convierte en mensaje nuevamente y pasa al destinatario. Además, la fuente es mensurable y no puede exceder la capacidad del canal. Se trata de un modelo aplicable al teléfono, la radio, la televisión, incluso el habla de la gente (Shannon, 1948). Con su teoría este autor facilitó la comprensión de la comunicación entre entidades sean estas máquinas, personas o sistemas formados por ambas.

Los mensajes emitidos por la fuente se rigen por un código, esto es un conjunto de signos y reglas que se combinan entre sí para formar los mensajes. Las lenguas naturales son códigos complejos, que dependen del contexto y pueden producir infinitos mensajes, al menos potencialmente. Conviene aclarar que *codificar* es convenir un acuerdo entre los usuarios que establece para cada signo la relación entre significante y significado. Cuanto más amplia y precisa es esa convención, más codificados están los signos. Por otra parte, cuando un mensaje se transforma en señal, surge un segundo código, que adecua el mensaje para su transmisión (Cortés Morató et al., 1996).

Los actos comunicativos de las actividades científico-tecnológicas se realizan por medio de disertaciones o de textos escritos, como proyectos, memorias de cálculo o artículos. Por cierto, la escritura es el canal preferido, de acuerdo con el modelo de Shannon, porque algunas descripciones, referidas a cierta realidad, se codifican en lenguaje matemático, que tiene un repertorio de significantes expresivos y operativos que el lenguaje natural no posee. Si bien no se ha alcanzado el ideal de la *lengua racional universal* de los racionalistas del siglo XVII, los resultados actuales son bastante sorprendentes.

Cabe agregar que Jakobson (1975) integró la teoría de Shannon con la Bühler, considerando seis factores constitutivos: emisor, receptor, contexto o ámbito referencial, mensaje, contacto y código. En su modelo comunicativo el factor al que se refiere el contenido del mensaje determina la función que cumple en el proceso del lenguaje. Jakobson propuso las mismas funciones de la teoría de Bühler, *emotiva*, *conativa* e *informativa*, pero le agregó otras tres: *fática*, *metalingüística* y *poética*.

La función *fática* o de contacto, está orientada a verificar la continuidad del vínculo entre emisor y receptor. Su contenido informativo sólo se emplea para establecer, prolongar o interrumpir una comunicación. Mientras que en la función *metalingüística* o *de traducción* el contenido

del mensaje se refiere al código. Ésta entra en juego cuando el emisor y el receptor buscan controlar que el código usado para comunicarse es el mismo para ambos. La misma se manifiesta cuando se agregan afirmaciones adicionales o aclaraciones en los mensajes intercambiados, también cuando se solicitan o se proporcionan definiciones o significados de ciertas palabras. Las fábulas, por ejemplo, comienzan con la locución '*Había una vez*'. Eso establece que se trata de un código de ficción que indica que la información presentada no tiene correspondencia con la realidad.

En cambio en la función *estética* o *poética* las formas expresivas codifican el mensaje. Se trata de una función orientada al mensaje mismo, que busca a producir un efecto en el destinatario, seleccionando las palabras o los signos sobre la base de equivalencias, semejanzas o diferencias. Generalmente está presente cuando se pretende crear belleza usando el lenguaje y por ese motivo es dominante en poesías, poemas, novelas, obras de teatro y canciones. También aparece en los refranes.

Jakobson (1985) sostiene que la poética estudia los problemas de la estructura verbal, del mismo modo que el análisis pictórico se interesa por la estructura de la pintura. Además, aclara que muchos rasgos poéticos son comunes a otros sistemas semióticos. Por ejemplo, la poesía reitera unidades equivalentes regularmente para provocar ciertos efectos en la fluidez lingüística. Lo mismo ocurre con los tiempos musicales, por citar otro modelo semiótico.

Si bien la función poética es dominante en la poesía y en los textos literarios, no se limita sólo a ese campo. Esta función está activa cuando la expresión atrae la atención por su forma para despertar emociones o reflexiones, por la musicalidad de las palabras. Se puede observar en el lenguaje cotidiano en: consignas publicitarias; juegos de palabras; lenguaje infantil o político. En efecto, Jakobson (1985) analiza el slogan '*I like Ike*' usado en Estados Unidos, durante la campaña presidencial de "Ike" Eisenhower y sostiene que es un ejemplo muy eficaz de función poética. Esto es así porque oír ese slogan en lengua inglesa llama la atención, por la rima interna y la notoria repetición del mismo fonema. Además, tiene eficacia expresiva por ser fácil de recordar.

En igual forma, el *haiku*, un género poético de origen japonés, se basa en el asombro y el éxtasis del poeta al contemplar la naturaleza. Por su inmediatez y simplicidad fue, durante siglos, una forma de poesía popular difundida en todas las clases sociales japonesas. Se compone de tres versos sin rima de 5, 7 y 5 sílabas. Su estructura consiste en contraponer

dos ideas o imágenes mediante un término separador (*kireji*). Un ejemplo adaptado es:

La mariposa (5)
nunca olvidará que (7)
fue un gusano. (5)

Jakobson (1985) afirma que cuando la función poética prevalece sobre la función referencial, no excluye a la referencia, pero la vuelve ambigua. Eso ocurre porque el lenguaje poético es implícito, mientras que el lenguaje científico busca ser explícito. Además, las expresiones poéticas permiten desarrollar una multitud de significaciones, contrariamente a lo que ocurre con las expresiones científicas que tienen una sola.

Conviene observar que la función poética está regulada por una estructura previa, formada por reglas. Como ya se indicó, es un rasgo compartido con otros sistemas semióticos y en particular con la matemática. En ese sentido el matemático David Eugene Smith (1860-1944), en su obra *La poesía de la matemática y otros ensayos* (1934), sostenía que a la matemática se la considera en las antípodas de la poesía, sin embargo ambas están estrechamente relacionadas porque son producto de la imaginación. Y si la poesía era creación y ficción, la matemática era, para algunos de sus admiradores, la más sublime de las ficciones (Lorusso, 2012).

En esa línea se encuentra también Sofía Kovalevskaya (1850-1891), matemática, escritora rusa y la primera mujer en obtener un doctorado y una cátedra universitaria en Europa. A ella se le atribuye el siguiente texto: “Es imposible ser matemático sin tener alma de poeta. El poeta debe ser capaz de ver lo que los demás no ven, debe ver más profundamente que otras personas. Y el matemático debe hacer lo mismo”.

De acuerdo con el criterio de los autores de este trabajo, en el lenguaje científico y tecnológico la matemática desempeña la función referencial porque el mensaje se orienta al contenido. Sin embargo advierten que también desempeña ciertos roles que son propios de la función poética. Si la Matemática es entendida en el sentido de Bourbaki, como ciencia de las estructuras, se ubica en el nivel sintáctico. En consecuencia las estructuras establecen como debe presentarse el mensaje. Esta condición es anterior a la determinación del contenido de la función referencial que luego desempeñará. Complementariamente, cuando la descripción va acompañada de gráficos cartesianos, tablas, diagramas o grafos. Allí, los

referentes y las relaciones entre ellos son mostrados usando otros sistemas de representación. De esta manera, llaman la atención con su forma, de otros aspectos o propiedades de los mismos.

Anteriormente se indicó que Hilbert, luego de axiomatizar la geometría euclidiana, concluyó que en una teoría, el significado de las palabras no residía en ellas mismas, sino que quedaba definido estructuralmente por la combinación de los axiomas (Corry, 2002). Por esa razón, los nombres de objetos de diferentes teorías empíricas, pueden satisfacer la misma estructura matemática y ésta es una característica de la codificación *poética*.

La razón de que la matemática consiga expresar contenidos empíricos muy diversos reside en el hecho de que cada estructura matemática es un significante abierto a múltiples significaciones. Por ejemplo, una misma estructura sintáctica puede servir tanto en mecánica, en electromagnetismo como en termodinámica. El lenguaje matemático se vuelve unívoco, sólo cuando está interpretado, es decir, se lo ha provisto de una semántica. Caso contrario son significantes abiertos a distintos significados. Esa es una propiedad poética que le confiere eficacia expresiva a la matemática, que a la vez facilita la economía de pensamiento.

Hay que tener en cuenta que cuando se usan teorías científicas o tecnológicas muy formalizadas, la función referencial depende de ese rol poético para su implementación. Esto quiere decir que la matemática provee *a priori* las formas expresivas que codifican poéticamente la escritura de las descripciones utilizadas. Adicionalmente, estas últimas suelen requerir también de la función metalingüística, que las traduzca al lenguaje natural en el que se están dando las explicaciones.

Por otra parte, cuando se analiza o se critica el contenido de las descripciones científicas surge la función argumentativa. Pero la forma y la secuencia de presentar esos argumentos depende del género académico-científico seleccionado, que puede ser: un artículo de revista, una ponencia en un congreso, un resumen, un póster científico, una reseña, una conferencia, un manual universitario, una tesina de licenciatura, una tesis doctoral, un informe de investigación, entre otros géneros disponibles. Las secuencias informativas de la argumentación de cada género están reguladas por una estructura preestablecida, manifestando así la función poética y también la metalingüística.

Discusión y conclusiones

El problema del lenguaje ha sido una constante en la actividad científica desde la antigüedad. En el caso de la ciencia moderna ocupa un rol central en sus etapas inductiva y deductiva. En la primera se destaca la búsqueda de una *lengua racional*, con un dominio universal, que fue un motor que impulsó importantes desarrollos en matemática y lógica. Si bien fue un programa que fracasó, preparó muchas de las condiciones para que surgieran las contribuciones de la etapa deductiva. Durante esta etapa se pensaba que tanto la *geometría euclidiana* como el *cálculo* reflejaban la realidad y por ello se consideraba que tenían contenido empírico. Hasta mediados del siglo XIX se aceptó que la idea de un universo concebido matemáticamente y por esa razón se creía que había una relación de isomorfismo entre matemática y la realidad.

La etapa deductiva surgió de ciertos desarrollos que hicieron dudar de punto de vista anterior. En consecuencia se produjo una crisis que afectó tanto a la matemática como a la física. La búsqueda de fundamentos generó una matemática sin compromisos con la realidad. Sin embargo, si se efectúan las interpretaciones adecuadas es más potente para penetrar en ella, que la concepción anterior. También se abandonaron las pretensiones de tener lenguajes con dominios universales. Por ese motivo, actualmente coexisten muchos sistemas teóricos, que cubren porciones de realidad con sus modelos, pero no de manera isomorfa.

Otro aspecto de la etapa deductiva fue la aparición del *giro lingüístico* que cambió la relación entre lenguaje, pensamiento y realidad. Sin duda el *giro* exaltó la importancia del lenguaje, que determina lo que se piensa. Es más, lo que se ubica fuera de él no puede ser pensado. Esto es particularmente cierto en disciplinas muy formalizadas como la Física. Así, pensar un sistema de fuerzas con su resultante sin el recurso expresivo de los vectores difícilmente sea posible. Lo mismo ocurre con la velocidad instantánea y la derivada, o una red de transporte o de distribución y los grafos.

Similares afirmaciones se pueden hacer respecto de las series de Mandelbrot, los fractales y la teoría del caos, que han tenido gran relevancia en casi todas las ciencias. En biología se encuentran estructuras fractales en redes neuronales o en la disposición de glándulas. En ingeniería la teoría del caos permite enfrentar los problemas de propagación de fracturas de materiales y averías de máquinas, o en economía describir el comportamiento de la bolsa de valores. En general estas nuevas teorías matemá-

ticas, como sistemas lingüísticos, permiten representar la evolución los denominados '*sistemas dinámicos*'.

Sin duda que los desarrollos de la lógica y la matemática, así como los de la lingüística, han fortalecido los estudios de los lenguajes artificiales y naturales. Estos no sólo han expandido importante áreas del conocimiento, también han permitido conocer mejor los fenómenos de comunicación, entre entidades, sean esta personas, máquinas o sistemas formados por ambas. En ese sentido la teoría de Jakobson ofrece un modelo comunicativo que permite enfrentar bastante bien las dificultades comunicativas en la trasmisión y uso de teorías muy formalizadas, como las que existen en Ingeniería o en Economía. Si bien existen otros modelos comunicativos funcionales, a los fines de este trabajo se ha evaluado que éste tiene suficiente capacidad explicativa.

Los autores advierten que cuando se transmiten o usan teorías muy formalizadas pueden presentarse dificultades comunicativas. Eso ocurre cuando no hay coincidencia entre los códigos que disponen emisor y receptor, lo que conduce al problema de la competencia en el uso de teorías y lenguajes formalizados. Ese problema puede ser atenuado por un lado con la función poética, agregando gráficos o diagramas que presenten otra perspectiva de la descripción. Por otro lado la función metalingüística también puede contribuir si se colocan definiciones y explicaciones pertinentes sobre la descripción.

Otra fuente de dificultades se puede presentar con la oposición entre el lenguaje natural y el formalizado. En el primero predomina la oralidad, que transcurre en el tiempo y por eso es lineal, aunque se lo escriba. En cambio el segundo es escrito y los signos marcan sus diferencias de significación a través de distribuciones bidimensionales, porque ocurren en el espacio plano. El paso del sistema formalizado al sistema natural implica convertir esa distribución espacial de los signos matemáticos en una secuencia lineal de lectura. Esa operación requiere dominar la codificación y decodificación entre ambos sistemas con fluidez. Dicho brevemente, codificar las ideas en lenguaje formalizado o decodificarlas generalmente suele ser una fuente de dificultad, cuando se presentan de ese modo.

En relación con lo expresado hay que tener en cuenta que las estructuras matemáticas tienen formas expresivas que sobrepasan ampliamente el modelo proposicional de sujeto y predicado. Por ese motivo la traducción de un lenguaje formalizado al lenguaje natural no es automática. Por un lado está la diferencia, ya señalada, en el modo de codificar los

signos lingüísticos del lenguaje natural y el formalizado. Por otro lado, el lenguaje se encuentra segmentado en los niveles sintáctico, semántico y pragmático. En ellos, los objetos del nivel inferior se convierten en signos del nivel siguiente, lo que implica un esfuerzo adicional cada vez que se cambia el nivel.

Los autores sugieren que esta investigación se podría extender hacia el problema de la competencia comunicativa en discursos académico-científicos que utilizan lenguajes formalizados. Entienden que existen modelos de funciones comunicativas, posteriores a los presentados que amplían los factores a tener en cuenta, como los de Hymes, Gumperz o Fishman, por indicar algunos.

Los autores consideran que aceptar que las teorías científicas y tecnológicas son lenguajes, y que sus modelos son objetos semióticos, tiene ciertos beneficios. Por lo pronto se podrían aprovechar los avances de la lingüística contemporánea para estudiar los actos comunicativos científicos y técnicos entre profesionales, entre ellos y las máquinas que utilizan, y con las personas de menor formación. Además vislumbran posibilidades para aplicaciones informáticas o para desarrollar metodologías educativas en ámbitos muy formalizados.

Referencias

- AGAZZI, Evandro (1978). *Temas y problemas de filosofía de la física*. Barcelona: Herder.
- BECKER, Oskar. (1966). *Magnitudes y Límites del Pensamiento Matemático*. Madrid, Rialp.
- BATTISTELLA, Ernesto. *Introducción a la Lógica Simbólica*. Caracas, Universidad del Zulia, 1973
- BOCHENSKI, J. (1949). *La filosofía actual*, Fondo de Cultura Económica, México.
- BOYER, C. (1999) *Historia de la Matemática*, Alianza: Madrid.
- Bunge, Mario. (2004) *Emergencia y convergencia*. Buenos Aires: Indugnaf, 2004.
- CORRY, Leo. (2002). "David Hilbert y su Filosofía Empiricista de la Geometría." (27-43). En: *Boletín de la Asociación Matemática Venezolana*, Vol. IX, No. 1, 2002.

-
- CORTÉS Morató, Jordi y Martínez Riu, Antoni (1996). *Diccionario de filosofía* en CD-ROM. Barcelona: Herder.
- DE SAUSSURE, Ferdinand. (1994). *Curso de lingüística general*. Barcelona: Planeta – Agostini.
- DE LÍO DE BRIZZO Rosa, Roberto Podestá, Hermes Puyau. (1968). *Prolegómenos a la Lógica Simbólica*. Buenos Aires: Macchi.
- FREGE, Gottlob. (1972). *Conceptografía. Los Fundamentos de la Aritmética. Otros Estudios Filosóficos*. México: Universidad Autónoma de México.
- GILLIES, Donald y Giorello, Giulio. (2005). *La filosofía della scienza nel XX secolo*. 6ta. Ed. San Donato Milanese: Laterza.
- JAKOBSON, Roman (1975). *Ensayos de lingüística general*. Barcelona: Seix Barral.
- JAKOBSON, Roman (1985). *Lingüística y Poética*. Madrid: Cátedra.
- KLINE, M. (2000). *Matemáticas. La pérdida de la Certidumbre*. 5ª Ed. México: Siglo XXI.
- LORUSSO, Fabrizio. (2012). “Matemáticas y poesía”. En *La Jornada*, N° 992. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2012/11/04/sem-fabrizio.html> (Consulta 21/11/2014).
- MARÍAS, Julián. (1950). *Karl Bühler y la teoría del lenguaje*. Madrid: Fundación Juan March (Colección Ensayos). Disponible en <http://digital.march.es/ensayos/fedora/repository/ensayos:22/OBJ> (Consulta 21/06/2014).
- MONSTERÍN, Jesús. (1984). *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza.
- MORRIS, Charles. (1994). *Fundamentos de la teoría de los signos*. Barcelona: Paidós.
- MOULINES, C. Ulises. (1982). *Exploraciones Metacientíficas*. Madrid: Alianza Editorial.
- MUÑIZ RODRÍGUEZ, Vicente. (1989). *Introducción a la filosofía del lenguaje. Problemas ontológicos*. Barcelona: Anthropos

- POPPER, Karl. (1995). *Popper. Escritos Selectos*. Miller, David (Comp.). México D.F: Fondo de Cultura Económica., 1995.
- POPPER, Karl (1991). *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Paidós.
- POPPER, Karl. (1982) *Conocimiento Objetivo*. Madrid: Tecnos.
- SHANNON, Claude E. (1948). "A mathematical theory of communication". En *Bell System Technical Journal* N° 27, p. 7.
- STEPANIANS, Markus. (2007). *Gottlob Frege. Una introducción*. Trad. Juan Redmond. En Cuadernos de lógica, epistemología y lenguaje. Vol.1. Londres: College Publications.
- VALENZUELA, Rodrigo. (1978). *Limitaciones Matemáticas de los Métodos de Computación*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- WALTHER, Elisabeth. (1994). *Teoría de los signos*. Santiago de Chile: Dolmen.
- WITTGENSTEIN, Lutwing. *Tractatus Logico-Philosophicu*. Santiago de Chile, Edición Electrónica de www.philosophia.cl /Escuela de Filosofía Universidad ARCIS. <http://www.philosophia.cl/biblioteca/wittgenstein.htm> (Consulta 06/09/2010).

El lenguaje de la Matemática: modelos para la enseñanza

Clarisa Noemí Berman¹ & Ana María Narvaez²

Resumen

El propósito de este trabajo es mostrar la importancia del uso de modelos para lograr la resignificación de contenidos; en particular, la noción de función en la cátedra de Análisis Matemático de una variable real en las carreras de ingeniería de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. Se tiene en cuenta la evolución histórica - epistemológica de la noción de función para identificar las variables que influyeron en el desarrollo de dicho concepto, y analizar las concepciones que manifiestan los alumnos en sus producciones. A partir de un análisis realizado, se pone en práctica una situación didáctica, que permite observar la brecha o distancia entre lo que se ha enseñado y lo que realmente ha aprendido el alumno. El método utilizado se adapta a la investigación - acción, propia de las situaciones de enseñanza y aprendizaje. Se trabaja con situaciones de la realidad, actuando sobre ellas, analizando sus limitaciones e interactuando con el concepto disciplinar a tratar. En esta etapa se ha podido corroborar la riqueza del uso de modelos como herramienta didáctica en la Matemática universitaria, ya que favorece la construcción del pensamiento matemático, afianzando su lenguaje y logrando que el estudiante, futuro ingeniero, se acerque a la correcta formulación de situaciones; en consecuencia, el alumno adquiere un significativo conocimiento que redundará en la calidad de su aprendizaje.

Palabras claves: modelización, modelación, didáctica de la matemática.

¹ Grupo IEMI, F. R. Mendoza, UTN

² Grupo IEMI, F. R. Mendoza, UTN; Facultad de Ingeniería, UNCuyo

Introducción

Como es bien conocido, existen tres elementos importantes en todo conocimiento, que a su vez están presente en la epistemología científica; son: el sujeto, el objeto de estudio y la temporalidad.

Como dice Chevallard (1991) en el aprendizaje, en particular el matemático, es necesario tener en cuenta el contexto social del sujeto, es decir, la institución, las autoridades, los programas de estudio y las carreras, entre otros. Pretender trabajar con una metodología desde el constructivismo puro por ejemplo, sería una pretensión idealista, ya que la carga horaria de la disciplina no lo permite y, además, el alumno que ingresa a nuestra universidad no está habituado a trabajar bajo las condiciones de esa metodología. El saber científico se transforma en saber a enseñar y en esta transposición didáctica, el docente es el nexo entre el alumno y el objeto de estudio. El profesor no sólo debe tener conocimiento del objeto a enseñar sino también debe partir de una hipótesis de aprendizaje, por lo tanto, debería plantearse preguntas como por ejemplo: ¿qué implicancia tiene mi forma de enseñar?, ¿qué obstáculos epistemológicos y didácticos debo tener en cuenta para que el estudiante alcance un conocimiento matemático adecuado? y en esta búsqueda para dar respuesta a los interrogantes, surge la necesidad de ver la realidad del aula.

De lo mencionado anteriormente, se desprende que la metodología debe ser apropiada respecto del objeto de estudio, la intencionalidad de su aprendizaje y del sujeto que aprende.

El uso de modelos matemáticos como estrategia de motivación en el estudio de nuevos contenidos o para iniciar al estudiante en la resolución de problemas favorece el proceso de enseñanza. De esta manera se puede lograr que el abordaje de los contenidos sea impartido en forma no aislada ni descontextualizada, favoreciendo el análisis reflexivo.

En este trabajo, el modelo es entendido como una herramienta valiosa para ayudar en la construcción del conocimiento.

Antecedentes

La construcción de modelos matemáticos sencillos en primer año de las carreras de ingenierías se relaciona con el objeto función de una variable real, contenido de Análisis Matemático I. Por lo tanto, su estudio es una variable relevante en este trabajo que se encuadra en la Didáctica

de la Matemática universitaria, considerada como una disciplina experimental

Teniendo en cuenta las preguntas ¿cuáles son los recursos más eficientes que permiten una mejor comprensión de un concepto matemático?; ¿es lo mismo comprender un concepto que usarlo?, se han buscado respuestas considerando las investigaciones de Brousseau (1983), Duval (1991), Rico (1997), Ruiz Higuera (1998) y Dubinsky (1991), entre otras.

Rico (1997, p.111) expresa que “El modelo ofrece al usuario, generalmente resolutor [sic] de un problema, un esquema que sustituye al concepto original y que por sus cualidades, está mejor adaptado al pensamiento humano que el original; esto facilita al resolutor su [sic] tarea”.

Para Villa (2007, p. 67), se llama simplemente modelo matemático, a un conjunto de símbolos y relaciones matemáticas que intentan explicar, predecir y solucionar algunos aspectos de un fenómeno o situación.

Según García et al. (2013), Villa establece una distinción entre modelización matemática y modelación matemática. Modelización es una actividad científica, en la que se involucra la construcción de un modelo matemático con el propósito de generar conocimiento.

La modelación es la construcción de significados de los objetos matemáticos. En este trabajo se utilizarán ambas.

Objetivos e Hipótesis

El objetivo del presente trabajo es construir aprendizajes de los contenidos de Análisis Matemático de una variable real mediante la utilización de modelos, dada su funcionalidad como recurso didáctico.

Son objetivos específicos, el desarrollo de competencias en el tratamiento del concepto de función mediante la modelización y la modelación.

Suponemos que los estudiantes que ingresan a nuestra universidad están habituados a:

- Trabajar con funciones como un objeto en sí mismo, sin otorgarle significación a los conceptos de dominio, imagen, ceros, crecimiento y acotación, entre otros.

- Una enseñanza en la que se favorece la conexión entre la fórmula y la representación gráfica; motivo por el cual la representación se convierte en un fin.
- Una enseñanza de conceptos aislados, es decir sin conexiones lógicas, lo que dificulta el aprendizaje.

Respecto de sus conocimientos, los estudiantes:

- Evidencian un buen manejo de los mismos cuando éstos son requeridos en ejercicios rutinarios, no en situaciones nuevas; lo que dificulta el trabajo de modelización.
- Muestran interés en la tarea que se les propone, sin embargo, se visualiza un bloqueo cuando frente a situaciones nuevas requieren para su solución de contenidos que han sido tratados en el nivel medio y en el curso preuniversitario.
- Poseen las herramientas necesarias para resolver situaciones nuevas pero no son conscientes de las mismas para utilizarlas en el planteo y solución.
- Presentan dificultades en la resolución de problemas sencillos que involucran geometría y cálculo.
- No participan activamente en su aprendizaje.

Análisis histórico epistemológico del concepto de función

En la evolución del concepto función a lo largo de la historia han aparecido obstáculos epistemológicos que influyeron en su desarrollo dando lugar a distintas concepciones del concepto.

Haciendo un breve recorrido histórico y epistemológico del concepto, pueden explicarse los motivos de ciertas dificultades que presentan los estudiantes en el proceso de modelación, encontrando una tendencia en la relación causa- efecto.

En la época de los babilónicos se utilizaban tablas de valores similares a las que actualmente usan los estudiantes para funciones, sin embargo no se puede asegurar que los babilónicos llegaron a una expresión formal de los resultados, existía una “intuición funcional”.

El hecho de que no se haya conservado ninguna formulación general de estas tablas no significa necesariamente que no existiera en el pensamiento antiguo prehelénico conciencia de la generalidad de dichas reglas o principios... (Boyer, 1986, p. 66).

Teniendo en cuenta que sus tabulaciones representaban relaciones principalmente astronómicas, imposibles de medir, las tablas podrían tomarse como una herramienta para conjeturar un modelo que mostraría regularidades empíricas. En la actualidad se observa que un alto porcentaje de estudiantes de primer año de las carreras de ingenierías presentan dificultades cuando deben realizar la conversión de una representación a otra. Identificar un mismo objeto matemático en distintos sistemas de representación semiótica aparece como un obstáculo en el aprendizaje. Es conocido el hecho que trabajar sólo con tabla de valores no asegura una interpretación acabada del concepto de función.

Los griegos aceptaban ideas como movimiento y variable, tenían una idea intuitiva de función, sin embargo, no se permitían asociarla con la matemática en la que números y magnitudes no se relacionaban. La matemática se consideraba estática y, por ende, externa a la física, se limitaba a expresar ecuaciones con incógnitas y no relaciones entre variables. De lo anterior se deduce que la asociación de un número con determinada magnitud, tan natural en la actualidad, no lo era en esa época.

Los pitagóricos sortearon de forma insuficiente el obstáculo citado anteriormente, pues relacionaban mediante razones numéricas, magnitudes semejantes. No aceptaban relacionar magnitudes diferentes, por ejemplo, perímetro con área o área con volumen. Adicionalmente, tenían las limitaciones derivadas del manejo del conjunto de números enteros (discreto), con magnitudes continuas usadas en física.

La misma dificultad registrada anteriormente, se observa en los estudiantes cuando deben expresar, por ejemplo, el área de un rectángulo en función de su perímetro o deben obtener una variable en función de otra a partir de magnitudes no semejantes.

En la Edad Media, se aceptaba todo lo que pudiese explicarse racionalmente, en especial los fenómenos dinámicos y no los estáticos.

Mientras Platón sostenía que las causas podían expresarse matemáticamente, Aristóteles no relacionaba la matemática (considerada como ciencia de carácter abstracto) con la física.

Oresme (1320 - 1382) introdujo de manera primitiva, lo que hoy constituye un registro gráfico de funciones, observándose aún la presencia del pensamiento griego, donde número y magnitud no se relacionaban. Sus representaciones eran cualitativas; representaba por medio de una figura la dependencia cualitativa de una determinada cualidad en relación con otra de la cual dependía.

En los siglos XV y XVI se produce un perfeccionamiento en el simbolismo algebraico, observándose una diferenciación entre los conceptos de variable e incógnita y, un avance importante en el concepto de función.

La identificación de cambios en fenómenos físicos, astronómicos y geométricos se asociaron a la cuantificación de variables.

Según Sierpinska (1989), el desarrollo de la notación simbólica y de la resolución de ecuaciones fue tan significativo que, por medio de él, se fue superando el obstáculo epistemológico de la diferenciación entre número y magnitud, aunque agregó el problema de pensar que sólo eran funciones aquellas que podían expresarse mediante fórmulas o ecuaciones.

A finales del siglo XIX y primeras décadas del siglo XX, la teoría de conjuntos se incorpora a la matemática, y el concepto de función es considerado como un conjunto de pares ordenados que deben cumplir las condiciones de existencia y unicidad.

Como se observa, la noción de función fue evolucionando a través del tiempo según distintas concepciones y, por ende, fue presentando distintos obstáculos cognitivos, siendo la tabla numérica de simple entrada, el elemento inicial relacionado con el concepto; posteriormente aparecen las representaciones gráficas y por último la expresión analítica.

En la actualidad, el concepto de función es una concepción integrada y refinada de la evolución del pensamiento humano. Ruiz Higuera (1998, p.112) dice que de acuerdo con los filósofos Gosseteste y Bacón las matemáticas son el principal instrumento para estudiar los fenómenos naturales. Por lo que el proceso de modelización permite reproducir en forma simplificada fenómenos complejos de la física, astronomía, ingenierías, entre otros, externos de la matemática pura.

En nuestros cursos de primer año el concepto de función se define mediante las condiciones de existencia y unicidad.

Marco Teórico

Las investigaciones utilizadas como antecedentes del presente trabajo, explican cómo se construyen los conceptos matemáticos teniendo como marco teórico la Teoría APOE (Acción, Proceso, Objeto, Esquema). Ed Dubinsky (1991) creador de la misma, parte de la hipótesis que los individuos no aprenden directamente los conceptos matemáticos, si tienen las estructuras apropiadas, aprender es fácil, si no las tienen, es casi imposible. Por lo mencionado, esta Teoría es la indicada para favorecer la construcción y conexión de los conceptos de estudio mediante modelización y modelación.

Metodología

Los procesos involucrados en la modelización, las competencias que se desean lograr en los estudiantes, el análisis comparativo de la evolución histórica del concepto de función con el quehacer del estudiante y las características principales de los mismos, son los ejes tenidos en cuenta para el diseño de la metodología.

Como es bien conocido, la movilidad y el tratamiento en los distintos registros de representación semiótica, favorecen la utilización del concepto como herramienta en la elaboración de un modelo matemático y, es allí donde el objeto de estudio adquiere sentido.

¿No son acaso las ciencias las que proveen de problemas a la matemática y por ende quienes la enriquecen?

Debido a las características de los estudiantes se comienza con modelos sencillos, en lo posible, se parte de datos obtenidos empíricamente y se trabaja, principalmente con funciones lineales, cuadráticas, de Heaviside y también las definidas por partes.

En otras palabras, la metodología se fundamenta en el hecho no de enseñar para aplicar sino aplicar para enseñar. Por lo que en función del concepto a construir, se selecciona una situación didáctica particular en la que el modelo es una herramienta para su tratamiento. Dicha metodología requiere de una participación activa del estudiante y del docente, quien tiene como tarea fundamental gestionar el aprendizaje en el alumno mediante la vinculación de contenidos con situaciones que despierten su interés.

Para favorecer el aprendizaje se tiene en cuenta que no es sólo importante mostrar donde está el error, sino que además se debe trabajar sobre él, permitiendo de esta manera ayudar a los alumnos a realizar las reestructuraciones mentales necesarias para aprender.

Rico (1992a, p. 9 -10) manifiesta que “Al cometer un error, el alumno expresa el carácter incompleto de su conocimiento”.

Para contestar el interrogante ¿es suficiente tener determinados conocimientos matemáticos para resolver situaciones nuevas?, se inicia la actividad didáctica con dos situaciones que requieren del mismo concepto para su resolución: la función cuadrática. En primera instancia la situación es un ejercicio rutinario y en segunda instancia, es una situación contextualizada que requiere de la construcción de un modelo.

Experiencia áulica

El trabajo que se viene realizando hace tres años en cuatro cursos de primer año de distintas ingenierías de la Facultad Regional Mendoza, consiste en que los estudiantes resuelvan las siguientes situaciones, entre otras actividades.

Actividad 1

Realizar un análisis de la función $f(x) = 7x - x^2$ indicando dominio, imagen, ceros, cotas, intervalos de crecimiento y positividad, máximos y mínimos. Graficar aproximadamente la función indicando coordenadas del vértice.

Se ha notado que la mayoría de los estudiantes no presentan dificultades en esta actividad trabajando en el conjunto de números reales.

Posteriormente, se solicita que resuelvan como tarea extraclase el siguiente problema.

Actividad 2

Se desea delimitar una zona de seguridad rectangular para lo que se dispone de 14 metros de cinta. ¿Qué modelo matemático representa adecuadamente el área en función de un lado de la zona?

Utilice el modelo encontrado para calcular el área máxima en función del lado.

En el control de esta actividad, se ha observado que sólo un alumno la resolvió satisfactoriamente.

Las explicaciones orales más relevantes de los estudiantes, fueron:

- utilicé tablas de valores colocando valores enteros,
- resolví la ecuación cuadrática,
- no sabía por dónde empezar,
- no intenté resolverlo y
- si dispongo de 14 metros, no puedo tener distinta superficie.

En la institucionalización, al esquematizar la situación, se corrobora geométricamente la posibilidad de que exista perímetro constante y área variable. Luego se analiza el enunciado para diseñar el modelo matemático, se obtiene la misma expresión cuadrática de la actividad 1, que permite solucionar este problema. Se solicita a los estudiantes que vuelvan al ejercicio inicial lo que les permite reconocer la equivalencia entre la expresión algebraica de la función obtenida y la trabajada exitosamente en la actividad 1.

Con el objetivo de mostrar que una función no es una fórmula, se pide que determinen el dominio del modelo y se analiza que las funciones no son las mismas dadas las restricciones del contexto donde se está trabajando.

Si bien se trabaja con el gráfico de la actividad 1, se realiza un análisis cualitativo de dicha curva en la actividad 2, indicando la ubicación de las variables en el sistema cartesiano, lo que permite encontrar la respuesta sobre la cuantificación del área máxima.

Discusión

Se observa que los pasos utilizados en el tratamiento del problema se corresponden, justamente, con los procesos involucrados en la modelación: pensar, razonar, asociar, calcular, relacionar, analizar, articular y formalizar.

Esta experiencia áulica permite un aprestamiento en el uso de la modelación como herramienta.

Se observó que la resolución correcta de la actividad 1 no permitió la concreción de la actividad 2. Por lo tanto, se reafirma el propósito de dar las dos situaciones para que el estudiante reflexione sobre la no funcionalidad de lo estudiado, si dichos conceptos no están disponibles cuando se los requiere.

Como ya se ha corroborado en otras investigaciones didácticas, se observa que no alcanza el conocimiento del concepto función para resolver situaciones nuevas que contengan dicho concepto.

Conclusiones

Las hipótesis planteadas han sido corroboradas, pues se puede concluir que los estudiantes al abordar la actividad 2 habían alcanzado el concepto función a nivel acción según la teoría APOE. Si bien el concepto había sido desarrollado en el nivel secundario y en el curso preuniversitario, la metodología empleada había sido la llamada “tradicional”, en el sentido de Alvarenga. Entiéndase por enseñanza tradicional a un sistema que no se fundamenta en una investigación científica en educación matemática y que en general, no ha logrado avances en el aprendizaje de los conceptos matemáticos. (Alvarenga, 2003, p. 2).

Se deduce que la evolución histórica y epistemológica del concepto función está íntimamente relacionada con las dificultades que se presentan en el tratamiento del tema.

Es importante abordar los contenidos partiendo de la modelización para que el estudiante logre la modelación de los temas involucrados.

Se reafirma la relevancia del tratamiento didáctico de la función cuadrática en las etapas de escolaridad anteriores a la universitaria.

Para achicar la brecha en la conversión de registros es importante reconocer que el objeto matemático es distinto de su representación (un mismo objeto puede expresarse en distintos registros), como indica Duval (1991).

El uso de modelos favorece el desarrollo de competencias tales como: interés, voluntad, habilidad, disposición, uso correcto del lenguaje y formalización.

Se destaca la necesidad de contextualizar los problemas mediante la utilización de modelos funcionales acordes a las características de los estudiantes (por ejemplo, conocimientos previos y perfil de la carrera). La riqueza de estos modelos en la currícula de las ingenierías permite un amplio y variado diseño de situaciones didácticas.

Reflexiones Finales

Se espera preparar material didáctico que permita dar tratamiento a los contenidos de la asignatura, con actividades que incluyan modelos específicos de las distintas carreras de Ingeniería de la FRM, UTN para estudiantes de primer año.

Bibliografía

- BARBOSA ALVARENGA, K. (2003) La enseñanza de inecuaciones desde el punto de vista de la teoría APOE. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa* 6(3), 199- 219.
- BOYER, C. (1986). *Historia de las Matemáticas*. Alianza Universidad. Madrid. Edición original.
- BROUSSEAU, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en Mathématiques. *Recherches en didactique des Mathématiques*.
- CHEVALLARD, Y. (1991) *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée Sauvage.
- DUBINSKY, E. (1991). The Constructive Aspects of Reflective Abstraction in Advanced Mathematics, en L. P. Steffe (ed.), *Epistemological Foundation of Mathematical Experience*. Nueva York: Springer-Verlag.
- DUVAL, R. (1991). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Universidad del Valle. Instituto de Educación y Pedagogía, Grupo de Educación Matemática. Meter Lang S.A. Editions scientifiques européennes.

- GARCÍA QUIROGA B., Coronado A., Montealegre Quintana L., Giraldo Ospina A., Tovar Piza B., Morales Parra S., Cortés Joven D. (2013). *Competencias matemáticas y actividad matemática de aprendizaje*. Blog del núcleo de investigación en educación matemática. Universidad de la Amazonia Florencia. Colombia. Fecha de consulta 28/03/14. Disponible en: <http://niemupelmaracay.blogspot.com/>
- RICO, L. (coord.), Castro Encarnación, Castro Enrique, Coriat E. Marín A., Puig L., Sierra M., Socas M. (1997). *La educación matemática en la enseñanza secundaria*. Cuadernos de formación de profesorado. Red Federal de Formación Docente. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación
- RICO, L. (1992a.) *Investigación sobre errores de aprendizaje en Educación Matemática*. Departamento de Didáctica de la matemática. Universidad de Granada.
- RUIZ HIGUERAS, L. (1998). *La noción de función: Análisis epistemológico y didáctico*. Universidad de Jaén, Servicio de Publicaciones.
- SIERPINSKA, A. (1989). *On 15-17 years old students' conceptions of functions, iteration of functions and attractive points*. Warsaw, Poland: Institute of Mathematics, Polish Academy of Sciences, preprint, 454.
- VILLA, J. A. (2007) *La modelación como proceso en el aula de matemáticas*. Un nuevo marco de referencia y un ejemplo. *Tecnológicas*, p. 63-85, 2012. Fecha de consulta 29/03/14. Disponible en: <http://funes.uniandes.edu.co/959/>

El lenguaje relacionado con el aprendizaje del concepto de base de un espacio vectorial utilizando textos. Una mirada desde la teoría APOE

Susana Andía¹ & Liliana Repetto²

Resumen

Para los docentes de un primer curso de Álgebra Lineal, siempre es preocupante llegar al instante del programa donde se aborda el concepto de Espacio Vectorial. Sabemos que nos enfrentamos a un gran problema para el aprendizaje de los estudiantes: ellos, en general, no alcanzan a comprender qué es un Espacio Vectorial. Si bien algunos estudiantes pueden determinar si un conjunto de vectores tiene esta estructura, la mayoría realiza un trabajo meramente mecánico, sin lograr una abstracción reflexiva sobre lo que están efectuando.

Teniendo como marco teórico la Teoría APOE (Acción, Proceso, Objeto, Esquema) y a partir de la Descomposición Genética propuesta en su Tesis de Maestría por Darly Ku, se analiza el lenguaje de **algunos de los textos propuestos para la enseñanza** del Álgebra Lineal en el nivel superior. El objeto es evaluar si permiten que el estudiante realice las construcciones mentales necesarias para aprender el concepto de Base de un Espacio Vectorial. Es fundamental la observación de la manera en que aparecen los conceptos previos involucrados con la noción de Base, la ejemplificación utilizada, determinando si hay coherencia entre los contenidos y las actividades propuestas para el estudiante.

Palabras claves: lenguaje, Teoría APOE, Descomposición Genética, enseñanza, aprendizaje formal, empírico.

¹ Licenciada en Matemática; Prof Adjunta de Álgebra y Geometría Analítica de Facultad Regional Mendoza, UTN. susana_andia@yahoo.com.ar

² Magister en Didáctica de las Ciencias; Prof Adjunta de Álgebra y Geometría Analítica de Facultad Regional Mendoza, UTN. lilirepetto@hotmail.com

El lenguaje requerido en el área de la Matemática, especialmente en el Álgebra Lineal, es muy complicado para el entendimiento de los estudiantes, cualquiera sea su formación anterior. Es por esto, que es muy importante, como se abordan los conceptos que involucra el Álgebra en los textos recomendados para los estudiantes, requiriendo una investigación exhaustiva de la presentación que cada autor realiza.

Fundamentado por los trabajos de diferentes investigadores, se propone en este trabajo realizar un análisis del lenguaje de algunos textos de Álgebra Lineal sugeridos y utilizados en el nivel superior para el dictado de un primer de introducción de Álgebra Lineal. Si bien la existencia en el mercado literario es muy abundante, sólo se consideran algunos de los textos, quizás, los más utilizados por las cátedras que imparten la asignatura.

La finalidad es determinar si, a través de los textos, los estudiantes pueden realizar las construcciones mentales necesarias para lograr el aprendizaje del concepto de Base de un Espacio Vectorial. Se trata de corroborar, fundamentalmente, si en esta bibliografía se puede implementar la Descomposición Genética propuesta en la tesis de Darly A. Ku (2007). En esta tesis, se investiga cuáles pueden ser las construcciones mentales que un estudiante debe realizar para aprehender este concepto, bajo la teoría APOE (Acción, Proceso, Objeto, Esquema) (Asiala, et al., 1996).

Para realizar el análisis de estos textos, se continúa aplicando como marco de sustento teórico a la Teoría APOE, ya que se considera que permite describir e interpretar las construcciones mentales que los estudiantes presentan para aprehender el concepto de Base, a partir de otras nociones que se relacionan.

Cabe destacar que, si bien se han realizado varias investigaciones sobre cómo se enseña y cómo aprehende el estudiante los conceptos de la Matemática, no son muchos las investigaciones realizadas en el campo del Álgebra Lineal. La mayoría de las realizadas, se encuentran dirigidas a los problemas de aprendizaje en los conceptos de *Espacio Vectorial*, *Transformaciones Lineales* y *Sistemas de Ecuaciones Lineales*; sin embargo, son pocas las referidas al concepto de Base de un Espacio Vectorial (Ku, 2007).

En el artículo publicado: “La Théorie APOS et l’enseignement de l’algèbre linéaire” por Trigueros y Okaç (2005), los autores afirman que los estudiantes presentan problemas de aprendizaje en los conceptos abstractos del Álgebra Lineal.

Para los docentes de un primer curso de Álgebra Lineal, siempre es preocupante llegar al instante del programa donde se aborda este concepto. Sabemos que nos enfrentamos a un gran problema para el aprendizaje de los estudiantes: ellos, en general, no alcanzan a comprender el lenguaje abstracto mediante el cual se define un Espacio Vectorial. Si bien algunos estudiantes pueden determinar si un conjunto de vectores tiene esta estructura, la mayoría realiza un trabajo meramente mecánico, sin lograr una reflexión sobre lo que están efectuando.

En su tesis, Ku menciona a algunas de las investigaciones relacionadas al concepto de Base de los Espacios Vectoriales y de las nociones involucradas, como Conjunto Generador, conjunto generado, Espacio Generado, Independencia y Dependencia Lineal. Particularmente, comenta sobre las siguientes investigaciones: la tesis doctoral de Chargoy (2006) que se refiere a las dificultades asociadas al concepto de Base de un espacio vectorial; el trabajo de investigación de Da Silva y Lins (2002) que se refiere a los significados del concepto de Base y el artículo escrito por Nardi (1997) que se centra en los conceptos de conjunto generador y espacios generados (Ku, Cap I, pág 6, 2007).

En este artículo, Nardi (1997) presenta un estudio donde analiza cómo se abordan los conceptos de espacio generado y de conjunto generador en Álgebra Lineal. Este trabajo se basa en una entrevista a 6 estudiantes de la Universidad de Oxford. En la entrevista se les proporcionó a los estudiantes la siguiente cadena de términos: Generar, ser generado por, conjunto generador, espacio generado, con el fin de que muestren las nociones que tienen acerca de estos conceptos. De acuerdo a las entrevistas, Nardi expresa que algunas de las dificultades observadas fueron: 1) que los estudiantes, al recurrir a un soporte visual en $\mathbb{R}^2$ para responder a las preguntas, mostraban una débil interpretación de los conceptos mencionados en el contexto geométrico; 2) que para los entrevistados, el conjunto generador representa una Base de un Espacio Vectorial, 3) los estudiantes confunden los términos de espacio generado y conjunto generador, no hacen distinción del significado de uno y del otro. Nardi, en cada caso, hace consideraciones didácticas con la finalidad de buscar una solución a las dificultades observadas.

¿Cómo aparecen en textos de nivel superior para Álgebra Lineal las nociones involucradas con el concepto de Base de un Espacio Vectorial?

¿Permiten que el estudiante realice los mecanismos de construcción mental de estas nociones?

Con el objetivo de buscar respuestas a estos interrogantes, se analiza algunos textos que se sugiere en la bibliografía del programa de un primer curso de Álgebra Lineal.

- Poole, David, Álgebra Lineal. Una Introducción Moderna, Internacional Thomson Editores, 2004, Mx, (Traducción del libro Linear Algebra. Modern Introduction, Brooks/Cole-Thomson Learning, 2003).
- Grossman, Stanley, Álgebra Lineal, Ed. M^c Graw Hill, 1996, (Traducción de la 5^a edición del libro Elementary Linear Algebra. With Applications, Saunders Collage Publishing, 1995).
- Perry, William L, Algebra Lineal con Aplicaciones, Ed. M^c Graw Hill, 1990, Mx. (Traducción de la 1^a edición del libro Elementary Linear Algebra, 1989).

Es por esto que es muy importante cómo se presentan los contenidos en los textos: si tienen en cuenta lo geométrico, si las gráficas son realmente ilustrativas y contribuyen a la construcción de los conceptos, si se utiliza los cambios de registro para facilitar la comprensión del tema, etc.

Esto es importante en el desarrollo del aprendizaje ya que, como se reportó anteriormente, hay que lograr que los estudiantes tengan conocimientos significativos de los conceptos, es decir que haya una conexión entre lo que se enseña en el aula con lo que se enseña en los libros, para no causar confusión en el estudiante. (Ku, Cap I, pág 10, 2007).

¿Qué significa APOE?

Acción

Una acción es una (o un conjunto de) manipulación física o mental sobre objetos. Es la transformación de un objeto, que en un individuo es percibida como externa (Trigueros y Okaç 2005). Una persona se encuentra en una concepción acción cuando responde sólo a estímulos externos, es decir, que se le da una indicación y la realiza, se puede decir que un estudiante se encuentra en concepción acción cuando imita a su profesor en el cálculo o resolución, no se plantea ni se pregunta qué está haciendo o por qué, sólo repite en forma mecánica.

Proceso

Se puede describir como una serie de acciones que se repiten sobre un concepto con la particularidad de que el individuo controla conscientemente las acciones sobre él, pudiendo describir paso a paso las acciones que realiza, puede revertirlas, puede coordinar y componer una transformación con otras transformaciones para obtener una nueva. Cuando una acción se repite y el individuo reflexiona sobre ella, puede ser interiorizada en un proceso. El proceso es una transformación basada en una construcción interna, ya no dirigida por estímulos que el individuo percibe como externos. Cuando un individuo puede controlar una acción en forma consciente, entonces la acción es interiorizada y *la acción se transforma en proceso*.

Objeto

Cuando una persona reflexiona acerca de las operaciones aplicadas en un proceso particular, llega a tomar conciencia del mismo como una totalidad y puede efectuar y construir acciones o transformaciones sobre él, entonces se dice que ese proceso ha sido encapsulado en un objeto. Un objeto se construye cuando un proceso se ha encapsulado. Este objeto puede ser desencapsulado cuando se ejecutan acciones o procesos sobre él, es decir, que se revierte el proceso, para utilizar sus propiedades y usarlo.

Esquema

Un esquema es conjunto coherente de acciones, procesos y objetos. Un esquema puede ser una colección de acciones, procesos, objetos y aun, otros esquemas. Los objetos pueden ser transformados por nuevas acciones, lo cual lleva a nuevos procesos, objetos y esquemas. Un esquema es una construcción cognitiva que nos permite enfrentar una situación problemática, resolviéndola haciendo uso de definiciones, propiedades, objetos coherentes a la situación. A la vez, hay situaciones donde un esquema puede ser tratado como un objeto.

La investigación bajo el marco de APOE, facilita el hecho de conocer cómo el estudiante construye el concepto, permitiendo la confección de diseños utilizados para mejorar la enseñanza de la Matemática en nuestros estudiantes con el objeto que la aprendan desde adentro. Ed Dubinsky propone una estrategia pedagógica para el aprendizaje de los conceptos de Álgebra Lineal apoyada en la Teoría y menciona que se debe diseñar

un libro de Álgebra Lineal que proponga las actividades que debe realizar un estudiante para adquirir cierto conocimiento (Dubinsky, 1997).

Descomposición Genética del concepto de Base de un Espacio Vectorial, según Ku

La Descomposición Genética es un análisis de los conceptos matemáticos en el que se tiene en cuenta las construcciones del conocimiento que se necesita para su aprendizaje y estas construcciones se logran a través de las concepciones acción-proceso-objeto-esquema de las que se ha hablado.

El investigador elabora una serie de actividades (instrucciones) y observa a los estudiantes entrevistados tomando nota y/o grabando las respuestas que proporcionan los entrevistados. Se continúa con una nueva etapa: el análisis de datos, que permite la llegar a la tercera etapa, que es la modificación y mejoramiento, si es necesario de la Descomposición Genética.

La Descomposición Genética se refina a través de la investigación, que se repite hasta que se considere que permite enseñar de manera efectiva y que se pueda utilizar para explicar cuáles son las construcciones cognitivas necesarias para aprender el concepto.

Se debe señalar que, a partir de la Descomposición Genética, y recorriendo el texto, se lleva el mismo orden en la aparición de los conceptos, se definen completamente los conocimientos previos, pero se considera que no se encadenan coherentemente con la ejercitación que se propone para el estudiante.

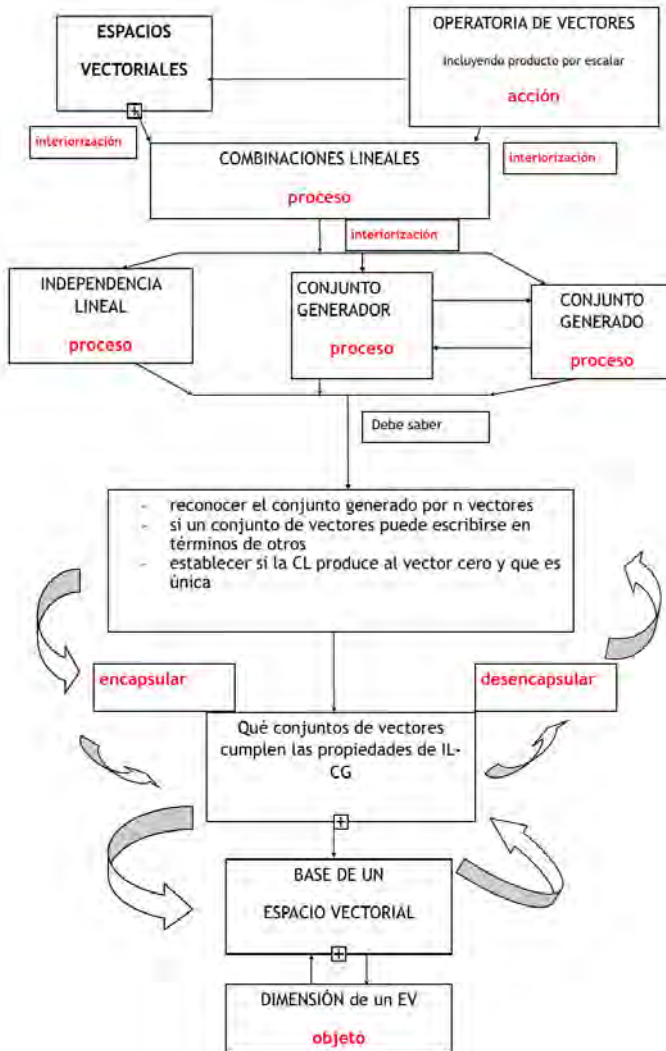
En los capítulos anteriores, se ha expresado que para esta investigación que se realiza bajo en marco teórico de APOE y tomando como referencia a la tesis de Ku, se propone lograr los siguientes objetivos:

- *Analizar los contenidos de los textos sugeridos en el nivel superior para el aprendizaje del Álgebra Lineal.*
- *Determinar la presencia de las construcciones mentales propuestas en la Descomposición Genética de la Tesis de Darly Ku.*

Estos objetivos se desprenden de la inquietud que despierta en docentes e investigadores, la situación problemática que representa la enseñanza y aprendizaje del Álgebra Lineal. En busca de mejorar la enseñanza, se in-

teresa en validar la Descomposición Genética propuesta y entender mejor cuáles son los mecanismos mentales relacionados con la construcción del concepto de Base de un Espacio Vectorial.

La primera aproximación, se realiza con la Descomposición Genética que se muestra a continuación:



La mecánica de la investigación, se organiza con una mención del contenido completo del texto, desarrollando con un poco más de detalle los temas involucrados con el concepto, mostrando algunas imágenes escaneadas del texto. El objetivo es mostrar como aparecen las nociones previas para el concepto de Base de un Espacios Vectoriales. Se analiza la forma de ejemplificarlas, las actividades propuestas para el estudiante y si se propone ejercitación con un soporte informático.

A través de los resultados de esta investigación, se quiere determinar si estos textos, ayudan al estudiante a lograr el conjunto de construcciones mentales para la comprensión del concepto de Base de un Espacio Vectorial, visto desde la propuesta realizada en la Descomposición Genética de Ku.

Análisis del texto “Álgebra Lineal. Una Introducción Moderna” de Poole, David

El texto se encuentra dividido en capítulos temáticos, en los cuales se presenta un desarrollo teórico que se introduce a través de ejemplos y ejercicios, gráficos y analíticos. Cada sección contiene una serie de aplicaciones, permitiendo alcanzar la relevancia al tema. No está diseñado con situaciones que impliquen la utilización de un soporte computacional.

Se observa que desde los primeros capítulos, se presenta la idea intuitiva de los conceptos que involucra la construcción de la noción de una base. Se analiza con detalle desde la Teoría APOE cómo se presenta las diferentes actividades teniendo en cuenta la Descomposición Genética de Ku. El autor utiliza actividades variadas para vectores en $\mathbb{R}^2$, $\mathbb{R}^3$ y $\mathbb{R}^n$ para graficar y operar analíticamente, presentando situaciones novedosas que requieren de un importante grado de abstracción.

El uso de conceptos desde los primeros capítulos, permite que el estudiante incorpore e interprete ese lenguaje y que pueda aplicarlo con más naturalidad en nociones posteriores que se presentan con un grado de abstracción mucho mayor. A través de algunos escaneos de las algunas páginas del libro, se mostrará ciertas situaciones que permiten observar lo expuesto. Tal es el caso de la aparición del concepto de combinación lineal desde el primer capítulo, a diferencia de otros textos en los que se trata del tema más adelante, acorde, quizás, a los programas tradicionales del Álgebra. Se muestra en las siguientes figuras, la presentación del concepto:

Combinaciones lineales y coordenadas

Un vector, que es una suma de múltiplos escalares de otros vectores, se define como una **combinación lineal** de estos vectores. A continuación, se presenta la definición formal.

Definición Un vector $\mathbf{v}$ es una **combinación lineal** de vectores $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_k$ si existen escalares $c_1, c_2, \dots, c_k$ tales que $\mathbf{v} = c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \dots + c_k\mathbf{v}_k$. Los escalares $c_1, c_2, \dots, c_k$ son llamados los **coeficientes** de la combinación lineal.

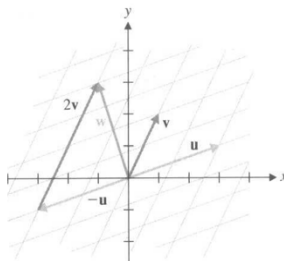
EJEMPLO 6 El vector $\begin{bmatrix} 2 \\ -2 \\ -1 \end{bmatrix}$ es una combinación lineal de $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{bmatrix}$ y $\begin{bmatrix} 5 \\ -4 \\ 0 \end{bmatrix}$, puesto que

$$3 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} + 2 \begin{bmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 5 \\ -4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ -2 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Observación: Determinar si un vector dado es una combinación lineal de otros vectores es un problema que abordaremos en el capítulo 2.

En $\mathbb{R}^2$, es posible representar combinaciones lineales de dos vectores (no paralelos) de manera bastante conveniente.

EJEMPLO 7 Sea $\mathbf{u} = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix}$ y $\mathbf{v} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$. Podemos emplear $\mathbf{u}$ y $\mathbf{v}$ para localizar un nuevo conjunto de ejes (de la misma manera que $\mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ y $\mathbf{e}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ localizan los ejes coordenados



En el capítulo II, junto con Sistemas de Ecuaciones, aparece la noción de espacio generado: al haber resuelto sistemas de ecuaciones lineales, se está en condiciones de determinar si un vector es combinación lineal de otros y a través de ejemplos, presenta al conjunto generado como el conjunto de todas las combinaciones lineales de un conjunto finito de vectores para luego, en otros ejemplos, utilizar esta noción.

Conjuntos generadores de vectores

Ahora podemos fácilmente responder la pregunta suscitada en la sección 1.1: ¿cuánto un vector dado es una combinación lineal de otros vectores dados?

- EJEMPLO 1** (a) ¿El vector $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$ es una combinación lineal de los vectores $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix}$ y $\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}$?
- (b) ¿Es $\begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix}$ una combinación lineal de los vectores $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix}$ y $\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}$?

SOLUCIÓN:

(a) Queremos hallar escalares x y y tales que

$$x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} + y \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

Expandiendo, obtenemos el sistema

$$\begin{aligned} x - y &= 1 \\ y &= 2 \\ 3x - 3y &= 3 \end{aligned}$$

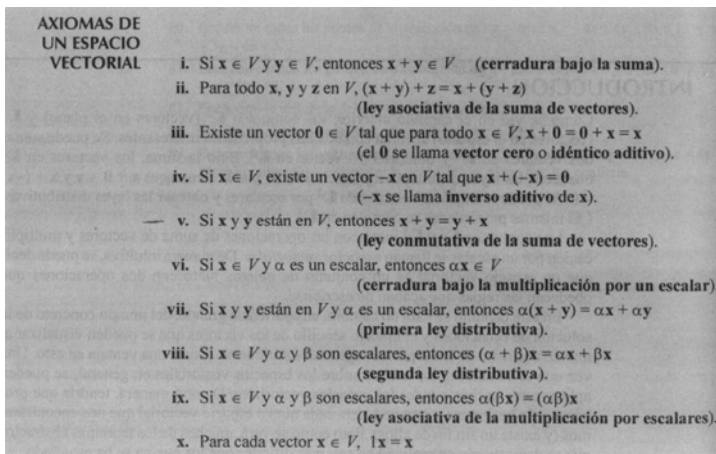
Se puede concluir que, en éste texto, en el desarrollo de los ejemplos gráficos, analíticos y de la presentación teórica con un lenguaje que aparece paulatinamente, se encuentran presentes las construcciones mentales propuestas en la Descomposición Genética para el aprendizaje del concepto de Base y permite la apropiación de las nociones en forma lenta a lo largo del desarrollo de la asignatura.

Análisis del texto “Álgebra Lineal” de Grossman, Stanley

En el comienzo del texto, el autor expresa que una de las metas que quiere cumplir a través del libro, es que los conceptos del Álgebra Lineal se vuelvan accesibles a los estudiantes que requieran sólo de conocimientos firmes y que tengan un primer curso de Cálculo, pero determina si está dirigido para ser usado en algunas carreras.

El texto se estructura en capítulos temáticos, en los cuales se presenta un desarrollo teórico que son introducidos por medio de ejemplos numéricos y geométricos. Cada sección contiene una serie de aplicaciones, permitiendo dar relevancia al tema. Además, propone en cada capítulo, actividades para desarrollar con el MATLAB, de la empresa Math Works, Inc.

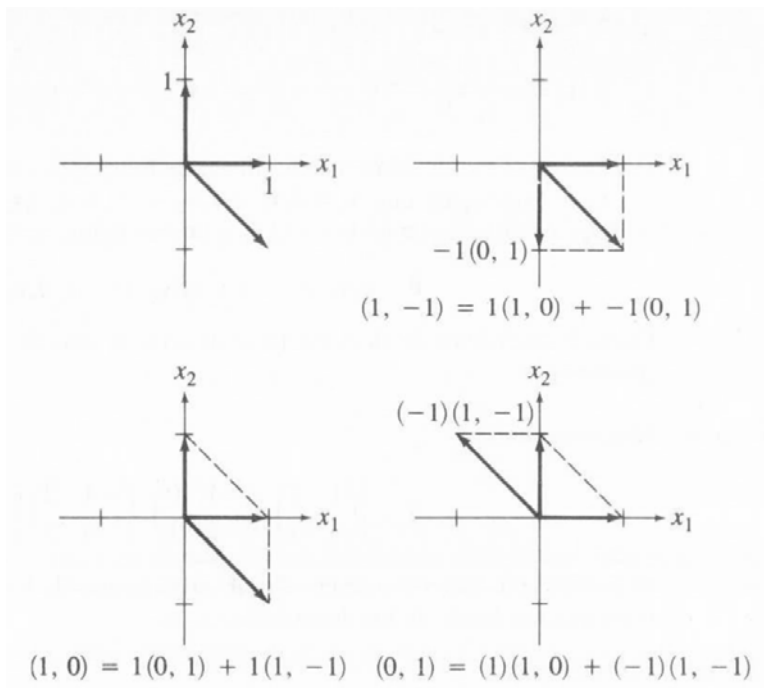
Si bien el uso del soft facilita la incorporación de los conceptos, mediante la posibilidad de cambiar valores para apreciar el comportamiento de los objetos, se observa que varias de las nociones se presentan en forma teórica, sin la presentación previa por medio de ejemplos, haciendo, quizás, más dura la aprehensión del concepto, por parte del alumno. Se muestra un caso, donde no hay ni ejercicio ni ejemplo anterior, sólo se hace referencia al capítulo donde se trató las operaciones entre matrices:



Se observa que las nociones involucradas al tema de investigación, no se desarrollan desde los primeros capítulos, se presenta cada concepto que involucra la construcción de la noción de una base, desde su definición. Se analiza con detalle desde la Teoría APOE cómo se presenta las diferentes actividades teniendo en cuenta la Descomposición Genética de Ku.

Análisis del texto “Álgebra Lineal con Aplicaciones” de Perry, William L.

Es un texto que presenta variadas aplicaciones, en general, dirigidas a la ingeniería, proponiéndose poseer un conocimiento básico previo de derivadas e integrales, ya que varias aplicaciones están dirigidas al Cálculo. Por la importancia de los números Complejos, se analizan ejemplos que los involucran y el texto presenta un apéndice destinado a aquellos estudiantes que lo requieran. . No está diseñado con situaciones que impliquen la utilización de un soporte computacional particular; sin embargo, se proponen ejemplos que requieren, por los cálculos, de alguna ayuda computacional; la ejercitación es variada y permite la introducción en los temas en forma paulatina. Mediante la representación gráfica, se muestran ejemplos, como se ve en la siguiente figura:



Este texto no presenta las nociones que permiten construir el concepto de base de un espacio vectorial en forma paulatina, es decir, desde los primeros capítulos, sino que se definen al tratar el capítulo III de espacios vectoriales y los conceptos que dan lugar al concepto de base.

Se puede concluir que el texto, en el desarrollo de los contenidos y actividades, se encuentra un lenguaje apropiado que permite las construcciones mentales en las concepciones propuestas en la Descomposición Genética para el aprendizaje del concepto de Base.

Conclusiones obtenidas hasta el momento sobre los textos considerados

En primer lugar, cabe señalar que los tres textos analizados, presentan características diferentes entre sí. Esta particularidad se hace notoria, principalmente con el texto de Poole, ya que presenta los temas en un orden novedoso respecto de los otros.

Se considera que el texto de Poole presenta ejemplos claros para que esté al alcance del estudiante la respuesta. Además, es posible que se vincule el hecho que la base construye a un Espacio Vectorial por haber sido presentado a lo largo de los capítulos en su desarrollo analítico y en la ejemplificación utilizada.

Sin embargo, el texto de Grossman, por tener una presentación menos intuitiva y elaborada desde el inicio, posiblemente el estudiante que se prepara por éste texto, tenga dificultades para responder a la entrevista, pues la ejemplificación no permite que el estudiante abstraiga el concepto al recurrir a casos, generalmente, en $\mathbb{R}^n$.

En el texto de Perry, las actividades que se proponen son más sencillas que las de la entrevista. Sin embargo, la propuesta es rica y variada en los casos de aplicaciones que presenta y en los ejemplos de introducción inmediata que se enseña, se considera que puede permitir a un estudiante, hallarse en situación de enfrentar a la entrevista y de responderla correctamente, casi en su totalidad. Posiblemente, le genere inconvenientes las preguntas donde se requiere una interpretación geométrica ya que en el texto, si bien se contempla, no se hace mucho hincapié en ello.

La Teoría APOE permite ayudar a los estudiantes a construir las estructuras apropiadas para cada concepto y relacionarlas con estructuras previas (lo cual es observado en las entrevistas realizadas). El estudiante

no aprende conceptos matemáticos en forma directa, sino que necesita recurrir a estructuras mentales que sean apropiadas para aprender un concepto y si no las ha logrado, es difícil que aprenda dicho concepto.

La Teoría APOE permite indagar sobre la forma en que se aprende y a través de futuros trabajos de investigación, develar los caminos apropiados para mejorar el aprendizaje de la Matemática, por esto se considera importante el análisis del lenguaje simbólico y natural que se utiliza en los textos para el desarrollo de las distintas asignaturas, dejando expectante una continua investigación.

Bibliografía

- KU, Darly (2007). *Aprendizaje de la base de un Espacio Vectorial desde el punto de vista de la teoría APOE*. Tesis de maestra en ciencias en la especialidad de matemática educativa. Mx.
- ASIALA, M., BROWN, A., DEVRIES, D.J., DUBINSKY, E., MATHEWS, D., THOMAS, K. (1996) *A framework for research and curriculum development in undergraduate mathematics education*. In J. Kaput, A.H. Shoenfeld, E.
- DUBINSKY (Ed.s) *Research in collegiate mathematics education*. Vol. 2. Providence, RI: American Mathematical Society. p. 1-32.
- CHARGOY, R. M. (2006) *Dificultades asociadas al concepto de base de un espacio vectorial*. Tesis doctoral, Cinvestav-IPN.
- Dubinsky, E. (1996). Aplicación de la perspectiva piagetiana a la educación matemática universitaria. *Educación Matemática*. Vol. 8.
- DUBINSKY, E. (1997) Some Thoughts on a First Course in Linear Algebra at The College Level. En D. Carlson, C.R. Johnson, D.C. Lay, R.D.Porter, A. atkins (eds). *Resources for Teaching Linear Algebra*, MAA Notes, 42, 85- 105.
- TRIGUEROS, María (2005). *La noción de esquema en la investigación en matemática educativa a nivel superior*. Educación Matemática, abril, año/vol. 17, número 001, Santillana, Distrito Federal, México, pp. 5-31.

- TRIGUEROS, M. y Oktaç, A. (2005). La Théorie APOS et l'Enseignement de l'Algèbre Linéaire. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, vol. 10, 157-176.
- VARGAS VÁSQUEZ, Xaab Nop, Asuman Oktaç, María Trigueros (2002). *El estudio de los espacios vectoriales desde el punto de vista de la teoría APOE*, Cinvestav IPN, México, ITAM.
- MONTOYA, Eduardo Miranda (2006). El marco de construcciones mentales APOE y el concepto de función. *Revista Educar* N° 3, octubre-diciembre 2007, México.
- CERUTTI, Rubén A. - ANDREOLI, Daniela I. (2002) *Construcción de los conceptos de dependencia e independencia lineal e vectores en alumnos de primer año de la Universidad (Primera Fase)*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE.- Argentina.
- NARDI, E. (1997), El encuentro del matemático principiante con la abstracción matemática: Una imagen conceptual de los conjuntos generadores en el análisis vectorial. *Educación Matemática*. Vol. 9.
- PARRAGUÉZ, Marcela en C.(2007). *Un estudio sobre la noción de espacio vectorial y su evolución en base a nuevos conceptos que se relacionan con él*.
- MANZANERO VÁSQUEZ, Ligia; OKTAÇ, Asuman; TRIGUEROS, María (2006) *El estudio de sistemas de ecuaciones desde el punto de vista de la teoría APOE*, Cinvestav IPN- ITAM, México.

Textos consultados

- POOLE, David, *Álgebra Lineal. Una Introducción Moderna*, Internacional Thomson Editores, 2004, Mx, (Traducción del libro Linear Algebra. Modern Introduction, Brooks/Cole-Thomson Learning, 2003).
- GROSSMAN, Stanley, *Álgebra Lineal*, Ed. Mc Graw Hill, 1996, (Traducción de la 5ª edición del libro Elementary Linear Algebra. With Applications, Saunders Collage Publishing, 1995).

PERRY, William L, *Algebra Lineal con Aplicaciones*, Ed. Mc Graw Hill, 1990, Mx. (Traducción de la 1ª edición del libro Elementary Linear Algebra, 1989).

Ficciones, sólo ficciones

Dante Roberto Salatino¹

Resumen

Como resultado de una prolongada investigación me sumergí en una travesía conceptual que me mostró cuán distante está nuestra realidad de la que nos revela la ciencia haciendo uso del pensamiento lógico, y aún, de la que nos proporciona el sentido común. Pude demostrar (Salatino, 2009, 2012, 2013) que la realidad de los hechos se mide en función del lenguaje que los describe. Un modelo relacional dinámico no inferencial, llamado Lógica Transcursiva (LT), me permitió descubrir nuevas reglas de juego que surgen cuando nos atrevemos a desplazarnos fuera de nuestra monocontextura (el universo binario que nos contiene); esas que impiden a un observador tradicional describir lo que ocurre en nuestra realidad utilizando reglas convencionales. En este trabajo y basados en sólidos conocimientos neurobiológicos (Salatino, 2013), pasaremos revista a los procesos psíquicos que soportan el pensar, la consciencia y el lenguaje que nos permite comunicar los hechos, que para nosotros, son reales; esto es, vamos a hablar científicamente sobre la realidad subjetiva y su justificación.

Palabras claves: modelos, lógica, psiquis, subjetividad

La emulación como modelo

Simular un comportamiento aparente es todo lo que podemos hacer mediante modelos matemáticos. Su utilidad se restringe a predecir con cierta aproximación lo que sucederá en esa ‘porción de la realidad’, ante condiciones similares planteadas con antelación. Desde hace bastante tiempo y mediante la utilización de herramientas provistas por la Inteli-

¹ Investigador Instituto de Lingüística - FFyL – Docente e Investigador en Inteligencia Artificial – Mecatrónica – F. Ingeniería – UNCuyo – Mendoza - Argentina.

gencia Artificial (IA) (lógica difusa, redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos) es posible lograr, a veces, mejores resultados que cuando se utiliza el cálculo infinitesimal. Por ejemplo, el uso de algoritmos genéticos para calcular funciones no derivables o de derivación muy compleja; o en la Teoría de juegos, para resolver equilibrios como el de Nash (en los juegos no cooperativos), o en el análisis lingüístico para eliminar la ambigüedad del significado.

En cualquier caso, siempre estamos hablando de simulación, es decir, de una ‘caja negra’ que evidencia un comportamiento aparente, pero que no nos dice absolutamente nada sobre los procesos que subyacen, y que precisamente, son los que determinan el comportamiento observado.

Por lo anterior, cuando el objeto de estudio pertenece a la realidad subjetiva (Salatino, 2009, p. 111), como por ejemplo: el lenguaje natural de gran arraigo biológico, el conocimiento como tal, el pensamiento o el comportamiento social; la utilización de modelos matemáticos o los derivados de la IA pierden terreno práctico, dado que en todos estos casos estamos tratando con aspectos cualitativos y no cuantitativos. Un modelo es útil para estudiar el comportamiento de la realidad subjetiva, solo si se puede emular dicho comportamiento, entendiendo por esto la posibilidad de sugerir el funcionamiento lógico de los mecanismos íntimos que determinan un comportamiento específico; en este sentido fue diseñada la LT.

Lógica transcurсивa

Hay varias maneras de presentar una lógica, como las hay para abordar una geometría; aquí, será definida no como un conjunto de valores de verdad caracterizados por teoremas o fórmulas válidas, sino por las interrelaciones (las interacciones organizativas) que guardan los componentes obligados de la realidad subjetiva: el sujeto (S) y el objeto (O).

Según Batens (2010, p.7) las verdades lógicas son efectos secundarios de lo que constituye un argumento lógico válido y donde las conclusiones derivan de sus premisas o son su consecuencia. Esto define la ‘verdad relativa’; relativa a una convención como lo es un silogismo o una inferencia.

La LT en cambio trata con la ‘verdad absoluta’, vale decir, aquella que surge cuando un sujeto le encuentra sentido (y no significado) a la realidad circundante, para poder sobrevivir. De lo anterior surge que la LT está ligada, indefectiblemente, con lo que tiene vida, es decir, con el

sujeto y su subjetividad. Esta lógica es un modelo relacional dinámico no inferencial sustentado en el cambio o transformación que está en vigencia cuando se establece una interrelación entre el par de actores reales: S/O. El cambio o transformación opera a dos niveles: a) el superficial y aparente, de naturaleza discreta o binaria; y b) el profundo y oculto de naturaleza continua.

Los actores y los cambios que los ligan conforman la base cuaternaria y policontextual de esta lógica, que no trabaja con valores de verdad, sino con 'nichos ontológicos' (continentes) (Salatino, 2008, p. 94) ensamblados según un 'lenguaje universal' (LU) definido estructuralmente, por un grupo y funcionalmente, por una conexión de Galois.

Filogenia

La LT deriva de la conjunción de una serie de propuestas lógicas que atienden a distintos aspectos de la realidad aparente. Esta influencia se la puede dividir en dos tipos: a) indirecta, la que da la base de su aspecto estructural; y b) directa, que sustenta su aspecto funcional. La única excepción a la regla anterior es la lógica aristotélica que, más allá de ser el origen común de todas las influencias estructurales, su acción directa es compuesta, pues aporta tanto a la estructura como a la función, y mucho más importante aún, liga la subjetividad a la vida, ya que en su definición de la metáfora por analogía da la base lógica del código genético o de la vida, la característica subjetiva por antonomasia (Figura 1).

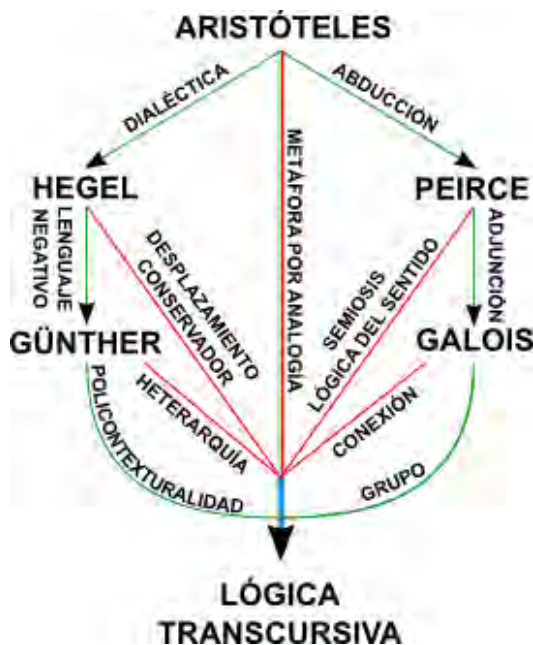


Fig. 1 FILOGÉNESIS DE LA LÓGICA TRANSCURSIVA

Aristóteles, estableció las dos formas básicas de argumentación científica: deducción e inducción. Este fue su aporte estructural. Surgieron dos alternativas argumentativas a lo anterior, una fue la Hegel (1812/16) que sintetiza, estructuralmente, lo general y lo particular en lo individual mediante su Dialéctica; y la otra la de Peirce (1878), el que parte de los resultados para elegir, intuitivamente, una regla que surgida de fenómenos observables permita explicar (hipótesis) los fenómenos no observables (abducción).

Günther modifica la propuesta estructural de Hegel introduciendo su 'lenguaje negativo' o con más de una negación; es decir, más allá que lo general y lo particular coexistan y ciclen constituyendo una reflexión, lo hacen migrando a otra contextura (o continente), a la cual se accede mediante una negación distinta cada vez. Galois no modifica en absoluto la propuesta de Peirce, pero incluye en su concepción de grupo la posible 'adjunción' (simultaneidad) entre 'inversas generalizadas', similar a

la adjunción entre generalidad (lo universal) y vaguedad (lo existencial) presente en la pragmática peirceana.

Descubierta por Galois en 1832, el grupo es un conjunto de elementos reunidos por una operación de composición que aplicada en algunos elementos del conjunto, nos vuelve a dar un elemento del conjunto (1ª característica). Existe un elemento neutro que compuesto con otro, no lo modifica (2ª característica). Existe una operación inversa que compuesta con la operación directa (composición), da el elemento neutro (3ª característica), y finalmente, todas las composiciones son asociativas o independientes de su agrupamiento. Estas características hacen del grupo un prototipo de estructura, dado que no surge de los propios elementos constitutivos, sino de las interrelaciones entre ellos.

La LT, influenciada por todo lo anterior, define una estructura que permite dar cuenta de la ligadura evidente (superficial o directa) entre S y O, pero también, de una de naturaleza profunda u oculta, la cual guarda con la anterior una triple relación de oposición, complementariedad y concurrencia o simultaneidad, definiéndose de esta manera, dos niveles perfectamente delimitados. (Figura 2)



Fig. 2 ASPECTOS ESTRUCTURALES DE LA LT

Desde el punto de vista funcional, la LT recibe una influencia directa de las teorías anteriores, aportándole cada una su dinámica particular.

Podemos leer en la Poética de Aristóteles (Capítulo XXI: 1457b): “Explico la metáfora por analogía como lo que puede acontecer cuando, de

cuatro cosas, la segunda permanece en la misma relación respecto a la primera como la cuarta a la tercera; entonces se puede hablar de la cuarta en lugar de la segunda, y de la segunda en vez de la cuarta”.

Es decir, la segunda es a la primera como la cuarta es a la tercera. Esto tiene la relevancia de expresar dos oposiciones por complementariedad, que además de ser el germen de toda la lógica aristotélica, si a estas oposiciones las hacemos coexistir (soslayando el principio de no contradicción), dan la base estructural y dinámica de la lógica policontextural tetravalente que representa la LT. El Código Genético (aunque parezca increíble) está estructurado con la misma lógica.

Hegel plantea la coexistencia de los opuestos animados de una dinámica (reflexión) propiciada por una negación de la negación (devenir) que permite, no la anulación operada por la lógica aristotélica, sino la supresión y la conservación al mismo tiempo (*aufheben*); la dinámica que adopta la LT en sus dos niveles.

Para Peirce, la lógica en su sentido general, es otro nombre para la semiótica. Trata de elaborar una doctrina formal de las condiciones que debe satisfacer todo discurso para tener sentido; nos enseña que la morfología de este ‘decir’ es independiente de toda verdad. La LT toma esto como ‘verdad absoluta’; o sea, el encontrar sentido a un hecho, y distribuye sus condicionantes de una manera similar a Peirce (en cuatro cuadrantes o nichos ontológicos).

Günther definió una matriz de tres identidades distribuidas en sendas monocontexturas que describen mundos diferentes: el mundo objetivo (el del objeto), el mundo objetivo reflexionado (el del sujeto y la volición), y el mundo de la doble reflexión (el de lo subjetivo con su aspecto cognitivo); a los cuales se accede mediante sendas negaciones. Este sistema evoluciona (tiene una historia). Luego de la tercera negación, todo vuelve a comenzar después de un cierto tiempo. El ciclo entre estas identidades de reflexión, constituye una heterarquía (son simultáneas). Así queda definida la lógica policontextural trivalente o transclásica de Günther, la cual es adoptada, con los debidos ajustes, por la LT.

Un par de funtores adjuntos entre conjuntos parcialmente ordenados se llama conexión de Galois. Pero, yendo más allá de lo estrictamente matemático, se puede decir que es también una manera particular de oponer dos conceptos a través de otra oposición, estableciendo así una relación de oposición concurrente, es decir, en donde ambos elementos, a pesar de ser excluyentes para la lógica clásica, estén presentes al mismo tiempo.

Vemos además en la figura anterior la conformación de los nichos ontológicos; esas monocontexturas que pueden poseer cualquier contenido. La LT caracteriza las relaciones entre los continentes, aquellos dominios binarios (monocontexturas) que están distribuidos heterárquicamente, por lo que ‘funcionan’ en forma simultánea. Los sistemas reales, con sus aspectos superficiales y profundos, transcurren de acuerdo a las cuatro dimensiones que definen la realidad subjetiva, a saber: 1D) qué (estructural), 2D) cómo (funcional), 3D) cuándo (dinámica), y 4D) porqué (transcendental); todas de índole temporal.

Caracterizados los fundamentos de la LT, cabe la siguiente pregunta: ¿Para qué no es útil la LT? No es útil para el estudio de todo lo objetivo producto de la observación empírica, ni tampoco, para tratar con cuestiones formales. De todo lo anterior se ocupan las ciencias de la monocontextura.

Estructura psíquica

La especie representa la base estructural de todo proceso psíquico. La figura 5 muestra la ‘intimidad’ de una especie en donde se puede apreciar las interrelaciones que ostentan las contexturas del sujeto y del objeto, ya sea superficialmente, mediante la unión (U) de las diferencias que llamamos clase o transformación aparente de origen ontogenético; o a nivel profundo, a través de la separación (conjunción) ($\wedge$) de las semejanzas que conocemos como categoría o transformación oculta, de origen filogenético.

La especie no es un concepto, es decir, no es una representación intelectual de un objeto que pretende diferenciarse de lo sentido, lo percibido, lo imaginado o lo recordado, sino que es todo eso. Tampoco es un acto mental que podamos expresar mediante el lenguaje convencional, sino que es el núcleo del lenguaje universal que engarza toda la realidad subjetiva. De alguna manera, la especie integra en su seno, las propuestas de Aristóteles, de Hegel y de Günther, a la realizada por la LT.

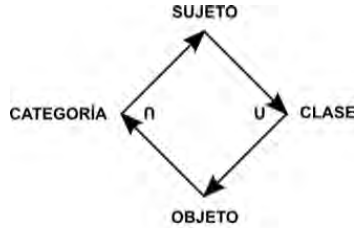


Fig. 5 ANATOMÍA DE UNA ESPECIE

En LT la unidad lógico-operativa de la corteza cerebral se denomina psicocito o célula psíquica, y desde la metáfora geométrica está representada por un hipercubo 4D.

La figura 6 pretende mostrarnos que tanto la especie como el psicocito tienen en apariencia los mismos elementos constitutivos, pero dispuestos de otra forma y con otro tipo de relaciones; esto es, la especie maneja los aspectos superficiales y profundos (idea y PAF = Patrón de Acción Fijo), que hacen a la estructura psíquica y el sentido de la realidad; mientras que el psicocito, tramita los aspectos objetivos y subjetivos (pensamientos), que hacen a la función psíquica y a la comprensión. Desde el punto de vista lógico-transcurso el psicocito constituye la unidad de sentido, como una representación 3D de la cuarta dimensión que compone la psiquis.

La relación especie-psicocito es de integración, lo cual asegura que lo percibido y que va a formar parte de una idea (estructura psíquica), dé origen a un PAF acorde para elaborar una respuesta (inconsciente), que luego, bajo el control del pensamiento y de la consciencia, pueda adaptarse y corregirse según las exigencias.

En síntesis, una especie dentro de un psicocito permite relacionar un deseo con una creencia a través de un pensamiento, integrando así los tres sistemas reales: el biológico y el social mediados por el psíquico. En la figura 6 se puede ver cómo, en la especie, cuando pasa a formar parte del núcleo de un psicocito, transforma su clase en una idea y su categoría en un PAF, lo cual da origen en lo subjetivo, a un deseo, y en lo objetivo

a una creencia, al proyectarse el PAF en el comportamiento objetivo y la idea en el pensamiento, respectivamente.

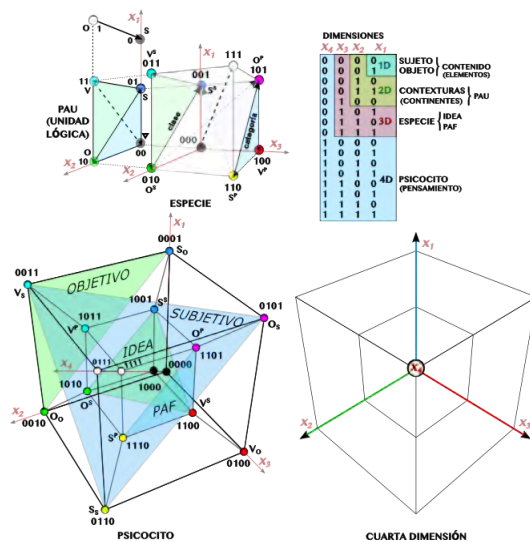


Fig. 6 LÓGICA DE UN PSICOCITO

La función psíquica - El pensamiento

El pensamiento se puede definir como una actividad psíquica, fundamentalmente inconsciente, que surge cuando producto de una necesidad emerge un deseo que obliga a ir en busca del objeto deseado, y que se completa cuando encontrado dicho objeto se logra satisfacción. Para cumplir con esta actividad, el aparato psíquico pasa por una serie de instancias que permiten, además capitalizar su estructura, ponerla en funcionamiento.

Como se observa en la figura 7 los pensamientos en general se dividen, por un lado, en primordiales o básicos de índole profunda ya que solo se los reconoce por sus manifestaciones, a saber: los efectos despertados por una vivencia, o una determinada acción específica, en fin, la expresión de una elaboración superior. Estos pensamientos son: el explorador, el práctico y el teórico o abstracto. Por otro lado, están los pensamientos secundarios o correctores, los cuales son evidentes por sí mismos, más

no por sus manifestaciones, y comprenden: el pensamiento judicativo, el pensamiento crítico y el pensamiento puro.

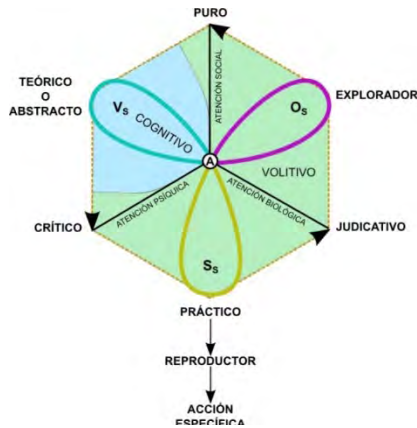


Fig. 7 EL PENSAMIENTO

Como hemos visto en otro trabajo (Salatino, 2009) el estado de consciencia no es un fenómeno continuo y permanente mientras estamos vigiles; antes bien, se trata de una intermitencia de estados de consciencia y de inconsciencia de idéntica duración (12,5 mseg) que se alternan. Todo lo que tiene que ver con la construcción de la estructura psíquica sucede durante los estados de inconsciencia, es decir, durante lo que se denomina cuña temporal. Los estados intermitentes de consciencia, los que se abordan durante el Ahora (A) se utilizan, fundamentalmente para dos cosas, por un lado, para prestar atención (biológica, psíquica o social), y por otro, para poner en funcionamiento la acción específica o respuesta a lo percibido. Lo anterior nos dice que en realidad la mayoría de la actividad psíquica es inconsciente, y que solo hacemos uso de la consciencia, es decir, dirigimos intencionalmente la atención de algún tipo hacia un hecho determinado, cuando se presentan problemas que impiden una realización automática de una acción específica, sea porque haya que hacer algún ajuste a lo ya aprendido, o bien, aprender algo nuevo.

El estado de consciencia de la vigilia pone en funcionamiento el aparato perceptivo externo, lo cual permite al pensamiento explorador

comenzar la búsqueda del objeto que probablemente satisfará el deseo promovido por la necesidad imperiosa de sobrevivir.

El acto perceptivo lo podemos dividir en dos procesos que transcurren simultáneamente. Por un lado, aquel que se encarga de ‘captar’ desde la realidad externa, lo cuantitativo, es decir; lo que genera los estímulos que viajan por las vías particulares de cada uno de los órganos de los sentidos, rumbo a la corteza cerebral, y que constituye en la hipótesis de Llinás (Llinás et al., 1994, p. 261), el contenido (lo espacial). Por otro lado, está el proceso que ‘capta’ lo cualitativo, o aquello que no es aparente, y que tiene una dimensión temporal; el contexto de Llinás, que viajando por la sustancia reticular llega a los núcleos inespecíficos del tálamo. El sistema tálamo-cortical y el pensamiento práctico, unifican el acto perceptivo para establecer la realidad existencial de lo percibido.

El pensamiento práctico posibilita tramitar lo percibido, y lo hace mediante la configuración de dos memorias distintas, una estructural (residente en la corteza) y otra operativa (que reside en el cerebelo). Estas memorias solo ‘retienen’ relaciones. Estas relaciones, cuando se repiten en la realidad percibida, terminan configurando verdaderos patrones para los que el aparato psíquico destina una serie de recursos que permiten llevar a cabo acciones que representan ‘acciones específicas’ elaboradas a modo de respuesta ante lo percibido.

Las relaciones mencionadas son registradas, de alguna forma, dada la modificación en las fuerzas sinápticas entre las neuronas provocada por el impacto del complejo perceptivo, dándose así una forma de aprendizaje. Este aprender se hace en un doble sentido, por un lado, el que podríamos llamar estructural encargado de lo cuantitativo y que se da por afinidad o relación inmediata entre los elementos percibidos de la realidad; y por otro lado, estaría el aprendizaje temporal (o cualitativo), que depende de entradas y respuestas previas. Como resultado de sucesivos aprendizajes se va creando en la trama reticular neuronal una serie de ‘caminos’ facilitados por donde ‘discurrir’ los distintos estímulos venidos desde el exterior y así se forman los distintos patrones relacionales que luego pueden ser ‘recordados’. Si el patrón percibido coincide enteramente con algo ya aprendido y conocido (vivenciado), el pensamiento práctico da curso a la acción, es decir, transforma el ‘camino facilitado’ en un PAF que constituye la respuesta motora ante lo percibido. Cuando estas respuestas se repiten en el tiempo, dan origen a los hábitos que sin participación plena de la consciencia permiten caminar, hablar, etc.

Si el patrón percibido no coincide totalmente con uno ya conocido, entra en función algún pensamiento corrector, según en donde asiente la disparidad. Cuando no se puede establecer la identidad del objeto, el pensamiento judicativo activa mediante atención biológica la modificación del pensamiento práctico de acuerdo a lo aportado por el pensamiento explorador (figura 7).

Cuando lo que no se puede establecer es la identidad del sujeto, entonces, el pensamiento crítico a través de la atención psíquica modifica el pensamiento teórico en función del pensamiento práctico. En fin, cuando no se puede identificar la transformación que relaciona sujeto y objeto, el pensamiento puro, por la atención social, modifica el pensamiento explorador dependiendo de cómo el pensamiento teórico debe adaptarse según las circunstancias; un ejemplo paradigmático es la adecuación del discurso a la situación comunicativa.

Con las modificaciones anteriores se busca establecer cuan verdadero es un hecho determinado. Así, se trata de establecer la verdad biológica, que se sustenta en la satisfacción de un deseo; o la verdad psíquica, que radica en el sentido que adquiere un hecho cualquiera, lo que da la posibilidad de comprenderlo; o la verdad social, que es la que vulgarmente conocemos como 'verdad' y la que nos permite aparecer como confiables ante los demás y edificar las propias creencias por convicción o certidumbre, es decir, ser científico.

Algo totalmente distinto ocurre cuando el patrón percibido no coincide en absoluto con algo ya aprendido y conocido, es decir, vivenciado.

El pensar (Salatino, 2013, p. 180)

El pensar, como fenómeno, acepta dos modalidades; la primera tiene que ver con una serie de procesos psíquicos que están soportados en la estructura dinámica de la psiquis. Estos procesos, una vez elaborados, habilitan una serie de procesos operativos que canalizan lo aprendido (aprehendido) y conocido (vivenciado) a través de la percepción, que cumple con las exigencias de determinado deseo, hasta alcanzar la comprensión. Esta modalidad del pensar aquí la conoceremos como pensar volitivo.

La segunda modalidad del pensar es aquella que, soportada en el pensamiento teórico, permite darle cumplimiento efectivo o no, a un deseo para que se transforme en 'nuestra verdad' frente a los demás, vale decir, en una creencia. En otros términos, la verdad biológica que significa satis-

facción o no de un deseo, o esa transformación profunda e innata que no puede ser puesta en evidencia como no sea por sus manifestaciones; esas que determinan el proceder ante las distintas transformaciones aparentes a que es sometido el aparato psíquico, y que denotan su compromiso con la vida.

Esa verdad biológica es transformada en verdad psíquica, la que nos dice del sentido de la realidad, y la que nos da la posibilidad de comprenderla; es la tarea asumida por el Yo para alcanzar la verdad social, nuestra verdad ante el otro, esa que nos permite nuestra vida de relación, pero que además, alimenta nuestras creencias, por lo que termina siendo, finalmente, nuestra propia verdad ante las exigencias sociales. Esta modalidad del pensar se llama pensar cognitivo.

La especie como función interrelaciona, en primer lugar, el pensar volitivo mediante un deseo, y el pensar cognitivo a través de una creencia; y en segundo lugar, incorpora los procesos psíquicos superficiales (aprender, entender y explicar) desde una idea como integrante de la memoria estructural, a los procesos psíquicos profundos (conocer, interpretar y comprender) hechos evidentes por un PAF que forma parte de la memoria operativa, la creadora de respuestas.

El pensamiento lógico es un derivado menor de un proceso psíquico superficial, explicar, el que tiene que ver, por un lado, con la inferencia o la aplicación directa de los principios de la lógica tradicional; y por otro, con la asociación o implicación en base a experiencias y conocimientos previos para poder dar lectura individual a un hecho determinado, y así, encontrarle significado.

La comprensión como fenómeno es el grado más elevado de cognición que se pueda alcanzar y se logra mediante una serie de identidades.

Todo comienza con la formación de una especie. La especie constituye el sustrato adecuado para poder expresar circunstancias, sentimientos, ideas o pensamientos; es un logro perceptivo que dispone de una serie de elementos, como son: a) un sujeto (sujeto superficial - S^s), que con identidad propia se encarga, infligiendo cambios o transformaciones, de conceder existencia; b) un objeto (objeto superficial - O^s), que al recibir un cambio o transformación, marca contrastes, y c) un cambio evidente (cambio superficial - V^s) que establece las diferencias entre los anteriores y la concordancia simultánea entre ellos.

Hasta aquí lo superficial de la especie, que deja constancia de la apariencia de la realidad subjetiva. Pero cuando la unidad de los elementos superficiales, la relación entre objetos, se integra con el nivel profundo (por el pliegue temporal), se convalida un ritmo propio, independiente y oculto (cambio profundo - V^p), que no se corresponde con lo objetivo, sino con el sujeto, al cual, por una serie de semejanzas con lo superficial, le otorga individualidad asignándole su identidad subjetiva (sujeto con sus vertientes profunda y superficial - $^pS^s$). Otro tanto ocurre con el objeto (con sus vertientes profunda y superficial - $^pO^s$), el cual alcanza su individualidad como elemento extra-psíquico, aunque en este caso, a través de las diferencias previamente establecidas. Finalmente, el cambio o la transformación en sí misma adquiere también su identidad al poder integrar una dinámica aparente o externa a una dinámica interna (el cambio con sus vertientes profunda (V^p) y superficial (V^s)). Todas estas etapas, en la realidad subjetiva, se dan en forma simultánea.

La figura 9 es un apretado resumen de todo lo dicho sobre el pensamiento. Por otro lado, muestra las relaciones que mantienen los procesos psíquicos superficiales, profundos e indirectos que llevan a la comprensión, con los aspectos estructurales y funcionales de la psiquis. Analicemos esto con algún detalle, guiándonos por la figura 8.



Fig. 8 PROCESOS PSÍQUICOS

Procesos psíquicos superficiales

- **APRENDER (APREHENDER):** está relacionado con los cambios y es el que se da en el momento de la percepción.
- **ENTENDER:** es el análisis o división de la realidad en categorías transcurativas; esto es, en los distintos sistemas reales, para dejar plasmado un hecho en una idea. Forma la parte superficial de una especie.
- **EXPLICAR:** tiene que ver con: a) la inferencia o la aplicación de los principios de la lógica tradicional, y b) la asociación o implicación en base a experiencias y conocimiento previos. Está relacionado con el manejo de conceptos a través del significado.

Procesos psíquicos profundos

- **CONOCER:** tiene que ver con las diferencias existentes entre los objetos. Es el que permite reunir todos los objetos dadas sus diferencias (es una disyunción), y por ejemplo, que la psiquis pueda determinar que el O^S o el objeto externo percibido es distinto al S^S o el propio sujeto considerado como objeto. Como producto del pensamiento explorador está directamente ligado al pensar volitivo por medio del cual origina una vivencia, es decir, una ‘encarnación’ de lo aprendido, en vista de cumplir con un determinado deseo.
- **INTERPRETAR:** tiene que ver con separar semejanzas relacionadas por un cambio o transformación no evidente o profunda (es una conjunción). Está relacionado con una especie psíquica, y por tanto con el sentido. Es el producto del pensamiento práctico y forma la parte profunda de una especie.
- **COMPRENDER:** es el proceso que comienza desde una especie ya constituida, y termina con la proyección de la estructura psíquica (la idea) en una función, el pensar cognitivo. Es el producto del pensamiento teórico o abstracto, por medio del cual es posible, luego de una reorganización interna de las vertientes subjetivas de los integrantes de todo hecho real, proyectar hacia la superficie el sentido encontrado a ese hecho, vale decir, un resurgimiento de la verdad, nuestra verdad, esa que permi-

te responder desde lo subjetivo, no solo con la voluntad sino también con una estrategia, a los planteos que nos propone el entorno psíquico. Finalmente, comprender es lo que afianza, en nuestro sentir, una creencia. La creencia es una afirmación funcional de la verdad; y la verdad aparece cuando un deseo es satisfecho y esto es coherente con alguna creencia.

La comunicación (Salatino, 2012, p. 90)

	COMUNICACIÓN INSTINTIVA	COMUNICACIÓN EMOCIONAL	COMUNICACIÓN EMOTIVA
ACTIVIDAD	Instintiva PAF Innatos Tendencias primitivas, específicas y no planeadas	Mixta PAF Modificables Externalización inconsciente y no elaborada que puede modificarse con la experiencia	Aprendida PAF Adquiridos No siempre representan estados internos. Se ajustan a normas. Son conscientes y elaborados
FOCO Y SUSTRATO	SUJETO Animales sencillos y plantas	INDIVIDUO (sujeto social) Animales	GRUPO Hombre
MARCO ESPACIO- TEMPORAL	BIOLÓGICO Presente	PSICO- BIOLÓGICO Pasado-presente	PSICO-BIO- SOCIO- CULTURAL Pasado-presente- futuro
FUNCIÓN Y OBJETIVO	ESTRATÉGICA	ESTRATÉGICA	ESTRATÉGICA
LENGUAJE	VIDA TÁXICO	ENTORNO SÍGNICO	SOCIEDAD SIMBÓLICO

GRADO DE INTEGRACIÓN EVOLUTIVA

La tabla anterior resume los fundamentos biológicos del medio comunicativo o lenguaje natural, pero además reafirma el concepto de que en el hombre se cumple, en lo que al lenguaje se refiere, la regla evolutiva de Haeckel: “la ontogenia recapitula la filogenia”, ya que integra todos los niveles biológicos (PAF), y por tanto, los distintos lenguajes naturales que de ellos derivan. Esto no significa otra cosa que el hombre, según lo propone la LT, da muestras de todos los niveles del lenguaje natural y por ende, de comunicación.

Lenguajes y palabras (Salatino, 2013, p. 203)

Cuando en LT hablamos de lenguaje, nos estamos refiriendo al lenguaje universal (Salatino, 2009, p. 116), o ese marco de referencia que caracteriza todo cuanto acontece en la realidad planteada como una estructura dada por distintos sistemas y sus interrelaciones, dispuestas como un arreglo heterárquico de estructuras jerárquicas; por lo tanto, este lenguaje es patrimonio de todo lo vivo, es innato y se utiliza para proteger la vida (comunicación instintiva).

Pero, en el ámbito de la subjetividad existen otros lenguajes; uno que compartimos, en algunos aspectos, con los animales y que llamamos lenguaje natural (Salatino, 2012, p. 70); útil para transmitir en forma directa los afectos (comunicación emocional). En el hombre es adquirido biológicamente, en los primeros 18 meses de vida; es inconsciente (no elaborado) y puede modificarse con la experiencia.

El otro lenguaje, exclusivo del hombre, es el lenguaje convencional; aquel que se adquiere socialmente por imitación a partir de los 18 meses; es consciente y elaborado y se ajusta estrictamente a normas socio-culturales. Su función: inducir afectos en el otro (comunicación emotiva). La figura 10 resume lo anterior y lo integra a la ontogénesis psíquica.

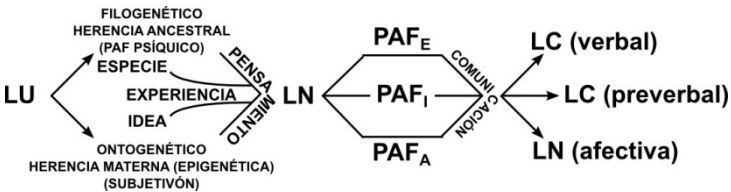


Fig. 10 LENGUAJES DE LA SUBJETIVIDAD

Bases psíquicas del lenguaje (Salatino, 2013, p.223)

Algunas definiciones útiles:

Subjetivón (patrón lingüístico universal): es cada uno de los dominios en que se estructura la realidad subjetiva y representa la base de las distintas formas de ‘ver la realidad’.

Lengua Materna Universal (LMU): dice de cómo se ve la realidad desde el punto de vista psíquico.

Lengua Materna Natural (LMN): dice de cómo se ve la realidad desde el punto de vista biológico.

Lengua Materna Convencional (LMC): dice de cómo se ve la realidad desde el punto de vista social.

La LT estructura una lengua en la psiquis siguiendo un criterio genético y define de qué manera se relaciona esa estructura con los procesos psíquicos, los sistemas reales, el lenguaje natural y la unidad respectiva (figura 11).

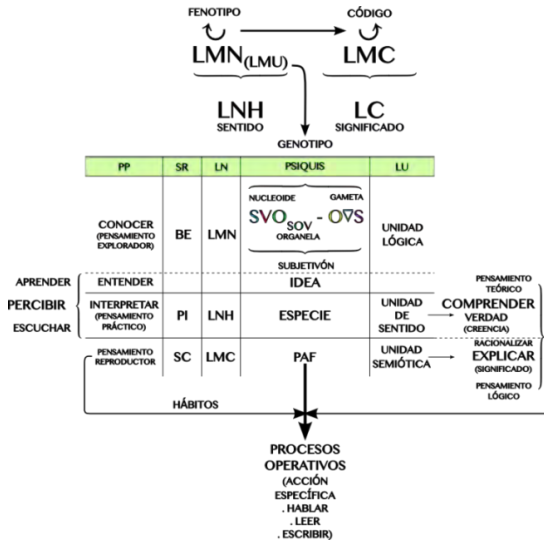


Fig. 11 DISPOSICIÓN PSÍQUICA DE UNA LENGUA

Procesos operativos (Salatino, 2013, p. 197)

Los procesos operativos (figura 12) dependen directamente de los pensamientos pragmáticos (reproductor, lógico e intuitivo), porque representan la única forma de explicitar nuestros pensamientos, mediante el comportamiento y la conducta.

Guiándonos por la figura siguiente, veamos cómo funciona nuestro aparato psíquico según las circunstancias. Así, si observo y luego relato, lo hago mediante el lenguaje natural (comunicación afectiva) y estoy expresando un conocimiento producto de una vivencia, aunque para ello utilice el discurso; si observo y luego describo, lo hago mediante el lenguaje convencional y estoy interpretando, es decir, dándole sentido a un hecho y comunicándolo respaldado en sólidas argumentaciones. Si relato y luego describo, estoy haciendo una observación sobre algo aprendido que incrementó mi conocimiento, o sea, estoy narrando según un saber práctico; si describo y luego relato, estoy narrando según mi entendimiento una idea asida por intuición (estoy creando). En cambio, si relato y describo al mismo tiempo (narro) estoy haciéndolo desde el lenguaje universal, y manifestando una comprensión mediante un pensamiento.

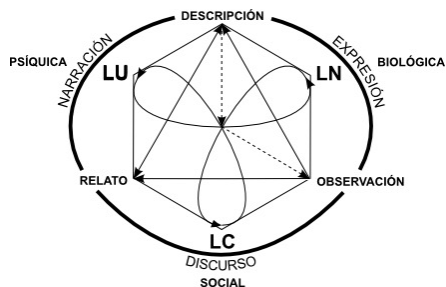


Fig. 12 PROCESOS OPERATIVOS

Observo para aprender, describo para explicar, relato para entender. Luego, si me expreso es porque conozco, si uso el discurso (en cualquier modalidad) es porque interpreto, y si narro es porque comprendo.

Cuando observo desde el lenguaje natural, sé; cuando relato desde el lenguaje universal, intuyo (imagino); cuando describo desde el lenguaje convencional, colijo; esto es, infiero, deduzco, concluyo, conjeturo o argumento.

Conclusiones

La descripción tiene una connotación espacial y es de naturaleza estática, mientras que el relato está supeditado a lo temporal cronológico y muestra una dinámica afectiva superficial y abigarrada. La narración, por su parte, al estar regida por el tiempo interno o psíquico, denota la actividad manada de la comprensión de un cambio o transformación. En estas definiciones no son tenidos en cuenta los detalles habituales invocados para determinar el género literario respectivo, sino más bien solo el arreglo implícito entre el autor (él mismo o a través de sus personajes), el que narra, relata o describe y el lector, más allá que se utilicen distintos recursos lingüísticos para poner esto en evidencia. Siendo consecuentes con la propuesta transcurativa de la psiquis, debemos decir que las tres instancias anteriores (autor, narrador y lector) son en realidad, solo uno y el mismo sujeto. Estas tres instancias representan, ni más ni menos, las etapas evolutivas por las que pasa nuestra psiquis en su desarrollo, y en las situaciones que se dan cotidianamente en una psiquis normal, cuando tiene que lidiar con los tres sistemas reales. La novela, una comunicación científica o cualquier otro género discursivo complejo (Bajtín, 1982, p. 248) no es más que el registro concreto de una fantasía que pretende dar a conocer una versión superficializada de nuestro funcionamiento psíquico. Tan cierto es lo que acabo de afirmar que bastaría con revisar algunos de los clásicos de distintas épocas y de distintos géneros para comprobar que un autor determinado proyectó en su obra abundantes evidencias del modo de elaborar su relación con el mundo, y en no pocas ocasiones, marcados rasgos clínicos de severas alteraciones psíquicas.

Se debe tener en cuenta que la narración constituye la expresión de un pensamiento producto de un proceso de comprensión, y como tal, permite 'construir' una historia o esa estructura temporalizada que es abordada desde la simultaneidad psico-bio-socio-cultural, propia del hombre. Dadas estas características tan particulares de lo narrativo, es que no existen historias 'reales', sino solo 'ficciones'. Esto último que puede resultar chocante y hasta grotesco, se funda en que nadie puede transmitir su experiencia individual; en el mejor de los casos, puedo generar en mi interlocutor, un estado afectivo similar para favorecer un ambiente empático, pero nada más. Tal vez se me podrá achacar un alto grado de necesidad por no considerar las tan comunes historias basadas en 'hechos reales', que reproducen a veces pulcramente lo sucedido. Por supuesto que estas historias existen, pero dado que necesariamente, deben ser escritas o narradas por alguien, que hasta pudo estar involucrado en esos

‘hechos reales’, tal narración no deja de ser una ‘mirada’ individual que trata de ‘retratar’ lo sucedido tanto a él, como a los demás. Esta composición no es más que eso, ‘un retrato’, que será a lo sumo interpretado por el interlocutor ocasional, pero jamás comprendido. Solo es posible comprender la experiencia individual; más todo lo que nos viene ‘desde afuera’ se comporta psíquicamente como una fantasía o como una ficción que permite satisfacer momentáneamente nuestros deseos y dar rienda suelta a nuestras creencias, lo que intuitivamente, es suficiente para complacer nuestro ego.

Solo hay una historia real, nuestra propia historia; las demás hasta pueden tener personajes que existieron objetivamente, pero eso no las hace reales, solo alcanza para plantear nuestro punto de vista superficial y lógico sobre las relaciones que se dieron en un lugar y en un tiempo determinados entre distintos personajes.

Cuando describimos o relatamos, usamos obviamente, la palabra convencional, sin embargo, cuando narramos usamos la palabra psíquica y la biológica, el nexo esta última entre la psíquica y lo convencional.

La palabra biológica es la que permite, por ejemplo, escribir o hablar por lo que está ligada con exclusividad a lo volitivo; mientras que la palabra psíquica la usamos como instrumento de la comprensión, lo cual la liga irremediamente a la cognición, es decir, al pensamiento. Finalmente, la palabra convencional es el único medio que posee el humano para transmitir sus ‘ficciones’.

Referencias

- BAJTÍN, M. (1982) “El problema de los géneros discursivos”, en *Estética de la creación verbal*. Argentina: Siglo XXI editores.
- BATENS, D. (2010) “Adaptive Logics and Dynamic Proofs. Mastering the Dynamics of Reasoning, with Special Attention to Handling Inconsistency. Descargado 25/10/2014. <http://logica.ugent.be/adlog/toc.pdf>
- LLINÁS, R. R. et al. (1994). “Content and Context in Temporal Thalamocortical Binding” - En *Temporal Coding in the Brain*, Buzsáki, G. et al. (editores), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 251-272.

- SALATINO, D. R. (2008). "Realidad, lenguaje natural y una lógica alternativa". *Anales de Lingüística - Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Filosofía y Letras - Instituto de Lingüística - Centro de Estudios Lingüísticos* (Tomo XX-VII-XXVIII-XXIX: 2005-2006-2007): 75-106. Mendoza, Argentina: Editorial FFL. ISSN: 0325-3597.
- SALATINO, D. R. (2009). "Semiótica de los sistemas reales" - Tesis Doctoral en *Letras especialidad Psicolingüística* por la FFyL - UNCuyo, Mendoza, Argentina.
- SALATINO, D. R. (2012). "Aspectos psico-bio-socio-culturales del lenguaje natural humano. Introducción a la teoría psíquica del lenguaje" - Mendoza, Argentina - Desktop Publishing, ISBN: 978-987-33-2379-9.
- SALATINO, D. R. (2013). "Psiquis - Estructura y Función" - Mendoza, Argentina - D.P., ISBN: 978-987-33-3808-3.

Elección racional de teorías: neodarwinismo o diseño inteligente

Juan Ernesto Calderón¹

Resumen

Una de las cuestiones más debatidas en la filosofía de la ciencia contemporánea es cómo se hace la elección entre teorías rivales que comprenden un campo común de referencia. Esta cuestión adquiere mayor relevancia cuando aparecen posiciones dentro de la filosofía de la ciencia, tales como la teoría de la inconmensurabilidad, que plantean que la elección de una teoría sobre otra no es racional. Dentro de esta posición se encuentra Thomas Kuhn, con su tesis de la inconmensurabilidad global. Más allá de que esta forma de ver la ciencia son poco productivas y de hecho los mismos científicos no le dan mayor relevancia, obliga a la filosofía de la ciencia a ensayar respuestas adecuadas al problema de la elección racional de teorías. Sobre esta base, la presente contribución plantea que la comparación racional de teorías se puede hacer a través de la Inferencia a la Mejor Explicación, la cual señala que la presencia de modelos efectivos en la teoría es una de las notas fundamentales para explicar que la elección del científico es racional. Tomaremos como ejemplo dos teorías que pretende explicar y se aplican al mismo campo: el Neodarwinismo y el Diseño Inteligente. Se mostrará que es más racional adherir al Neodarwinismo que al Diseño Inteligente, porque es más exitosa, en función de lo que la teoría efectivamente explica y predice. Así, el Neodarwinismo tiene un modelo efectivo en la microevolución, mientras que el Diseño Inteligente no tiene ningún modelo efectivo, además de recurrir a una entidad que no sirve como explicación científica, sino religiosa.

Palabras claves: Neodarwinismo; Diseño Inteligente; Teorías; Inferencia a la Mejor Explicación.

¹ Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.

Introducción

El Diseño Inteligente (DI) afirma que el Neodarwinismo (ND) no puede explicar, a través del mecanismo de mutación-selección, la aparición de nuevas formas de vida, la llamada 'macroevolución'. Para los representantes del DI, la aparición de nuevas formas de vida más complejas implica información más compleja, la cual no puede surgir por azar, sino que requiere la presencia de un diseñador, que es demostrable científicamente. La respuesta del ND a las críticas del DI se asienta en el hecho de que no puede aplicarse sin más el cálculo de probabilidades, desconociendo que la emergencia de nuevas formas de vida se da en un contexto que restringe las posibilidades de combinación. El punto crucial es que no se conocen las condiciones en las cuales se dio la emergencia de las nuevas formas de vida, por lo que no podemos dar una respuesta definitiva sobre cuál es la que tiene razón. Si se asume que todas las combinaciones posibles tienen igual probabilidad, entonces el DI tiene razón porque es imposible que por azar surjan las nuevas formas de vida. Si el proceso de mutación-selección implica restricciones, entonces el ND tiene razón, porque en el surgimiento de las nuevas formas de vida no se pueden considerar todas las combinaciones. A pesar de esta falta de una respuesta definitiva, la comunidad científica afirma que es más racional adherir al ND que al DI. La cuestión es cómo se puede explicar desde el ámbito epistemológico esta actitud de la comunidad científica.

El objetivo de la presente contribución es mostrar, utilizando la Inferencia a la mejor explicación (IME), que es más racional adherir al ND porque es más exitosa que el DI, en función de lo que la teoría efectivamente explica y predice. Recurrir a la IME también sirve para rechazar la afirmación del DI de que el diseñador es la mejor explicación. Contrariamente a lo que sostiene el DI, la IME no es una estrategia correcta para afirmar la existencia de un diseñador sino que demuestra que el ND es una mejor explicación que el DI. Para tal fin se trabajará, en primer lugar, en qué consiste la crítica científica del DI al ND y por qué esta crítica implica la presencia de un diseñador. Segundo, se indicará cuál es la respuesta del ND y cómo puede aparecer un ámbito de indefinición porque no se conocen las condiciones en las cuales efectivamente se dio la aparición de las nuevas formas de vida. Por último, se indicará en qué consiste la IME y cómo, a través de ésta, es posible explicar por qué es más racional adherir al ND que a la DI. El ND, como toda teoría científica, plantea varios problemas y brinda explicaciones y predicciones. El DI, en cambio, no presenta ningún problema porque todo se explica a partir

de la figura del diseñador, pero sin que se indique cómo efectivamente interviene.

Una crítica fundamental del Diseño Inteligente

Una crítica del DI señala la imposibilidad de explicar la aparición de nuevas formas de vida a través del mecanismo propuesto por el ND. Tomando como base la relación entre la aparición de nuevas formas de vida y la teoría de la información de Shannon (1948). La crítica del DI (Meyer, 2004) está dirigida al modo como el ND da cuenta de la macroevolución o proceso de formación de nuevas formas de vida. El ataque toma como punto de partida el análisis de la llamada ‘explosión del Cámbrico’. Durante el Cámbrico, aparecieron numerosos nuevos diseños o formas de vida en un periodo muy corto, lo que implicaría la ausencia de formas intermedias de transición, que es justamente lo que parece observarse en el registro fósil. El DI cuestiona el hecho de que el ND -a través de un proceso gradual como el de mutación y selección- pueda explicar la súbita aparición de estas formas pues esto implica explicar la aparición –también de forma súbita- de la compleja información necesaria para producir las formas que se originaron en este periodo.

Pero no se trata sólo ni principalmente del escaso tiempo que dispuso la naturaleza –por hablar así- para producir una importante cantidad de nuevos diseños pues podría argumentarse que una cosa son los tiempos geológicos y otra muy diferente los biológicos (Ayala, 2006). El problema radica en la probabilidad matemática para la aparición de la información que nuevas formas de vida requieren y que hoy puede ser medida con exactitud. Por ejemplo, la proteína lisil oxidasa -condición necesaria para la existencia de formas con esqueleto, como las que aparecieron en el Cámbrico- está constituida por una secuencia ordenada de 400 aminoácidos. Si se advierte que la probabilidad de obtener en forma azarosa una secuencia ordenada de 100 aminoácidos es de 1 en 10^{65} , entonces se puede percibir el grave problema. Ésta es en el fondo la crítica más importante que hace el DI y que constituye un desafío para cualquier teoría evolutiva, no sólo el ND sino otras que andan en danza en el mundo de la biología evolutiva.

Además, debe advertirse que construir nuevas formas de vida requiere no sólo de una muy compleja cantidad de nueva información genética sino también de un medio para estructurar lo que codifican los nuevos genes, esto es, nuevos caracteres fenotípicos, en niveles más altos. Esto es

algo que informalmente podríamos llamar ‘supercomplejidad’. En otras palabras, la novedad fenotípica debe adecuarse armoniosamente al resto del organismo en el que ella aparece. Este problema también es una asignatura pendiente del ND a los ojos del DI, el cual aún no ha recibido explicación satisfactoria. Podríamos añadir algo más: en cada paso el nuevo producto debería ser adaptativo pues de otro modo, ¿por qué habría sido preservado por la selección natural?

Pero las críticas del DI no cuestionan las explicaciones del ND a nivel de microevolución. En este sentido, Meyer (2004) afirma que este mecanismo puede explicar muchos *detalles* de los diseños orgánicos (estructurales y fisiológicos), tales como las adaptaciones de los organismos a ambientes altamente demandantes. Estos mecanismos microevolutivos son suficientes –aquí comparten la misma opinión el diseño inteligente y el darwinismo actual– para explicar, por ejemplo, los cambios de tamaño de los picos de los pinzones de las Galápagos, que han ocurrido en respuesta a variaciones en la cantidad de lluvias anuales y alimentos disponibles.

El punto crucial es si podemos determinar con certeza cómo se dio el surgimiento de las nuevas forma de vida, para lo cual es esencial conocer las condiciones iniciales. Martin Nowak (2005) señala que “We can not calculate the probability that an eye came about. We don’t have the information to make this calculation”. En este sentido, Bernard-Olaf Küppers (2000, 120-1) afirma que “Since the structure of a protein molecule itself makes a contribution to its own physicochemical environmental conditions, the ‘initial conditions’ are modified successively in the course of the folding of the protein. This makes the calculation of the three-dimensional folded structures of proteins an enormously complex and, at present, virtually intractable problem”. Según Küppers (2000, 164) hay dos razones fundamentales por las cuales no podemos deducir los las restricciones biológicas “... (a) the evolutionary origin of biological boundary conditions is based upon random events, that is, genetic mutations, and (b) the historical process took place under conditions that cannot be completely reconstructed today”. La primera limitación no puede ser eliminada, en la medida en que la dirección del proceso de evolución depende de mutaciones microfísicas, las cuales son completamente indeterminadas. Además, “biological constrains developed in a process with continuous feedback, in which the result of primary optimization phase becomes the constrain of the next phase”. La segunda, puede ser superada parcialmente a través de experimentos controlados. Sin embargo, “...with the exception of molecular evolution processes, evolutionary changes (e. g., the

formation of species) occur usually over such long periods of time that cannot be observed directly. The witness to evolution is thus borne only by paleontological finds, which represents, so to speak, snapshots of evolution. But even here the problem remains that important intermediate forms of phylogenetic development ("missing links") cannot be found".

Aquí es donde reside el problema, porque si no conocemos ni podemos reproducir las condiciones iniciales en las cuales se generan estas nuevas formas de vida, entonces ambas posiciones, el ND y el ID, perfectamente pueden sostener cada una su concepción sobre cómo se aplica el cálculo de probabilidades. Si se asume que todas las combinaciones jugaron, entonces el ID tiene razón porque es imposible que por azar surjan las nuevas formas de vida. Si el proceso de mutación-selección implica restricciones, entonces el ND tiene razón, porque en el surgimiento de las nuevas formas de vida no se pueden considerar todas las combinaciones.

La respuesta del ND

El ND da una respuesta a estas críticas del DI. La respuesta se basa en que la selección natural actúa preservando las secuencias genéticas con caracteres favorables. Sólo el azar no es suficiente. Aquello que el azar solo no puede hacer, la selección actuando sobre las mutaciones sí puede hacerlo a través de un proceso acumulativo de pequeños cambios sucesivos. Por esto, Francisco Ayala (2006) afirma que la selección es creativa en el sentido de que hace que se retengan los caracteres favorables.

En la misma línea, Peter Olofsson (2008), señala que el análisis que hace Dembsky del flagelo bacteriano parte de un supuesto seriamente cuestionable. Este supuesto señala que no existe ninguna forma de eliminar posibilidades de combinación previamente a la selección o, dicho en otros términos, que todas las posibles combinaciones aplican con igual probabilidad. Si se toman las trece letras de the Shakespearean phrase TO BE OR NOT TO BE, indica Olofsson, sin ningún tipo de criterio, las probabilidades de que esta frase emerja por azar son prácticamente nulas. Si se analiza teniendo en cuenta que se trata de una frase en inglés, la situación cambia. Si además se le agrega que una letra es elegida en función de la secuencia en la que regularmente aparece, más plausible se vuelve el hecho de que pueda darse por azar. De la misma manera es imposible aplicar el cálculo de probabilidades sin ningún tipo de restricciones en el campo de la biología. En palabras de Olofsson (2008):

“In a way, the ideas in The Design Inference and No Free Lunch are examples of an exaggerated belief in mathematical methods in the science. Mathematical methods are of course extremely usefull, but not equally so in each scientific discipline.... Mathematics, probability, and statistics can be, and have been, very successfully applied in many fields of biology. However, there are also many obstacles and limitations and as we have seen, these alarmingly present in attempted applications of the explanatory filtre”.

Más específica es la respuesta que da Olle Häggström (2007) a la interpretación que hace Dembsky (2002) del llamado ‘No Free Lunch’ theorem (NFL). La aplicación que hace Dembsky del NFL puede resumirse en el siguiente algoritmo A: “ If the fitness function f is generated at random according to uniform distribution among all the $|S|^{|V|}$ possibilities”. Puesto en estos terminos, afirma Häggström, “ ... the Darwinian algorithm A cannot be expected to fare any better than blind search, and will therefore almost certainly fail to produce specified complexity”. Sin embargo, “... any reasonably realistic model for the actual fitness landscape will produce something that is very, very different form [A] produces”. Un modelo realista de adaptación al ambiente debe poseer lo que Häggström llama ‘clustering’, que implica que secuencias similares de DNA tienen similares valores de adaptación. Si se toma un organismo con gran capacidad de adaptación y se cambia un solo nucleótido en la cadena de DNA, es altamente probable que se produzca también un organismo con alta capacidad de adaptación. Esto contrasta con la visión del ID que sostiene que el cambio de un solo nucleótido es lo mismo que poner un genoma completamente diferente.

Cuál es la mejor explicación

Meyer (2004) señala que la IME, aplicada al problema de la emergencia de nuevas formas de vida, sirve para afirmar la presencia de un diseñador. Meyer sostiene que pretender usar una causa material para explicar la aparición de nuevas formas de vida conduce a un callejón sin salida, mientras que recurrir a una causa inteligente puede ser la solución. La causa *inteligente* actúa de la misma manera que le mente humana cuando genera secuencias improbables a partir de ideas preconcebidas o como cuando se fabrica un objeto nuevo. En estos casos la mente humana sirve de analogía para explicar cómo funciona y opera un diseñador.

Sin embargo, si se toma correctamente la IME no puede servir de base al DI. La IME permite comparar hipótesis. H_1 y H_2 pueden ser consideradas comparativamente tomando en cuenta su grado de verosimilitud. La elección de una hipótesis sobre otra no es irracional porque están relacionadas a su grado de verosimilitud.

Statis Psillos (2009, 184-5) señala seis puntos claves que sirven para establecer cuál es la mejor hipótesis. 1. *Consilience*: si hay dos hipótesis H_1 y H_2 y el “relevant background knowledge” favorece H_1 sobre H_2 , a menos que no aparezca algún cambio relevante, H_1 debe ser considerada la mejor explicación. 2. *Completeness*: si existe una sola hipótesis explicativa H que explica todos los datos, a pesar de que aparezcan otras que expliquen parcialmente, H debe ser considerada la mejor. 3. *Importance*: si hay dos hipótesis H_1 y H_2 que no explican la totalidad de los fenómenos relevantes, pero H_1 explica los más salientes, H_1 es la mejor. 4. *Parsimony*: si H_1 y H_2 explican todos los hechos, pero H_1 usa menos asunciones que H_2 , entonces H_1 es la mejor. 5. *Unification*: si H_1 y H_2 son hipótesis compuestas, pero H_1 tiene menos hipótesis auxiliares que H_2 , H_1 es la mejor. 6. *Precision*: si H_1 ofrece una explicación más precisa del fenómeno, “... in particular an explanation that articulates some causal-nomological mechanism by means of which the phenomena are explained”, H_1 es mejor que H_2 .

Junto con los seis puntos indicados, hay otro elemento clave de la IME que debemos tener en cuenta: la coherencia. “In the end, IBE enhances the explanatory coherence of a background corpus of belief by choosing a hypothesis which brings certain pieces of evidence into line with this corpus” (Psillos, 2009, 188). Cuando se afirma que H es la mejor hipótesis, se supone la coherencia no sólo entre el corpus de conocimiento sino también con los datos que se intentan explicar. En este sentido, apelar a una entidad que está fuera del ámbito de lo que se intenta explicar puede ser calificado de falto de coherencia.

El DI resuelve todo con la presencia de un diseñador. La ciencia, a diferencia de lo que proponen los representantes del DI, siempre plantea nuevos problemas. Esto se refleja en la forma en que la IME toma la noción de verosimilitud. “In our interactions with the world, the exact truth cannot generally be had, especially concerning the unobservable and spatio-temporally remote aspects of the world. A perfect match between theories and the world is almost impossible” (Psillos 1999, 276). Esta situación responde a muchas razones. Una de ellas es la complejidad de los fenómenos naturales que impiden ser representados completamente

por las teorías científicas. Siempre se necesita algún tipo de idealizaciones y simplificaciones a la hora de formular las teorías. Por esto, “The conceptual schemes that sciences use to study the world are *revisable* and *revised*” (Psillos 2009, 32). El ND presenta, como toda teoría de alto grado de complejidad, problemas. Pero esta situación no invalida la teoría sino que afirma el carácter científico de la misma.

Sobre esta base, es posible rechazar la crítica que proviene del DI y que afirma que el ND no tiene un fundamento científico adecuado para explicar el surgimiento de las nuevas formas de vida. Según Dembsky, (1999, p. 114) el ND continúa vigente en la comunidad científica porque está fundado en una metafísica naturalista, la cual es “.., tan ponderosa y persuasiva que no deja lugar a puntos de vista alternativos y tampoco permite ser criticada”. De acuerdo con Jan Wolenski (2010), el naturalismo puede ser resumido en tres puntos: 1. Únicamente existen objetos naturales; 2. sólo las capacidades epistémicas pueden ser admitidas en ciencia; 3. Debemos confiar en las capacidades epistémicas naturales.

Por ello, Dembsky afirma que la controversia entre ND y DI refleja una lucha de diferentes visiones de mundo. Siguiendo este razonamiento, los defensores del DI sostienen que el ND rechaza la inclusión de un diseñador por motivos filosóficos antes que científicos. Si se analiza la crítica de la DI al ND a la luz de la tesis de inconmensurabilidad global², se llega a la conclusión de que estamos efectivamente hablando de mundos diferentes donde el término ‘ciencia’ significa cosas diferentes (Kuhn, 1970, p. 150). La introducción de los paradigmas lleva aparejada, en la primera etapa de la obra de Kuhn, un fuerte sesgo relativista: las sucesivas revoluciones científicas no implican un progreso lineal del conocimiento. En el aspecto ontológico, la posición kuhniana inicial ha sido clasificada de relativista por varios críticos, en la medida que las teorías científicas rivales son portadoras de visiones del mundo contrapuestas. Dicho relativismo está íntimamente ligado al aspecto semántico, porque el significado depende del paradigma, y al aspecto epistémico, donde la objetividad de la ciencia también está relacionada con el paradigma vigente (Haack, 1996).

² Esta tesis tuvo vigencia en las primeras obras de Kuhn, específicamente la versión de ‘La Estructura’ del ’63. La obra de Kuhn sufrió múltiples cambios que lo llevaron a cambiar y restringir su tesis. Esta es una temática que no abordaremos en la presente contribución.

Si se asume que el ND y la DDI hablan de mundos diferentes, la afirmación de Francisco Ayala (2007, p. 15) –“propriadamente entendidas, la ciencia y la fe religiosa no están en contradicción, ni pueden estarlo, puesto que tratan de asuntos diferentes que no se superponen”– no sirve para rebatir la crítica de la DDI, porque ésta asume que la presencia del diseñador es algo que se puede demostrar dentro de la ciencia. Para la DDI el diseñador *sirve* como explicación a nivel científico. Esto último es inaceptable para el ND, justamente porque implica otras reglas, las cuales son extrañas a *su* juego de lenguaje. Como es ampliamente reconocido, la noción de paradigma de Kuhn tiene un antecedente directo en la obra del segundo Wittgenstein. Wittgenstein (1958, § 51) introduce la noción de ‘paradigma’ como un elemento clave de los ‘juegos de lenguaje’. Como todo juego, el lenguaje presenta reglas, las cuales no son ‘a priori’ sino que tienen sentido en el juego mismo, por lo cual el sentido de una parte del lenguaje no puede entenderse sin tener en cuenta el juego en el cual aparece.

Sostener que la DDI y el ND son dos paradigmas inconmensurables no sólo significa que los términos tienen diferente significado, sino que también torna imposible determinar por qué es más racional adherir a este último. La razón para ello es que, así definida, la tesis de la inconmensurabilidad está asociada a una definición débil de verdad. La definición débil de verdad significa que sólo se puede afirmar que un enunciado tiene la pretensión de ser verdadero dentro de un *juego de lenguaje*, lo cual implica que la verdad no es una propiedad intrínseca de los enunciados que se llaman verdaderos. Como señala Künne, “Una proposición X es verdadera, ..., si y sólo si, los objetos realmente son como ellos son de acuerdo con X” (2005, p. 373).

Conclusión

La imposibilidad de determinar de manera definitiva las condiciones en las cuales las nuevas formas de vida aparecen y la aplicación irrestricta de la teoría de la probabilidad ha hecho que el DI intente reintroducir la vieja idea del diseñador. El discreto encanto del DI es que sirve para explicar todo: ningún problema permanece insoluble tomando la idea de un diseñador. Es incuestionable que el ND, como toda teoría científica relevante, plantea interrogantes y por eso la comunidad científica considera más racional adherir al ND que al DI. La IME explica porque adherir al ND antes que al DI es una actitud racional. El ND efectivamente

explica mientras que el DI introduce un diseñador pero no especifica cómo interviene el diseñador. Por esta razón, si analizamos la actitud de la comunidad científica apelando a la IME el resultado es el opuesto al que postula Meyer (2007) porque el ND es mejor que el DI.

Referencias

- AYALA, F.: 2006, *Darwin and Intelligent Design*. Fortress Press, Minneapolis.
- DEMBSKI, W.A.: 1998, *The design inference: eliminating chance through small probabilities*. Cambridge, University Press, Cambridge.
- DEMBSKI, W.A.: 1999, *Intelligent Design: The Bridge Between Science & Theology*, Inter Varsity Press, Downers Grove.
- DEMBSKI, W.A.: 2002, *No Free Lunch: Why Specified Complexity Cannot Be Purchased without Intelligence*, Rowman & Littlefield, Boston.
- HÄGGSTROM, O.: 2007, 'Intelligent design and the NFL theorems'. *Biol Philos* 22: 217–230.
- HAACK, S.: 1996, 'Reflections on Relativism: From Momentous Tautology to Seductive Contradiction', TOMBERLIN, James (ed.) *Philosophical Perspectives 10: Metaphysics*. 297–315.
- KUHN, Th.: 1970, *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
- KÜNNÉ, W.: 2005, *Conceptions of Truth*. Oxford: Oxford University Press.
- KÜPPERS, B.-O. (2000) *Information and the Origin of Life*, The MIT Press, Cambridge. Massachusetts.
- MEYER, S.: 2004, 'The origin of biological information and the higher taxonomic categories', *Proceeding of the Biological Society of Washington*, 117: 213–239.
- MEYER, S.: 2007, *A Scientific History – and Philosophical Defense – of the Theory of Intelligent Design* <http://www.discovery.org/>

scripts/viewDB/filesDB-download.php?command=download&id=3241

- NOWAK, M.: 2005, *Time magazine*, August 7, 2005.
- OLOFSSON, P.: 2008, 'Intelligent design and mathematical statistics: a troubled alliance'. *Biol Philos* 23:545–553.
- PSILLOS, S.: 1999, *Scientific Realism. How science tracks truth*, Routledge, London and New York.
- PSILLOS, S.: 2009, *Knowing the Structure of Nature: Essays on Realism and Explanation*, Palgrave Macmillan, London.
- SAPP, J.: 2003, *Genesis. The Evolution of Biology*. Oxford University Press.
- SHANON, C.: 1948, 'A mathematical theory of communication'. *Bell System Technical Journal* 27:379–423, 623–656.
- WITTGENSTEIN, L.: *Philosophical Investigation*. Oxford: Basil Blackwell, 1958.
- WOLENSKI, J.: 'Naturalism and the Unity of Science', SYMONS, John, et al. (eds.) *Otto Neurath and the Unity of Science*. London and New York: Springer, 2010. 191–199.

Los principios de la ciencia: dos ejemplos concretos, David Bohm y Richard Levins

Pablo Cruz Villalba¹

Introducción

En el octavo y último capítulo de *Los principios de la ciencia*, Eduardo Nicol demuestra que Heráclito formula por primera vez los cuatro principios que le dan nombre a este libro, a saber, unidad y comunidad de lo real, unidad y comunidad de la razón, racionalidad de lo real y temporalidad de lo real.

Lo que quiero mostrar con esta ponencia es un paralelismo que encontré entre estos cuatro principios propuestos por Nicol —y encontrados en Heráclito— y su reproducción en dos científicos de diferentes campos. En primer lugar, David Bohm, físico que contribuyó enormemente a la mecánica cuántica y a la teoría de la relatividad. Se mostraba insatisfecho con la interpretación de Copenhague y propuso un nuevo enfoque: la interpretación ontológica. En este momento quisiera exponer las bases filosóficas para esta interpretación. No hablaré sobre la interpretación matemática de la teoría, primero porque no es el lugar y segundo porque no podría hacerlo. Interesa en este momento el giro teórico y la respuesta al modo de pensamiento de la escuela de Copenhague.

En segundo lugar, Richard Levins, un ecólogo matemático que ha escrito sobre genética de poblaciones y, con Richard Lewontin, ensayos sobre filosofía y metodología de la biología. Levins se llama a sí mismo filósofo marxista y recupera la dialéctica para el estudio biológico y ecológico. Confiesa extraer su método del primer capítulo de los *Grundrisse* de Marx. No podría explicar, por más que quiera, las aplicaciones propias de estos cuatro principios en la ecología y la genética de poblaciones, pero es preciso hablar sobre su aparición en el campo biológico.

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

La ciencia subversiva

En el apéndice del Libro I de la *Ética*, Spinoza dice:

Pues una vez que [los hombres] han considerado las cosas como medios, no han podido creer que se hayan hecho a sí mismas, sino que han tenido que concluir, basándose en el hecho de que ellos mismos suelen servirse de medios, que hay algún o algunos rectores de la naturaleza, provistos de libertad humana, que les han proporcionado todo y han hecho todas las cosas para que ellos las usen. [...] Y así, este prejuicio se ha trocado en superstición, echando profundas raíces en las almas, lo que ha sido causa de que todos se hayan esforzado al máximo por entender y explicar las causas finales de las cosas. Pero al pretender mostrar que la naturaleza no hace nada en vano (esto es: no hace nada que no sea útil a los hombres), no han mostrado —parece— otra cosa sino que la naturaleza y los dioses deliran lo mismo que los hombres.

El hombre, al comienzo de la modernidad, que coincide y se relaciona con el inicio del modo de producción capitalista, se ha separado de la naturaleza. Se ha convertido en un expectante externo de cualquier relación con la naturaleza dada que le rodea y que lo determina. Piensa, luego existe. Estudia lógica, física y matemáticamente, cuantitativamente, el mundo que aparece ante sus ojos, pero también se sirve de ese mundo como medio para lograr sus fines. A finales del siglo XVI, Zacharias Jansen inventa el microscopio y Galileo, el termómetro de agua. A mediados del siglo XVII, Christiaan Huygens inventa el reloj de péndulo y Newton el telescopio reflector. Estas formas absolutas de medición muestran una visión mecanicista del mundo que se interesan por el estudio de las partes más pequeñas que pretenden formar el todo. Eduardo Nicol dice: «La desilusión en las capacidades de la razón científica para promover la unanimidad, la compensa la sofística (lo mismo entonces que hoy) asignando a la razón una finalidad práctica (no ética), por encima de la exigencia de verdad (noética)» (Nicol, 1984, p. 493). Yo añado que la desilusión de la razón científica —que no ha sido mas que un error de procedimiento— la compensa la tecnocracia asignando a la razón un carácter antropocentrista con una finalidad no sólo práctica, sino que también orientada y a mantener una lógica irracional.

El hombre se ha servido de sus máquinas y del mundo que le rodea para satisfacer necesidades creadas por mercados creados. La empresa suiza Glencore, por ejemplo, controla el 50% del mercado mundial de cobre. Es el mejor metal no precioso para la conducción eléctrica, por lo que se usa para fabricar cables, transformadores, generadores y motores.

Es uno de los materiales presentes en las monedas de dólar y de euro. El cobre forma parte de todo tipo de maquinaria y es uno de los materiales predilectos por los escultores. La economía de Zambia depende, en gran medida del cobre. Es hoy, el octavo país con más cobre en el mundo. Glencore, por lo tanto, tiene una gran industria de extracción en este país. En 2011 se demostró que por lo menos cinco millones de personas presentaban graves problemas respiratorios por los altos niveles de dióxido de carbono emitidos por las plantas de extracción. Hoy, Zambia es uno de los países con más cobre en el mundo. Zambia es uno de los países más pobres del mundo, pero la Estatua de la Libertad está hecha de cobre. ¿Será que hoy, como dice Nicanor Parra, la libertad es sólo una estatua?

La ciencia se produce y produce con miras a los intereses capitalistas de las grandes industrias. Su objetivo, por lo tanto, no es entender la realidad y la relación que el hombre tiene con ella, relación que no se da en un plano jerárquico de observador y observado, sino en un plano inmanente donde el observador se observa a sí mismo y observa lo que le rodea en un mismo movimiento de observación. Como decía el argentino Juarroz:

El universo se investiga a sí mismo.
Y la vida es la forma
que emplea el universo
para su investigación.

La flecha se da vuelta
y se clava en sí misma.
Y el hombre es la punta de la flecha.

El hombre se clava en el hombre,
pero el blanco de la flecha no es el hombre.

Un laberinto
sólo se encuentra en otro laberinto.

La ciencia, entonces, que busca la comprensión de lo real como medio para la explicación y la organización racional del mundo es hoy subversiva.

Bohm (2010) dice que el objetivo de su trabajo científico y filosófico es la comprensión de la naturaleza de la realidad en general y de la conciencia en particular, entendidas como una totalidad coherente que nunca

es estática o completa, sino que es un proceso infinito de movimiento y despliegue.

Levins, por su parte, acepta que todo científico se enfrenta al mundo con un conjunto de preconcepciones que funcionan como un marco para el análisis del mundo. Él tiene una perspectiva dialéctica materialista que confronta directamente la ideología mecanicista, reduccionista y positivista que domina la educación académica y predomina en los ambientes intelectuales.

Unidad y comunidad de lo real

Según Eduardo Nicol, la unidad es un dato de la experiencia, se percibe; no es teoría, es concepto. La fórmula precisa de la unidad es sobre lo que se teoriza. Aunque los entes se presenten en una pluralidad, cómo múltiples y diversos, se presentan *en un mundo*. Así, la pluralidad es una abstracción de la unidad, no al revés. La coexistencia de las cosas es un dato tan primario como el de su existencia, por lo tanto, la puesta en duda de la unidad por la abstracción de *una* cosa suelta es un falso problema. «Cuando la teoría filosófica sostiene que el único factor de unificación es la conciencia, presupone sin justificantes que la realidad misma no está unificada u ordenada», dice Nicol (1984, p. 478). Para Levins, hacer de la unidad una teoría es una postura reduccionista.

La unidad es un dato primario a partir del cual se puede teorizar sobre la realidad. La unidad de la realidad no se concibe sumando los entes particulares y aparentemente aislados. *Con-junción, com-posición y co-existencia* en el plano ontológico (incluyendo necesaria y consecuentemente espacio y tiempo) son relaciones primarias entre los objetos que deben funcionar como axiomas de la investigación científica. Levins y Lewontin exponen cuatro principios de la visión dialéctica (1985) que son compatibles con los principios que Nicol encontró en Heráclito y se oponen a los cuatro principios de la ontología del reduccionismo cartesiano que se expondrán más adelante:

1. La totalidad es la relación de partes heterogéneas que no tienen una independencia ontológica previa como partes.
2. Las propiedades de las partes no tienen una existencia alienada ontológicamente previa, sino que son adquiridas por ser partes de una totalidad en particular, es decir, las partes sólo adquieren

propiedades que las caracterizan cuando forman una totalidad a partir de su interacción.

3. La interpenetración de las partes y el todo es una consecuencia de la intercambiabilidad de sujetos y objetos, causas y efectos (la totalidad no es simplemente el objeto de interacción de las partes, sino que es el sujeto que actúa sobre las partes).
4. Como consecuencia, hay una recreación de los elementos por su interacción entre ellos y son, asimismo, recreados por las totalidades de las cuales son parte. El cambio es una característica de todo sistema y de todos los aspectos del sistema.

Entiende la pluralidad de partes de una totalidad como entidades existentes, pero también relevantes o no dependiendo de la investigación. Asume que las cosas son internamente heterogéneas en todos los niveles. Esta heterogeneidad no quiere decir que las partes del objeto estén compuestas por unidades fijas, sino que la división correcta de la totalidad en partes depende del aspecto particular que se quiere investigar de la totalidad. Por lo tanto, Levins parte del hecho de que hay una totalidad ontológicamente indivisible que se separa metodológicamente para su investigación. El todo hace las partes, como también, lógicamente la existencia de partes implica la totalidad.

Heráclito afirmaba que los que no hablan sin pensar deben fortalecerse en lo que es común a todos, a saber el ser y el pensar (dos comunidades reales interdependientes). «Aferrarse al ser es aferrarse a la razón, la cual es, en un sentido, la ley del ser, y en otro sentido es la ley del pensar» (Nicol, 1984, p. 483).

Unidad y comunidad de la razón

La comunidad del pensar depende de la comunidad del ser. La unidad y comunidad de la razón se afirma en una realidad única y común, aunque la razón difiera en sus modos de representación. La condición de posibilidad de la discrepancia entre sujetos o teorías es la comunidad de lo real, pues *el fundamento de la verdad es el ser. Pero el ser también es fundamento del error*. La unidad no implica y no es uniformidad. Aceptar lo anterior elimina el dinamismo y la multiplicidad del pensamiento y del ser. «Con la razón ocurre lo mismo que con el ser. La unidad del mundo no implica su uniformidad: el mundo es uno *porque* es múltiple y

diverso» (Nicol, 1984, p. 486). Bohm (2010) dice que la manera general en la cual el hombre piensa en la totalidad (esto es, su visión general del mundo), es crucial para determinar el orden general del pensamiento. Si piensa la totalidad constituida por fragmentos independientes, así es como va a operar su pensamiento; pero si puede pensar coherente y armónicamente en una totalidad general que no está ontológicamente fragmentada, entonces su pensamiento va a tender a funcionar de esa manera.

La unidad y uniformidad fue confundida en la modernidad por el racionalismo, por la tradición que va de Descartes a Husserl. «De ahí la tendencia logicista, y el empeño de uniformar “el lenguaje de la ciencia”. Ahora la confusión entre unidad y uniformidad ya no se justifica, pues ignora ese otro factor de diversidad, que es el factor histórico» (Nicol, 1984, p. 487). Levins (2010) hace una fuerte crítica al modo cartesiano reduccionista de proceder que hoy predomina en las ciencias físicas, biológicas y sociales. Encuentra cuatro principios ontológicos que permean el proceso de construcción del conocimiento que impera desde hace algunos siglos:

1. Hay un conjunto natural de unidades o partes a partir de las cuales cualquier totalidad (como sistema) es constituida.
2. Estas unidades son homogéneas en tanto que afectan a la totalidad en la misma medida (cualitativamente, no cuantitativamente, hablando).
3. Las partes son ontológicamente previas a la totalidad, es decir, las partes existen aisladas y se unen para constituir totalidades. En pocas palabras, el todo no es más que la suma de sus partes.
4. Las causas, como propiedad de los sujetos, están separadas de sus efectos, como propiedad de los objetos.

Levins llama a esto «el mundo alienado», en el cual las partes son separadas de la totalidad y cosificadas como cosas en sí mismas. Esta estructura física del mundo, dice, es un reflejo de la estructura alienada de la sociedad que la concibió. El objetivo explícito de esta estructura física del reduccionismo cartesiano es encontrar un conjunto muy pequeño de causas independientes o factores que pueden ser usados para reconstruir un dominio amplísimo de fenómenos. La ciencia alienada, entonces, trata con proyecciones alienadas del mundo; mientras que una visión dialéctica busca comprender los objetos en todas sus dimensiones. Es claro

que lo que Levins llama la ciencia alienada es el despliegue de la negación de la unidad y comunidad de lo real que se traduce en la negación de la unidad y comunidad de la razón. La ciencia alienada no acepta como dato primario de la experiencia la unidad y totalidad de lo real.

Bohm (2010) también señala que el orden cartesiano lleva a serias contradicciones y confusiones en el terreno de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica. Ambas teorías presuponen que el estado de lo real del universo es una totalidad ininterrumpida, rechazando así un conjunto de partes independientes. La propuesta de Bohm es que toda la materia es de la naturaleza siguiente: hay un flujo universal que no puede ser definido de manera explícita, pero que puede conocerse implícitamente. En este flujo, el pensamiento y la materia no son sustancias separadas, sino que son dos aspectos diferentes de un movimiento completo e indiviso. Con respecto al conocimiento, éste es producido, expuesto, comunicado, transformado y aplicado. Bohm define el pensamiento, en su devenir en sí mismo, como la respuesta activa de la memoria en cualquier fase de la vida, incluyendo respuestas intelectuales, emocionales, sensibles, musculares y físicas. Si consideramos el pensamiento sólo en su aspecto intelectual, desechando el aspecto físico, entonces sería una visión fragmentada del mismo. La inteligencia, que es posible gracias a la existencia del pensamiento, es la habilidad de percibir nuevos ordenes de nuevas estructuras que no sea sólo una modificación de lo que se sabe en un momento dado. La base y el origen de esa inteligencia, como de la materia, es el flujo total.

La razón heraclítica es vinculatoria, transpersonal y objetivadora; no personal o privada. Esta razón ofrece la posibilidad de estudiar cada cosa según su naturaleza o utilizarla como instrumento para las opiniones privadas, como la ciencia alienada. La razón ofrece varias posibilidades de operar con ella y por lo tanto son varios sus productos (verdades comunes, idiolectos, opiniones, ciencias, teorías, etc.). La toma de postura entre las posibilidades anteriores implica también un modo de obrar. Según Heráclito (B112), la virtud se alcanza diciendo la verdad y obrando según ella.

Si el ser mismo es racional, la actitud conveniente consiste en no apartarse de esta razón, en pensar y obrar de acuerdo con su naturaleza. Si lo hacen, los hombres se comportan racionalmente, concordando, no sólo unos con otros, sino con la racionalidad universal, y alcanzan así la virtud superior que es la *phrónesis*. (Nicol, 1984, p. 488).

Las buenas razones son las que ajustan a la razón objetiva, las que se refieren a la inmanencia del ser. En este sentido, apartarse de las buenas razones, es decir, de la comunidad de la razón es apartarse de la comunidad del ser en pos del subjetivismo más ignorante o la idiotez. Como consecuencia,

la especialización se ha acentuado tanto, que la pluralidad de las ciencias toma el cariz de una inconexión entre unas y otras. Cuanto más penetra la investigación en un sector real determinado, tanto más olvidados quedan en la mente del investigador los principios originarios y las motivaciones radicales del quehacer científico, o sea la fuente común. [...] En la ciencia unitaria lo único que se diversifica son los métodos. Éstos han de especializarse porque las ciencias particulares recubren sectores especiales de la realidad. No todos los aspectos de la realidad pueden ser investigados con el mismo método; de suerte que el empeño de procurar «el campo unificado de la ciencia» mediante la aplicación de un método científico particular, [...] es el contrasentido que consiste en buscar el fundamento en lo externo: en lo que invariable y necesariamente tiene que ser diverso. (Nicol, 1984, p. 494).

Racionalidad de lo real

Anaximandro en B1 afirma que todo deviene y que el tiempo es el regulador del devenir. Es un error pensar que la realidad está dada porque es inmóvil. El paso del tiempo que percibe el hombre es un tiempo particular, bastante reducido en rango y relativamente acelerado o ralentizado. La luz deviene y está en constante movimiento; los días y las noches; el cuerpo del hombre deviene cada segundo; las sociedades devienen, los glaciares, los cuerpos vivos evolucionan, los bosques y los continentes migran; la Tierra se encuentra en un constante movimiento de caída que no percibimos. El movimiento muestra la necesidad y la racionalidad del tiempo. Para Anaximandro, y para los griegos en general, decir que la necesidad es racional o que la racionalidad es necesaria sería un pleonismo. Lo azaroso es irracional porque ocurre sin razón ni orden. Pero lo irracional también es racional. La irregularidad del azar también tiene una causa que se ajusta a un orden. Estas no son teorías que se siguen de observaciones particulares, sino que son evidencias primarias para la investigación científica.

Es un hecho que Heráclito pensó lo anterior.

Lo múltiple, diverso y cambiante no podría afirmarse que constituye una totalidad unitaria, si esta unidad no estuviera regulada racionalmente, si esta totalidad fuera un conglomerado de elementos dispares. Recordemos que la palabra *cosmos*, con la cual designa Heráclito esta unidad, significaba también, originalmente, el orden. Unidad y orden son una misma cosa; orden y racionalidad son una misma cosa. (Nicol, 1984, p. 498).

Una razón inmanente que regule el devenir no es el juicio propio del hombre hacia lo ajeno, sino que es «fundamento de toda concepción científica de lo real» (Nicol, 1984, p. 499). La racionalidad de lo real es evidente o, lo que es lo mismo, la razón de las cosas está en ellas mismas. Lo que no es evidente, y es precisamente el trabajo del científico, es encontrar la causa y la ley que expresa esa razón. Bohm dice que no sólo el cambio es permanente, sino que todo es un flujo, es decir, *lo que es* es el proceso en el cual lo real deviene sí mismo (usando la terminología de Nicol). Los objetos, eventos, entes, condiciones y estructuras son formas abstraídas de este proceso (Bohm, 2010, p. 61). Bohm hace la pregunta por la relación entre la realidad y el pensamiento, que, en última instancia y en este contexto, es la pregunta por la racionalidad de lo real.

Hace un pequeño análisis filológico (Bohm, 2010, p. 69): la palabra *thing* [cosa], en inglés antiguo, significa objeto, acción, evento, condición, encuentro y está relacionado con las palabras, determinar, resolver, y hasta con tiempo y temporada. Probablemente el significado original de la palabra sea «algo que ocurre a un tiempo dado o bajo ciertas condiciones». La palabra *thing* es una generalización exagerada. Por otro lado, la palabra *reality* [realidad] viene de la palabra latina *res*, que significa cosa. Ser real, entonces, es ser cosa. Realidad podría significar «cosidad en general» o «la cualidad de ser una cosa». Pero *res* viene del verbo *rerī*, que significa pensar. Entonces, literalmente, *res* [cosa] significa «lo que es pensado».

Es obvio que la cosa existente y lo pensado no pertenecen al mismo conjunto de condiciones ontológicas, sino que el pensamiento puede tener una cierta autonomía dada por la cosa existente y la cosa existente es delimitada por condiciones que pueden ser expresadas en términos de pensamiento. Las cosas tienen muchos más atributos de los que podemos abstraer, por lo tanto, nuestro pensamiento y el conocimiento de las cosas es incompleto, pero puede ser adecuado. Lo que es necesario, según

Bohm, no es una explicación de la relación entre pensamiento y realidad o racionalidad y realidad, sino que es necesario un acto de comprensión en el que se conciba la totalidad como un proceso armónico y ordenado que involucra lo racional y lo real. El pensamiento y lo que es pensado, la racionalidad y lo real, son un mismo movimiento que no es susceptible de un análisis de partes separadas. Aferrarse al ser es aferrarse a la razón.

Según Levins (1985), el cambio que es característico de todos los sistemas surge a partir de relaciones internas y externas. La heterogeneidad interna de un sistema puede producir una inestabilidad dinámica que resulta un desarrollo interno. Al mismo tiempo, el sistema, como totalidad está desarrollándose en relación con lo que se encuentra en su exterior, que lo influencia y es influenciado por ese desarrollo. Por lo tanto, fuerzas internas y externas se afectan mutuamente y afectan al objeto, que es el nexo entre esas fuerzas. Bohm (2010) señala que lo que es necesario para la teoría de la relatividad es abandonar la noción de un mundo constituido por objetos básicos o bloques fundamentales y pensarlo como un flujo universal de eventos y procesos.

El orden supone el dato de la pluralidad y la diversidad, dato que presupone la contradicción como condición inmanente de lo real. «La contradicción representa la forma más depurada de la racionalidad, que es armonía». La contradicción en el mundo sólo puede darse si la realidad es temporal. La contradicción estática es imposible. Así, la racionalidad del tiempo hace posible la reconciliación de los contrarios que llegan a un equilibrio tensorial. La racionalidad temporal del Ser se explica sólo mediante una lógica dialéctica. «Las cosas opuestas no permanecen, unas frente a otras, sin alterarse, sino que literalmente se *alteran*, o sea que se convierten unas en las otras: es la oposición la que produce la transformación» (Nicol, 1984, p. 502). La heterogeneidad de los objetos es tal que dirige nuestra comprensión del cambio en términos de procesos en contradicción unidos en un mismo objeto; la contradicción es una condición ontológica de la realidad, diría Levins. Esta transformación dinámica en el tiempo a partir de los contrarios implica la unidad dialéctica del ser y del no ser (como forma de existencia). El ser afirma el no ser que afirma a su vez el ser.

Temporalidad de lo real

Al igual que los tres principios anteriores, la temporalidad de lo real es también un dato primario de la experiencia. Podemos seguir con el mismo argumento: el cambio no es teoría, es concepto. La ciencia no es afirmación del cambio, sino que es un proceso de descubrimiento del devenir y de la forma de ese devenir. La ciencia es, entonces, la afirmación de aquello que permanece en el cambio, es decir del Ser, del Devenir, y de la razón del Devenir. El Ser es metabólico. El sistema dialéctico de Heráclito establece la permanencia sin sacrificar la universalidad y la racionalidad del tiempo. Como dice Levins, «la diferencia entre el reduccionismo y la dialéctica es que el primero considera lo constante como una condición natural, mientras que la segunda supone el cambio pero acepta una constancia aparente» (Levins, 1985, 277).

La tarea del científico es analizar fenomenológica y dialécticamente lo real para lograr una representación adecuada del Ser temporal que deviene sin juzgar lo ajeno como propio o, en otras palabras, entender que la historicidad del hombre es una instancia de la temporalidad de lo real. Las representaciones logradas han sido, son y serán históricas porque el hombre es histórico. La ciencia, como creación humana, es también histórica y deviene. «Historicidad y verdad se han contrapuesto, en nuestros días, como se contrapusieron el Ser y el Devenir en los días de la filosofía griega» (Nicol, 1984, p. 510).

Principios materialistas dialécticos propuestos por Levins

Levins (1985) propone cinco principios para aplicar a la actividad científica. Estos principios tienen implicaciones en las estrategias de investigación, en las políticas educativas y en las prescripciones metodológicas.

1. *Historicidad*. Cada problema tiene su propia historia en dos sentidos: la historia del objeto de estudio y la historia del científico que piensa el problema. Ésta última, dictada no por la naturaleza, sino por la manera en que las sociedades actúan y piensan sobre ella.
2. *Interconexión universal*. El supuesto básico es que todas las cosas están conectadas. La ignorancia de estas conexiones desemboca en errores y hasta en desastres, por ejemplo, en los campos de

la biología aplicada, como en salud pública, agricultura, protección ambiental, etc.

3. *Heterogeneidad*. Este principio es una perspectiva complementaria a la conexión universal. Cosas heterogéneas se combinan para formar totalidades heterogéneas.
4. *Interpenetración de los opuestos*. Entre más distinciones vemos en la naturaleza, más la subdividimos en clases y conjuntos inconexos. Todo proceso de división debe tener en cuenta que no hay una división trivial o completa.
5. *Niveles integrativos*. Contrario a la visión reduccionista que ve la totalidad como algo reducible a colecciones de partes fundamentales, Levins ve varios niveles de organización parcialmente autónomos pero con interacciones recíprocas.

Conclusión

Eduardo Nicol dice que «hasta ahora no empieza a despertar en la ciencia natural la conciencia de que las construcciones teóricas son esto, *productos* del pensamiento, y no un simple reflejo de la realidad, más o menos perfectible» (Nicol, 1984, p. 508). Bohm concuerda. Según él, las teorías son una forma de visión, una manera de ver el mundo y no una forma de conocimiento de cómo realmente es. La misión es producir teorías que sean adecuadas, en su forma y en sus presuposiciones, a los cuatro principios propuestos por Nicol, principios que son datos primarios de la experiencia. Si las teorías tienen la forma adecuada, entonces serán dialécticas y no habrá cabida para la fragmentación de lo real y del conocimiento. Bohm propone que esta nueva teoría se llame *Totalidad indivisa en un movimiento de flujo*. Siendo consistente, habrá que aceptar que el conocimiento es también un proceso, una abstracción del flujo total, siendo éste la base de la realidad.

Bibliografía

- BOHM, David, *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge Classics, New York, 2010.

LEVINS, Richard y Richard LEWONTIN, «Conclusion: Dialectics» en *The Dialectical Biologist*, Harvard University Press, San Bernardino, California, 1985, p. 267-288.

NICOL, Eduardo, «Octavo capítulo: La primera versión de los principios» en *Los principios de la ciencia*, Fondo de Cultura Económica, México, 1984, p. 465-510.

Sección III

Sociedades de la información y del conocimiento:
entornos epistémicos, educativos y laborales

La importancia de la ciencia para la identidad y la profesionalización de la filosofía: finales del siglo XIX y primeros años del siglo XX

Rodrigo López Orellana¹

Resumen

Al final del siglo XIX, la filosofía, luego de luchar por casi dos siglos para liberar a la ciencia de la autoridad y el yugo de la teología, tuvo que ocupar sus energías en encontrar y establecer sus propios límites —para encontrar su sentido, su fundamento y su lugar. En ese periodo, el norte de la filosofía fue la *Teoría del conocimiento*. La demarcación y fundamentación de la filosofía como disciplina vino así a comprenderse a partir de su inclusión en el corpus científico, principalmente porque debía justificar su incorporación a la estructura de las instituciones académicas modernas (principalmente en Alemania e Inglaterra). La filosofía había entrado en descrédito frente a la elección de la academia por la ciencia y sus resultados. Por esto, el nuevo fundamento metafísico, que ocupó el puesto de la repudiada metafísica teísta, estaba basado en la idea kantiana de la metafísica como una «filosofía primaria», ya no como la *reina de las ciencias* sino como su fundamento. La filosofía se transformó en *filosofía del conocimiento*, enfrentada al predominante estatus epistemológico que logran las ciencias, pero recuperando su valor debido a su aporte como teoría primera u originaria.

El objetivo de este trabajo es revisar brevemente lo ocurrido en ese periodo para entregar algunos elementos de juicio para re-pensar y discutir cómo la relación moderna entre ciencia y filosofía no sólo ha determinado su ámbito teórico, sino que primeramente ha determinado su ámbito práctico: principalmente su identidad, su especialización (investigación), su institucionalización y profesionalización —para el siglo XX y hasta nuestros días.

Palabras claves: ciencia, teoría del conocimiento, profesionalización, institucionalización, especialización, tradición.

¹ Universidad de Valparaíso. Email: rodrigo.lopez@postgrado.uv.cl

La filosofía no es ciertamente lo que suele decirse de ella...

Hans-Georg Gadamer

1. La teoría del conocimiento y la profesionalización de la filosofía

En su libro *La filosofía y el espejo de la naturaleza*, Richard Rorty analiza brevemente la historia de esta idea contemporánea de una disciplina considerada como disciplina *autónoma*, distinta de la religión y de la ciencia, capaz de emitir juicios sobre ambas, llamada *filosofía*². La filosofía comienza a ser considerada como una «materia académica» sólo a finales del siglo XIX, tratando de equipararse al estatus académico que imperaba ya en las instituciones educativas europeas, determinado por la ciencia y su rigor, por su método y los resultados de la experimentación. Surge como una disciplina con carácter *profesional*, o con intenciones de serlo, sólo en ese periodo. Lo que ocurre antes con ella se enmarca en lo que se llamó «la guerra entre ciencia y teología», donde la filosofía tenía una participación en virtud de su función cultural: los filósofos modernos pretendieron proponer una nueva filosofía en contra de «la filosofía de las escuelas», la filosofía escolástica, que ataba a la ciencia bajo la autoridad y el yugo de la teología. Pretendían liberar y preparar el camino para el desarrollo intelectual científico:

No se veían a sí mismos [Hobbes y Descartes] como si estuvieran ofreciendo «sistemas filosóficos», sino como contribuidores al florecimiento de la investigación en matemáticas y mecánica, y como liberadores de la vida intelectual frente a las instituciones eclesásticas (RORTY, 1989: 127).

Sólo después de Kant se impuso la moderna distinción entre *ciencia* y *filosofía* debido al quebrantamiento del dominio de la iglesia sobre la ciencia. Los filósofos ya no debían gastar sus energías en establecer los límites de la religión, ahora el foco se dirigía a la ciencia.

Si la filosofía quería sobrevivir debía establecer sus propios límites y fundarse más allá de la ciencia. Es aquí donde cobrará su mayor sentido. El norte de la filosofía fue la Teoría del conocimiento, que pretendía ser el fundamento mismo de la ciencia. “Sin esta idea de una «teoría del

² Véase RORTY, 1995: Capítulo III «La idea de una “Teoría del conocimiento”».

conocimiento», es difícil imaginar qué «filosofía» podría haber habido en la ciencia moderna” (RORTY, 1989: 128). Gracias a esta demarcación y fundamentación de la filosofía es que pudo incorporarse a la estructura de las instituciones académicas, ya que era imperioso encontrar un nuevo fundamento metafísico que ocupara el puesto de la repudiada metafísica teísta, basado en la idea kantiana de la metafísica ya no como la reina de las ciencias sino como un fundamento primero, una «filosofía primaria». Aparece con Kant bajo la necesidad de responder a la pregunta originaria de «¿cómo es posible nuestro conocimiento?» —y también «¿cuánto podemos llegar a conocer?»—, en su confrontación con la mecánica, pero con mucha más intención en el siglo XIX a partir de su confrontación con las demás ciencias revolucionarias que aparecieron, como la biología y la termodinámica, donde la filosofía se enfrenta con los problemas que provienen ahora desde el mismo interior de los conocimientos científicos. La filosofía se transforma en una filosofía del conocimiento, pero no como el único paradigma del conocimiento sino que enfrentada al predominante estatus epistemológico que logran las ciencias.

Si bien es cierto esto último, esta idea kantiana de la filosofía sólo se expandió y cobró relevancia cuando Hegel y el idealismo especulativo dejaron de dominar la escena intelectual de Alemania y su influencia sobre el resto de Europa. Pero ese triunfo de la filosofía del conocimiento, de la mano de la producción teórica del neokantismo, ocurre por una cuestión muy poco reconocida en la historia de la filosofía. La filosofía había perdido su reconocimiento académico, para muchos la investigación filosófica dejaba de tener sentido frente a la investigación científica. Se había transformado en un ámbito infructuoso, que no podía seguir el ritmo que llevaba la producción de la ciencia. La lucha del neokantismo por establecer su estatus epistemológico cobra así un doble sentido, no sólo en su *dimensión teórica* sino también en su *dimensión práctica*, que hace referencia inmediata a su *institucionalización y profesionalización* en la universidad moderna. Su misión se expresa en la idea que:

[...] ya era hora de dejar de edificar sistemas y dedicarse a la labor paciente de separar lo «dado» de las «adiciones subjetivas» realizadas por la mente. El movimiento de «vuelta a Kant» producido después de 1860 en Alemania fue también un movimiento de «vamos a ponernos a trabajar» —una forma de separar la disciplina autónoma y no empírica que era la filosofía de la ideología, por una parte, y de la nascente ciencia de la psicología empírica, por la otra (RORTY, 1989: 129).

Uno de los filósofos más enérgicos en esta defensa a la filosofía, frente a sí misma y frente a la invasión de las ciencias, fue Eduard Zeller (1814-1908). Es uno de los filósofos que engrosa la lista de los filósofos olvidados pero que han jugado un papel relevante en la historia de la filosofía. Zeller fue uno de los mayores contribuidores a la profesionalización de la filosofía para el siglo XX. Impulsó, junto con otros, el interés renovado por Kant³ —aunque en un primer momento fue un hegeliano—, pensaba que el verdadero camino de la filosofía era lograr que la teoría del conocimiento fuera considerada como disciplina filosófica fundamental. Se le atribuye a él haber recogido y difundido la expresión *Erkenntnistheorie* que introdujera por primera vez Ernest Reinhold (1793-1855) en el año 1832 en su publicación del primer volumen de *Theorie des menschlichen Erkenntnisvermögens und Metaphysik* (*Teoría de la habilidad humana de la razón y metafísica*). Rorty señala, a pié de página, que con el ensayo «Über Bedeutung und Aufgabe der Erkenntnistheorie» («Sobre el significado y función de la teoría del conocimiento», de 1862) Zeller se inscribe en la crítica proveniente desde Kant que anuncia el fin de la época del filósofo *amateur* para dar lugar, de una vez por todas, al tiempo de los *profesionales*.

Lo importante de retener aquí es que esta proclamación de los neokantianos de borrar a la metafísica del catálogo de las ciencias y sustituirla por la *Erkenntnistheorie*, como *la única disciplina filosófica autónoma*, dio lugar a una verdadera preocupación por la identidad de la filosofía y a la preocupación de su lugar en la institución académica. Es en este periodo que en Alemania (y también en Inglaterra y Francia) comienzan a proliferar los manuales de historia de la filosofía, y de filosofía por sus temáticas. Es en este periodo que crecen los centros educativos en Europa, donde se necesitaba de material para impartir las clases de filosofía (cf. SCHNEIDER, 2004; GADAMER, 1994 y 2004). No es menor que Rorty señale en su libro a Zeller en esta instancia, ya que él fue uno de los mayores contribuyentes no sólo al movimiento de renovación de Kant y su ideal, sino que fue uno de los más fecundos escritores de estos manuales, cuya preocupación se fijó en darle un lugar relevante a la filosofía en las universidades alemanas emboadas por la ciencia y sus avances. Zeller pretendía darle el lugar que la filosofía merecía. La añeja metafísica hizo que la filosofía estuviera en descrédito, pero esta renovación proponía un desarrollo de la disciplina a partir del contacto con las ciencias, con la consecución

³ Aunque hoy es más conocido por su trabajo de historia de la filosofía griega.

de nuevos métodos y más seguros, en la confrontación con los nuevos horizontes abiertos por los descubrimientos científicos, por la búsqueda de fundamentos que sólo podían venir de una filosofía renovada. Así, es en este periodo que la disciplina de la filosofía se ve confrontada más que nunca con su identidad y su lugar social. Zeller fue uno de los profesores de filosofía más influyentes en Heidelberg y Berlín entre 1862 y 1880. Es muy interesante destacar esto para entender correctamente lo que vino después en Europa en el siglo XX, y que muy poco se trata acerca de la gestación de la institucionalización moderna de la filosofía.

Hay un pasaje interesante de algunos años antes a todo esto y que en este contexto conviene leer a continuación, que ejemplifica muy bien lo que comenzaba a ocurrir con la filosofía en el siglo XIX. Es una cita de Hegel del «Discurso Inaugural» de su curso de Historia de la filosofía, pronunciado en la Universidad de Heidelberg el 28 de octubre de 1816. Un discurso grandilocuente que proclama un nuevo resurgir de la filosofía en Alemania, tratando de convencer al público —sutil pero muy firmemente— que este reflorecimiento se debe al hecho de haber sido llamado a dar este curso de Historia de la filosofía en la Universidad de Heidelberg en 1816:

Parece haber llegado, en efecto, la hora de que la filosofía pueda confiar en encontrar de nuevo la atención y el amor a que es acreedora, en que esta ciencia, que había llegado casi a enmudecer, recobre su voz y sienta revivir la confianza de que el mundo, que parecía haberse vuelto sordo para ella, la escuche de nuevo [...] La historia de la filosofía nos revelará cómo en los otros países de Europa en los que tanto celo y prestigio se cultivan las ciencias y la formación del entendimiento, la filosofía, excepción hecha del nombre, decae y desaparece para quedar convertida tan sólo en recuerdo, en una vaga idea, y únicamente se conserva como una peculiaridad característica de la nación alemana. La naturaleza nos ha asignado la alta misión de ser los guardianes de este fuego sagrado [...] (HEGEL, 1996: 3-4).

Es en el periodo de Zeller cuando la filosofía comienza a tomar una categoría profesional. Se celebra entonces a la *Erkenntnistheorie* porque es considerada la única que puede elevar a la filosofía a su «dignidad académica». Antes de eso:

Hegel y la creación de sistemas idealistas habían logrado oscurecer la pregunta «¿cuál es la relación de la filosofía con las otras disciplinas?». El hegelianismo produjo una imagen de la filosofía como disciplina que de

alguna manera completaba y se tragaba a las demás disciplinas, en vez de servirles de base. Además, hizo a la filosofía demasiado popular, demasiado interesante, demasiado importante, para ser propiamente profesional [...] (RORTY, 1989: 130).

Rorty señala que gracias a la *Erkenntnistheorie* y su instauración en la academia europea se determina la auto-imagen de la filosofía para el siguiente siglo XX. “La imagen de la «epistemología-y-metafísica» como «centro de la filosofía» (y de la «metafísica» como algo que surge de la epistemología, y no al revés), que establecieron los neokantianos, es la que reflejan los programas de la filosofía de la actualidad” (RORTY, 1989: 130). Y esta es una de las tesis que trata de demostrar en su libro *La filosofía y el espejo de la naturaleza*.

2. El comienzo de la configuración de la identidad de la filosofía en el siglo XX

El desarrollo de la epistemología, o filosofía del conocimiento, de los neokantianos en la segunda mitad del siglo XIX comporta en sí misma un empuje hacia un nuevo horizonte de la filosofía, que marcará así mismo las otras áreas de la filosofía, como la ética y la filosofía política. La cuestión radica en que esta concepción de la filosofía de este periodo en Alemania se fundirá en lo que llamamos una «tradición», y aún más, ya sea por reacción o asimilación se gestan otras dos tradiciones que logran fundir ideas y concepciones que ya se arrastraban desde hace un siglo en Inglaterra y Francia. Siempre en relación con la ciencia, y que generará una reacción en cadena en el siguiente siglo. La filosofía entendida como «teoría de la ciencia» gesta tres tradiciones (cf. MUÑOZ & VALVERDE eds., 2000⁴):

1. *La tradición alemana*, bajo el concepto de «Wissenschafteslehre», que va desde Bolzano a Frege y Hilbert.
2. *La tradición inglesa*, bajo la expresión «Philosophy of Science». Obviamente con orígenes en Bacon, pero su impulso está en Mill y Whewell, pasando por el pragmatismo de Peirce y James.

⁴ Especialmente la entrada «Epistemología»; y cf. VON WRIGHT, 1979: Cap. I. «Dos tradiciones».

3. *La tradición francesa*, donde la epistemología es entendida como «Crítica», «crítica de las «ciencias», «filosofía crítica». Lo interesante aquí es que los términos «epistemología», «filosofía» y «crítica» son inclusivos, entre sí.

Estas tres tradiciones, definidas territorialmente, y que hoy son ampliamente estudiadas en las escuelas de filosofía, emergen con un sentido importante para mi reflexión. Primero, las tres tienen en común la necesidad de lograr una identidad de la filosofía que resulte de su ubicación y valorización en el concierto social del conocimiento dominado por las ciencias. Segundo, las tres ven cómo por consecuencia de haber liberado a la filosofía de la escolástica, la rama menor (la «prima menor») que es la psicología —ahora como «psicología empírica»— está arrogándose el patrimonio epistemológico-ontológico del conocimiento, que necesitaban las ciencias a finales del siglo XIX. Por ejemplo, Bolzano, que influyó fuertemente sobre Husserl y Frege, pensaba que era necesario y urgente depurar a la lógica de todo *psicologismo*. Así mismo, Cournot (1801-1877) uno de los más influyentes en Francia, junto con Poincaré, se opusieron a todo empirismo extremo, pero también a todo racionalismo especulativo. También podemos ver que Mill y James coincidían en una posición anti-metafísica para la fundamentación de las ciencias, sus trabajos se encaminaron desde una reflexión sobre el método, y no consideraban a la psicología como una ciencia *efectiva*. Rorty señala:

Al acabar el siglo XIX, los filósofos estaban preocupados, y con razón, por el futuro de su disciplina. Por una parte, el nacimiento de la psicología empírica había planteado la cuestión siguiente: «¿Qué necesitamos saber sobre el conocimiento que no pueda decírnoslo la psicología?» [...] la «naturalización» de la epistemología por la psicología indicaba que un fisicismo simple y relajado podría ser la única clase de concepción ontológica necesaria (RORTY, 1989: p. 157).

Como testimonio de lo dicho anteriormente, y que resulta bastante interesante para mis propósitos, Hans-Georg Gadamer en *La herencia de Europa* cuenta lo siguiente:

Puedo respaldar y corroborar esto recordando un acontecimiento público. Me refiero al escándalo que provocó la sucesión de la cátedra de filosofía, ocupada hasta entonces por Hermann Cohen, el fundador de la Escuela de Marburgo, en el año 1913. A instancias del grupo de ciencias naturales de la facultad de filosofía fue elegido para ocupar la

famosa cátedra de filosofía un representante ciertamente prestigioso de la psicología experimental, un acontecimiento que tuvo como consecuencia que los representantes de ambos campos de investigación, de la filosofía y psicología, protestaran juntos públicamente contra ese proceder que convertía las cátedras de filosofía en cátedras de psicología. Esta acción conjunta se debió, naturalmente, como todos los auténticos compromisos de nuestra vida, a que así ambos lados podrían exteriorizar su protesta, los filósofos en defensa de sus cátedras, los psicólogos en defensa de las suyas (GADAMER, 1990: 86).

Según lo que he investigado, fue Erich Rudolf Jaensch quien reemplazó a Cohen para ocupar dicha cátedra. Lo mismo ocurrió con Narziss Ach quien fue llamado para ocupar la cátedra de filosofía de la Universidad de Königsberg. La fecha exacta es 1912, y no 1913 como dice Gadamer. Uno de los que tomó la iniciativa reaccionaria en contra de esta ocupación-invasión de la psicología experimental fue Rickert. Se dice que convenció a ciento siete filósofos universitarios, dos tercios de los activos, para que firmaran una declaración contra la invasión de sus cátedras por los psicólogos experimentales. Enviaron cartas al ministerio correspondiente y a la prensa, lo que causó gran revuelo en la academia alemana.

Esta era la situación de la filosofía al inicio del siglo XX.

3. La configuración de la identidad de la filosofía para el siguiente siglo

En virtud de esas tres tradiciones y su enfrentamiento con la ciencia, la cuestión de la identidad de la filosofía comienza a configurarse más o menos así:

1. La tradición inglesa a partir del siglo XX considera a la filosofía como un ejercicio clarificador respecto al lenguaje científico, es en sí misma una actividad científica, en el sentido de «rigurosa», esclarecedora, colaboradora, que clarifica su lenguaje. Una filosofía científica en un doble sentido: temático y metodológico. “La idea de filosofía como saber total se conserva con tal que se admita que la totalidad en cuestión se identifica con una mirada exhaustiva y reflexiva sobre la ciencia (no sobre el ser ni sobre la vida) y que posea una orientación metodológica y no metafísica” (D’AGOSTINI, 2000: 482).

2. La concepción de una diferenciación entre filosofía y ciencia es específicamente alemana o centroeuropea, *continental*. Dilthey defendía la pertenencia de la filosofía a las *Geisteswissenschaften*, una racionalidad distinta a las *Sciences*, cuyo método es diametralmente distinto, un método *más filosófico*, universal, aplicable a cualquier realidad de la experiencia. Su máxima expresión fue la filosofía hermenéutica de Gadamer.

Ambas concepciones precisan su diferencia, como sabemos, no sólo a partir del neopositivismo, sino mas bien a partir de la década de los 60.

Por último,

3. el modelo francés es peculiar, representa un desarrollo autónomo y diferente a los otros dos. Esta tradición oscila entre darle la prioridad a la ciencia sobre la filosofía y viceversa. A veces se presenta como síntesis realizada, o como un pensamiento cuya base es la *complejidad*, aquí la consciencia crítica supone una perspectiva creativa, que considera a la filosofía muchas veces como un «obstáculo epistemológico», no es necesario aquí hacer distinciones entre el saber científico y el saber filosófico.

4. Consideraciones finales

La breve revisión que realizo aquí de la historia de la filosofía de finales del siglo XIX y principios del XX, a partir de su relación con la ciencia, abre varios puntos de reflexión y discusión acerca de la identidad de la filosofía, su profesionalización y también de su fundamentación. Para concluir quisiera sólo introducir tres consideraciones que me parecen relevantes, pero que requieren, por cierto, de un desarrollo mayor —que espero realizar en otro momento.

- I. Como vimos, la teoría del conocimiento del siglo XIX y los distintos proyectos filosóficos que derivó presentaton una fuerte consideración de aquello que la filosofía como *disciplina* podría ser. Esto quiere decir que el contenido mismo de su identidad era lo que estaba en juego. Al derrocar a la tradición, a la tradición filosófica escolástica, los filósofos modernos derrocaron también su *autoridad*, principalmente en la academia. La filosofía brotó nuevamente como una búsqueda de sí misma, aunque fuera con el pretexto de ser quien preparaba el

camino intelectual de la ciencia. Pero el *estado de ánimo* de los filósofos modernos era el mismo respecto de la tradición. Para la filosofía no sólo se trataba de liberarla de preceptos y concepciones limitantes, más urgente aún fue la necesidad de encontrar un lugar para ella, y esto vino otra vez de mano de las ciencias. El trabajo anterior de Kant derrumbó a la «falsa ciencia» de la metafísica y propició la verdadera «época moderna» que para la filosofía parte recién a mediados del siglo XIX, encarnada en la forma de la especialización científica⁵.

La crítica de Kant fue también una introspección de la filosofía, de su identidad y destino, abrió su *horizonte histórico*⁶. En el siglo XIX, este horizonte *práctico* fue su *profesionalización*, como señaló Rorty. Luego de haber establecido su rumbo, de haber tomado la decisión de encaminarse por sus propios caminos teóricos a partir de la *Erkenntnistheorie*, y sus contra partes, la filosofía reveló a comienzos del siglo XX las consecuencias de esa disolución de su figura tradicional, esa figura unida a la de «sabiduría humana». El modelo de la *especialización* (profesionalización) de la investigación de las ciencias naturales determinó la actividad filosófica en el siglo XX. El espíritu de la propuesta de profesionalización encarnada en los neokantianos (Zeller) estableció el fin de la concepción global del conocimiento. El espíritu científico caló en lo más hondo de la identidad del filósofo, en su pretensión (desde Platón) de ser la síntesis del saber humano. Gadamer señala lo siguiente:

La ley de especialización de la investigación de las ciencias naturales ha desarrollado una suspicacia, sana en mi opinión, hacia las síntesis filosóficas ofrecidas con un celo especial por los *aficionados*, y la agrupación de ciencias naturales y ciencias filosóficas no cree que ahora aparezca el filósofo que haga verosímil y convincente una síntesis global de los conocimientos. Por el contrario: las ciencias modernas están determinadas, a mi juicio, por algo que me gustaría llamar *renuncia a la integración* (GADAMER, 1990: 95. Las itálicas son mías).

II. Lo que está a la base de todo esto y que me interesa defender aquí es que la dificultad que opone la autocomprensión y determinación de

⁵ Véase GADAMER, 1990: «El hecho de la ciencia» y «Los límites del experto».

⁶ “Menselssohn, el hijo del esclarecimiento, llamó a Kant directamente el aniquilador. Pero fue también un hecho positivo que fundó un nuevo estilo de filosofar que la crítica kantiana calificó de conciencia del tiempo y al que atribuyó especialmente el posterior regreso a Kant” (GADAMER, 1990: 89).

su propia identidad es algo inherente a la filosofía. Siempre ha estado exigida de dar una respuesta, y así mismo comporta la auto-exigencia de darse a sí misma una respuesta. Y parece que nunca ha podido ser una muy satisfactoria. En una primera instancia frente la iglesia, a la filosofía escolástica, y luego, tanto en la modernidad como en la contemporaneidad, frente a la ciencia. Nunca ha estado sosegada respecto a su auto-conciencia ni al reconocimiento social. La idea antigua de «La Madre de todas las ciencias» nunca ha convencido. Nunca una madre ha sido tan despreciada por sus hijos. En varias oportunidades Gadamer señala que es por estas razones que la filosofía se convirtió en una empresa problemática en el siglo XX: “Lo que aún puede ser la filosofía junto a las ciencias tras la aparición de las ciencias naturales modernas y su su elaboración enciclopédica en los siglos XVII y XVIII es la cuestión que afronta toda la filosofía de la época moderna” (GADAMER, 1990: 106), y también señala en varias oportunidades que el espíritu de esta modernidad y su consecuencia para la filosofía dura hasta nuestros días, y que es una cuestión no superada por el postmodernismo, si es que alguna vez se configuró como un movimiento⁷.

III. Estos pasajes brevemente relatados de la historia de la filosofía son una muestra de algo que es generalmente aceptado y que tiene su raíz en esta relación entre filosofía y ciencia para la identidad de la filosofía: *parece que nunca hemos estado muy apropiados de lo que pueda ser la identidad de la filosofía, de aquello que podamos responder con exactitud qué es o no estrictamente la filosofía*. Al respecto quisiera proponer dos afirmaciones *generales*, que necesitan obviamente un mayor desarrollo, pero que por ahora sólo destaco para guiar mi argumentación:

- i. La filosofía se ha definido históricamente a partir de su condición de *inferioridad* respecto a las ciencias y a la falta de *reconocimiento social*, no ha gozado de un estatus de admiración. Sólo en cortos momentos ha gozado de algún reconocimiento.

Recordemos por ejemplo, aunque sea una cuestión de perogrullo, la *Apología* de Platón donde en su defensa Sócrates dice que sólo por tratar

⁷ Véase la entrevista a Gadamer de Silvio Vietta, (GADAMER, 2004); y también la entrevista a Gadamer realizada por Donatella di Cesare para el *Corriere della sera*, 7 de febrero de 2000. Se puede encontrar en: <http://www.eluniversal.com/verbigracia/memoria/N90/contenido02.htm>

de averiguar el sentido de lo que le había hecho saber el oráculo se ganó el desprecio de muchos de sus conciudadanos, y se ganó muchos enemigos al poner en manifiesto que la ciencia de ese entonces, propiedad de los sofistas, era poca cosa. Los diálogos platónicos son también el intento de instaurar el lugar de la filosofía en la polis griega. Otro ejemplo de la historia muy interesante es el esfuerzo que Descartes realizó por dar a conocer la filosofía en su época. Tenemos el *Discurso del método*, pero más ejemplar, a mi juicio, es *Sobre los principios de la filosofía*. Descartes se preocupa cuidadosamente de su publicación, pretendiendo desde un principio que sea traducida al francés para que llegue al mayor público posible⁸. Manda una carta a su traductor con la observación en su título «Carta del autor al traductor del libro la cual puede servir aquí de prefacio», y donde dice:

Señor,

La versión que se ha tomado usted la molestia de hacer de mis *Principios* es tan nítida y cabal, que me hace esperar que serán leídos por más personas en francés que en latín, y que se entenderá mejor. Mi único temor es que el título desaliente a los que no han sido educados en las letras, o a los que tienen mala opinión de la filosofía, debido a que se les ha enseñado y no los ha satisfecho [...] Yo explicaría primeramente⁹ qué es la filosofía, empezando por las cosas más corrientes [...] A continuación haría considerar la utilidad de esta filosofía, y mostraría que, puesto que se extiende a todo lo que el espíritu humano puede saber, hay que admitir que es lo único que nos distingue de los salvajes y los bárbaros, y que cada nación es tanto más civilizada y culta cuanto mejor filosofan los hombres de ella; y que, por lo tanto, el mayor bien que puede darse en un Estado consiste en tener verdaderos filósofos (DESCARTES, 1999: 11-13).

- ii. Parece que cuando hablamos de la identidad de la filosofía debemos fijarnos no sólo en su desarrollo histórico-conceptual, sino que debemos mirar también su proceso de *institucionalización*.

Este último punto propone una reflexión metafilosófica más interesante.

⁸ Esta obra la escribió en latín, como lo dictaba la regla, y fue publicada en Amsterdam en 1644. La traducción al francés por C. Picot fue publicada en 1647.

⁹ Le está dando recomendaciones e instrucciones a su traductor.

Referencias bibliográficas

- D'AGOSTINI, Franca (2000): *Analíticos y Continentales. Guía de la filosofía de los últimos treinta años*. Ediciones Cátedra. Madrid.
- DESCARTES, René (1999): *Discurso del método*. Panamericana Editorial. Santafé de Bogotá.
- GADAMER, Hans-Georg (1990): *La Herencia de Europa, ensayos*. Ediciones Península. Barcelona.
- _____ (2004): *Verdad y Método II*. Ediciones Sígueme. Salamanca.
- _____ (2004): *Hermenéutica de la Modernidad. Conversaciones con Silvio Vietta*. Editorial Trotta. Madrid.
- _____ (2000): Entrevista de la periodista Donatella di Cesare del “Corriere della Sera” (7 de febrero de 2000). Traducción: Douglas A.: <http://www.eluniversal.com/verbigracia/memoria/N90/contenido02.htm>
- HEGEL, G.W.F. (1996): *Lecciones sobre la Historia de la Filosofía*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- MUÑOZ, Jacobo & VELARDE, Julián (editores) (2000): *Compendio de Epistemología*. Editorial Trotta. Madrid.
- RORTY, Richard (1989): *La filosofía y el espejo de la naturaleza*. Ediciones Cátedra. Madrid.
- SCHNEIDER, Ulrich Johannes (2004): «Teaching the History of Philosophy in the 19th-Century Germany». Documento del *Philosophy Documentation Center*: http://secure.pdcnet.org/tnhp/content/tnhp_2004_0275_0295
- VON WRIGHT, Georg Henrik (1979): *Explicación y Comprensión*. Alianza Editorial. Madrid.

Realism and Scientific Models: The Relevance of the Distinction between Epistemology and Ontology

Bastián Díaz Sáez¹ & Simón Busch Moreno²

Summary

During the last few decades Realist perspectives within philosophy are gaining force by developing new and traditional arguments. The present article proposes that scientific models, more precisely *effective models*, provide a good example for showing important flaws in arguments regarding incommensurability or underdetermination. First, before examining examples in quantum physics and gravitation theories, a critique to skepticism is proposed. This is intended to show that a realist approach to science can be supported by scientific development. Second, we propose a defense of *Scientific Realism*. This defense is aimed to show how scientific models and theories can consistently progress if they are observed as representations that can increase their resolution when their predictions are confirmed and new elements are added to their descriptive accounts.

Resumen

Durante las últimas décadas, las perspectivas Realistas en filosofía han ganado fuerza mediante el desarrollo de nuevos argumentos y la recomposición de argumentos tradicionales. El presente artículo propone que los modelos científicos, específicamente los *modelos efectivos*, ejemplifican cómo los argumentos de la inconmensurabilidad y subdeterminación presentan importantes debilidades. Con este propósito, antes de examinar ejemplos proveídos por la física cuántica y teorías sobre la gravita-

¹ MSc in Physics, Universidad Técnica Federico Santa María. Student of the PhD in Physics in the Universidad Técnica Federico Santa María.

² MA in Digital Culture and Society, King's College London. Student for the period 2015-2016 in the MA in Language and Cognition, King's College London.

ción, se propone una crítica al escepticismo. Esto pretende mostrar que una aproximación a la ciencia en términos realistas encuentra sustento en el desarrollo científico. Considerando esto, y para finalizar, se propone una defensa del *Realismo Científico*. Esta defensa tiene como objetivo mostrar cómo los modelos científicos y las teorías pueden progresar consistentemente si son observados como representaciones que adquieren mayor resolución cuando sus predicciones son confirmadas y cuando se agregan nuevos elementos a sus descripciones.

Introduction

The theoretical and experimental development of science during the last few centuries has deeply impacted philosophy. The consequences of this advancement have changed the way we understand metaphysics and the theory of knowledge. And, as it can be expected from radical changes, it has brought intense debates about what is exactly the nature of this change, how many changes really are, or what is the new philosophical stance we should take. Recent philosophical work seems to be divided into two big factions. One is the old empire of Scepticism, diversely represented by idealism, positivism, or instrumentalism. On the other side, Realism has ceased its naiveté to become a strong opponent that during the last decades appears to be overwhelming sceptical positions, rapidly recovering the philosophical territory.

Our main objective in this article consists in showing why scientific theories are progressive (though not always continuous). Progression that, we argue, can be observed in the effectiveness of scientific models. At the same time, we want to argue that this circumstance supports the idea of an external world that is real and not mentally or magically produced. Therefore, physical laws, understood as natural patterns which are represented by formulations within a theory, have an ontological status. Moreover, the models devised by those theories are epistemic devices that can be distinguished from what they represent. In other words, we can consider that those models exist, but their ontological nature is a humanly-made mental representation: they are brain processes interacting to understand and represent the environment. In other words, epistemology has an ontological status too. With this in mind, we think that this conception can be sustained by Scientific Realism in a consistent way.

In the first section we will criticize scepticism, positing that its strongest arguments are circular or inconsistent. We will argue that the scientific-philosophical relationship can be better developed through a realist attitude. The two middle sections are devoted to explore how physical theories progress and how they can include older models into their frameworks. For doing this we approach models as mappings of the world that can increase their resolution when theories integrate new effective (predictive and descriptive) elements into them. Finally, we will develop a defence of Scientific Realism, position that allows us to think of science as a progressive human enterprise.

Some Inconsistencies of Scepticism

During the last three decades Scientific Realism has been reshaped and adjusted in a way that has turned it into a strong and sound perspective to approach epistemological and ontological questions. Even more, it seems to be consistent with many scientific methodologies and, in this sense, it can constitute a solid background for the understanding of scientific and epistemological models. Nevertheless, the aim of this section is not a discussion of the virtues and possible implications of a Scientific Realist stance, but the description and brief evaluation of a series of arguments that place Scientific Realism in stable ground against Scepticism. Most of these arguments emerge from the Philosophy of Science, but they concern epistemological and ontological investigations as well. And this is very relevant for the main objective of our research: explaining why clearly distinguishing epistemological and ontological categories is crucial for the understanding of scientific models and theories.

To start with, it is necessary to take into account realism's oldest nemesis: the sceptical argument. We want to attack this problem using two arguments. (1) The *circularity of radical scepticism*. (2) The *slippery slope to idealism*. The first argument is intended to show how some sceptical perspectives, such as idealism or solipsism, fail to explain in non-contradictory terms how the world can be purely mentally originated. The second argument demonstrates how non well defined realism or weak sceptic positions can lead to idealism by conceding sceptical claims that are not necessarily sound. Clearly, we do not pretend to prove scepticism wrong once and for all; we just want to posit some good reasons to believe that realism represents a better perspective if we want to deal with some (or many) epistemological and ontological problems.

The first argument is not very complicated to grasp. Its main point is to show how *radical scepticism*, in a Humean formulation (or interpretation), fails to prove the spontaneous and momentary nature of impressions as disconnected from past and future. As Shimony (1947) has explained it:

If Hume's sense impressions are strictly momentary, then there is no relation of a past impression to a present or future one. The result is that not only could we not know anything about the past, but we could not even have any idea that there is time and passage of time at all,... (p. 56).

Mario Bunge (1979) has extended Shimony's argument to show that the Humean attempt to disprove productive causation assumes the conclusion in one of its premises by saying that sense impressions are already disconnected from past and future, which makes the argument circular. One of the fundamental problems of this empiricist argument is that it conflates causation with regularity because it reduces "... the meaning of a proposition to the mode of its verification." (Bunge, 1979, p. 45) . In other words, *radical scepticism* conflates an epistemological supposition with an ontological consequence.

Sometimes this sceptical problem proposes mysterious solutions, such as the mental origin of the world (usually from a God-like or Demiurgic emanating mind) or an individual mental construction of reality (e.g. solipsism, radical-constructivism). However, this faces a greater problem: what is the source of those mental causations? Proposing a supernatural mind as a solution brings out the problem of infinite regress: a self-caused supra-mental being or an infinite chain of demiurges one causing the subsequent one (just like in Borge's poem: *Ajedrez*); clearly both are tautological solutions. Another option is to propose a solipsist perspective, that is the mind of the cogent subject creates the world. However, this would mean that the world does not exist until a particular mind creates it and it ends its existence when that mind ceases its activity; this is a clear violation of Lucretius' principle or the *genetic principle* (Bunge, 1979), which states that nothing can come from nothing (*ex nihilo nihil fit*).

We think that these arguments suffice to show that the principal forms of *radical scepticism* do not rest in sound arguments. Nevertheless, we cannot deal with causation in this article, because it would require a whole new topic. Although, causal accounts, as we have noticed, give important reasons for doubting the notion of a purely internal reality.

But, if we accept that mind is caused by a specific organization of material entities, so that minds require brains to exist, then we must face the problem of how those minds interact with an external reality that affects them. Clearly, solving the problem by proposing a direct continuity between mind and world would mean *naïve realism* or vitalism. And these perspectives, especially *naïve realism*, are flawed because of an obvious reason: we get things wrong constantly. Not only we make inaccurate predictions, but we do not grasp the world in a continuous and coherent way; as years of neuroscientific work have shown (Hooker, 1995; Churchland, 2010), we perceive fragmented and incomplete features of the world.

This last conclusion has incentivized some philosophers to propose that *soft scepticism* is the best solution for this problem. For instance, positivism and instrumentalism rely on this kind of sceptic position. One problem of *soft scepticism* is that it can step into a slippery slope that falls directly into idealism. Paul Churchland (2010) has suggested that this problem is originated by considering, as Locke did, that there is a one-to-one semantic relationship between a mental representation and the thing that is represented. However, it seems more plausible to think of the brain as configuring highly complex representations that are configured by the transduction of different sensorial stimuli that conform perceptual and cognitive maps of a very fuzzy environment. Because: “Contrary to the Locke-Hume picture at issue, the empirically accessible objective world does not come precarved into obvious simples.” (Churchland, 2010, p. 83). Therefore, a simple sceptic doubt that states that our senses cannot be trusted always (nor completely), grounded in the wrong basis (i.e., that properties of objects cause a direct impression on our minds), might lead us to doubt any access to reality and even to doubt reality itself.

Notwithstanding this rejection of scepticism, we do not believe that reality can be accessed directly. According to our present perspective, reality should be understood in terms of a highly complex world that can be represented in different degrees, representation that can be improved through technological development and scientific advancement. Our best theories can be understood as mappings of the world, not completely different from our perceptual or day-to-day (manifest) mappings of our immediate environment. We can refine those maps, including scientific representations which are developed through a collective process of assessing and comparing the accuracy and resolution (fine-grainedness) of those models and theories. Through the next two sections we will exemplify this by showing how physical models and theories progress and

how, when they improve, they can express a more detailed representation of the world.

Effective Models in Quantum Physics and the Refining of Representations

Throughout the last years Models in physics have been perfected and now they can show or represent aspects of our physical reality in a more detailed form. This characteristic progress of science can be observed in both models and theories. Here we present some examples of this progressive improvement in physics. Contrarily to some perspectives (usually unscientific) that regard Quantum Physics as an example of a reality that is discontinuous and undefined, we want to show that the development of Models in Quantum Physics supports two relevant assertions in favour of Scientific Realism. (i) The discussion about scientific continuity cannot be homologated to the problems of continuity in the physical reality; once again: ontology cannot be fused with epistemology. (ii) The relevant question for scientific theories is the one regarding the preservation of features: new models can keep features of old models as long as the new refined theory can repair inaccurate references or explanations. In this sense, physics (and other sciences) can integrate old models to new ones in an homomorphic way. A new theory or model can increase its granularity: new theories are more fine-grained when compared to old theories. If old models are not radically wrong, they can be integrated into the new proposed representations.

Now, let us consider Bohr's model of the atom and its further refining by successive theories. During the beginning of the twentieth century, Niels Bohr postulated a very simple model of the atom: electrons as point particles orbiting the nucleus in discrete levels. This model represents the electron as moving through specific energy levels (quantization). However, something that this model could not explain was the phenomenon of *spontaneous emission*. This phenomenon can be resumed in this way: in some excited atoms, electrons in different states tend to decay, that is in some moment of time electrons "fall" into *lower energy levels* emitting quantas of light. Even though this model did not give us an explanation of how the physics behind the process work, it did give us a sufficiently good picture (representation) of how electrons behave and are distributed in relation to the atom. Furthermore, it has introduced to us a new perspective on quantization regarding the level of atomic dimensions.

The electronic transition was not understood until the advent of Quantum Field Theory (*QFT*), or *second quantization* (Baym, 1968; Maggiore, 2005). Thus, only with the development of *QFT*, physics came to understand the underlying mechanism of spontaneous emission; albeit for doing that it was not necessary to throw away Bohr's representation. In this new approach, we understand particles as manifestations of fields in spacetime, and electron's transition is explained by some interaction between both electron quantum field and electromagnetic *vacuum quantum field*. This shows the difference between a model that can *describe* and a model that can *explain* a physical phenomenon (Etkina et al., 2005). Therefore, a model that effectively describes a physical property or entity does not necessarily explains its behaviour. Though this does not mean that a descriptive model cannot be subject to further refinement by new theories or models that can explain better some of its elements. Thus, that model can be integrated into a more fine-grained picture of the physical reality that both old and new models try to describe and explain.

In addition, there is a group of models developed to study systems in physics. They are based on the assumption that we cannot see all the details of a system. In this sense, when we study a process or system through a model, that model has a specific *resolution* which is understood as incomplete but increasable. This type of models are called *effective models*, because they are explicative though they show a limited or coarse-grained picture of the studied process. One popular effective model, usually considered a prototypical example of this type of models, was proposed during the decade of 1930 by Enrico Fermi. This model was constructed to explain the beta decay; namely, a neutron decaying to a proton, electron and electronic antineutrino (Langacker, 2010).

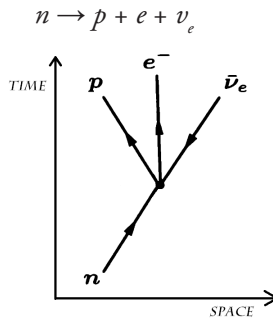


Fig.1: Beta minus decay explained according to Fermi's model.

In Fermi's model we understand the decay process diagrammatically as a point-contact interaction (see Fig. 1). This model proposes a point-like interaction between the four particles involved in this reaction. The mathematical model of this process, represented diagrammatically by Fig. 1, was very successful for describing some parameters involved in the decay process. Nevertheless, the model has a limited energy-range of validity (Langacker, 2010). Therefore, Fermi's theory cannot tell the full story.

In the Intermediate Vector Boson Theory, the four-particle interaction was eliminated (Yukawa, 1935; Schwinger, 1957). Instead, it was assumed that the process was mediated by a spin-1 particle, analogous to the photon in the Quantum Electrodynamics Theory (Langacker, 2010). However, the intermediate bosons $W^\pm$, which participate in the beta decay were assumed to be very massive (compared to the energies of the experiments) and electrically charged. This new proposal is depicted in Fig. 2, and the model behind it is the Electroweak Interaction Model, which for some energy limits tends to behave as the process represented in Fig. 1. The electroweak model is part of the Standard Model (SM), the model of electroweak and strong interactions. Nowadays it is the paradigmatic model for representing interactions of elementary particles. It is important to say that SM agrees to an exceptional level with the experimental data, showing that models and experimentation are highly consistent. Nevertheless, there still are some unexplained phenomena; for example: dark matter, matter-antimatter asymmetry, neutrino oscillations, or the hierarchy problem. Surprisingly, these issues can make us think that SM is an effective theory as well. That is not a wrong interpretation, because these unexplained phenomena tell us that SM has limited resolution; resolution that might be improved by future representations.

Fig. 2: Beta minus decay explained according to the electroweak effective model.

What we have shown in this section is how the improvement of effective models works. Effective models in particle physics are so important, and have been played such a prominent role, due to their simplicity. As we have said above, this type of models work with certain limited resolution. Usually in physics the resolution of a model is referred as the *degrees of freedom* of a system. These degrees of freedom can be understood as the dynamical variables of a specific model. Hence, If we want to increase the resolution of a representation we need to develop a theory capable of producing models which include more variables that can depict the new observed details. And this can give us information of the existence of substructures present in a specific physical system. In the case of Fermi's model we have observed the process not considering the underlying degree of freedom, the particle W^- , that mediates the interaction point (where the decay occurs). Differently, a more complete theory, such as the Electroweak Model, explicitly includes this degree of freedom. This new degree of freedom coincides with the particle W^- , because this particle establishes the necessary relationships that can include the variables absent in Fermi's model³. Therefore, models that include more degrees of freedom are more fine-grained representation of physical reality.

These models have been used in Particle Physics, Condensed Matter, Statistical Mechanics, General Relativity and Hydrodynamics. Nowadays, the success of Quantum Field Theories (QFT), such as the Standard Model of particle physics, permits us to consider other possible extensions of the model based on the same ground. For example: Supersymmetry, Technicolor, or Grand Unified Theories. For sure, both *representational models* and *effective models* have played a very important role for the understanding of physical reality in different areas. And it seems probable that in the future they will aid us again in improving the deepness of our *observations* (direct or indirect) of nature.

Gravitation and the Non-Exclusion of Old Theories

There is another remarkable example of this process of improvement in physical theories. Newton's theory of gravitation, proposed during the

³ Considering this, these degrees of freedom are variables that can be associated to real physical objects and their behaviours. These are not mere epistemological devices, but structures, parameters and (why not) individuals that have an ontological status: they are a constitutive part of reality.

18th century. Newton's work was the first theoretical approach aimed to understand the behaviour of terrestrial objects (such as falling rocks or pulleys) and the behaviour of celestial objects (objects outside earth) under a unified conception. This theory had a huge predictive success: it could predict the movement of almost all the planets around the Sun, the Coriolis Effect, the Tidal Forces, and many other physical phenomena (Goldstein et al., 2001). However, it could not explain the precession of Mercury, or the deflection of light near a massive object. Later, during the first decade of the 20th century, Einstein postulated the General Theory of Relativity, which changed our fundamental conception of space and time. This theory explained the phenomena that Newton's theory could not, and it managed to include Newton's theory into its own theoretical space as well (against the incommensurability thesis).

With this in mind, when we observe General Relativity under some conditions, such as slow velocities or weak and time-independent gravitational fields, we recover Newton's theory (Carroll, 2004). Therefore, if we consider Newton's theory as included into Einstein's theory, it is not incorrect or illegitimate to think of a system without forces or of geometry of spacetime as guiding the movement of objects that are evaluable in terms (using the formulation) of Newton's theory. We can perfectly think of the parabolic movement of a rocket on earth as following a geodesic movement in a curved spacetime (i.e., in the surface of the earth, we are actually living in a curved spacetime). Hence, Einstein's theory changed our vision of the world; we replaced the idea of forces with the conception of a geometric spacetime. By doing this, it was possible to explain some phenomena that Newton's theory could not, but it did not explained away all its concepts.

Through this new Einsteinian conceptual framework we have developed new notions of spacetime, the evolution of our universe, and the properties of the macroscopic world (such as black holes, gravitational waves, gravitational lensing, singularities, or the causal structure of spacetime). Nevertheless, this does not mean that we have to despise Newton's representations. Differently from many precedent examples of failed theories, Newton's theory has not lost explanatory power due to General Relativity, but it has been included into an improved interpretation of spacetime's properties and phenomena. Every theory, up to date, has a limit of possible explanations and descriptions. Some of those explanations or descriptions can be related to inexistent entities or parameters. If those are explained away by a new theory the other reliable theoretical

assumptions present in the old theory that still can explain or describe under specific conditions are not less valid, but just special cases of the new theory.

Therefore, the evolution of our theoretical frameworks does not imply that old ideas are contradictory or inconsistent, it only shows that old models were just partially accurate or inaccurate in some specific respects. For instance, as Newton's laws still work at low speeds in spacetime, Einstein's theory can be understood as an enlargement of the old Newtonian models. This more fine-grained representation of physical reality enlarges our knowledge (it does not erase the old and builds a new one from scratch), and permits us to understand new phenomena, previously undetected or overlooked. It is important to keep in mind that to the present date we have two "big theories" which explain much of both the microscopic (Quantum Mechanics) and the macroscopic (General Relativity) world. However, these theories are not compatible at all, if new proposed theoretical models, such as *Quantum Gravity*, will unify these theories in a continuous way or they will radically change our conception of physics remains unknown. But what we can do say is that this does not mean that these theories have to be understood as completely dispensable, whatever the change produced by a new theory could be.

More Claims against Scientific Realism?

Finally, we want to devote our last section to reinforce our perspectives on Scientific Realism. We have already argued against scepticism, because we think it encourages an attitude towards scientific research that is not consistent with the development of theories and models; as we have shown through the last two sections. Nevertheless, there are more critic assessments of Scientific Realism that come from different grounds. In our present view, the strongest of these critiques is posited by Structural Realism. The core claim is that Scientific Realism cannot deal with Instrumentalist arguments, such as those of incommensurability or underdetermination, because it treats unobservables as metaphysical fundamentals. Structural Realism proposes two solutions. One says that the arguments for realism should be stated in epistemological grounds, because the only element that can be preserved from one theory to another is structure. More specifically: they preserve mathematical formulations (Worrall, 1989). The other one states that Realism can deal with ontological claims only if the nature of reality is considered to be purely

structural; so there would be no good reason to think that we can ever find definite individuals in the world (Ladyman, 2014; Floridi, 2011). As we can see, both positions have the same problem: they step too close to the slippery slope to idealism.

Indeed, when Structural Realism proposes that the only thing we can know of the world are individuals instantiating a structure, they are just a few steps far from stating that we can only know a general structure of the world but neither its individuals nor their properties or relationships (Psillos, 2001). Moreover, some versions of Structural Realism think of the world as pure structure, arguing that reality is ontologically structural (Ladyman, 2014). And this is not far from informationism: reality is nothing but information, namely related data⁴. Thus, if we want to take a realist stance, we should not rush into conclusions that a priori and radically negate possibilities to our knowledge. In this sense, knowing the relational properties of scientific objects does mean a specific knowledge of those objects (i.e. how they relate and the relationships they have established). Thus, there is no good reason to think that indirect observation of physical objects through those relationships cannot lead to know other types of properties that are non-relational.

With this in mind, it is easy to see that Structural Realism concedes too much to instrumentalism. For instance, it concedes that we can establish truth-topic proposition in the case of observable data or evidence, but not in the case of unobservables. But this is plainly wrong, and the reason is quite simple: if we cannot trust our theoretic and technological measurement instruments, then we have no reason to trust our cognitive maps and our sensorial organs either. Because, the only difference between these two pairs is that the first one is produced by social interactions and culture, and the latter is the result of evolution; and both are mechanisms for exploring the world. Even more, our observations are generally theory-laden:

...All the scientific evidence we have points to the view that perception is itself an activity essentially cognitively similar to theory construc-

⁴ This can be observed in Floridi (2011), where he congruently argues in favor of Informational Structural Realism. However, he fails to notice that a dichotomy between observable and unobservable objects is unsound, and it presents very difficult problems. In other words, he partially steps in the slippery slope to idealism; particularly when he asserts that it is possible to obtain mind-independent information and that those related data might be the basic components of the basic structure of the world.

tion; the mind forms the “best” model it can of the scene before it on the basis of memory, stored information processing methods, and current information input. (Hooker, 1995, 118).

Hence, redeploying our cognitive maps in order to accommodate new evidence into previously established conceptual frameworks requires a significant effort of comparing different frameworks and developing new ones (Churchland, 2010). This can be noticed, for example, when a person goes to live to a different country that has a different currency, and she has to re-adapt her estimations about her monthly budget to the new country’s different cost of life. This process is difficult, because she thinks of her expenditures as part of a map that represents the relation of prices in her old country, such as the cost of food, health, or transport. Previous knowledge has to be contrasted with new evidence.

In addition, this implies that theory-ladenness is part of our evaluation of evidence. We can observe evidence that is not strictly accurate, and our inferential evaluation of it can lead us to trustworthy results. “The evidence is never certain, and our justified confidence in it may change. After we infer the generalization, our confidence in each of our data will improve, since it will inherit additional support from the inferred generalization.” (Lipton, 2004, 204). But this story does not go very differently for unobservable objects. As we have argued previously, our technological instruments aimed to detect and measure some inaccessible aspects of reality perform a mapping that can allow us to infer properties of those objects that can go beyond their mere relationships. Under this light, the problem of underdetermination seems to be a weaker nemesis of Scientific Realism.

Most of the strength of the underdetermination argument rests in a syntactical assessment of theoretical propositions. But the fact that our inferential practices allow improvement shows that treating theories as single propositions is not necessarily the correct approach. The classical answer to this problem is treating theories as theoretical-sets of Tarski-style formulations. This permits the evaluation of single propositions (e.g. a principle) in a truth-topic way without the need of committing the reliability of the whole theory. However, this position has its flaws as well, the most notorious can be noticed when theories are considered as linguistic propositions, forgetting that they are complex cognitive fra-

networks⁵. If we opt for a non-propositional account, then we can deal with the problems of reference in a better way. For instance, we can appeal to a non-linear notion of reliability that considers theories as dynamical and complex frameworks. Epistemic models of the world can be better understood as maps where the relationship between representation and represented is homomorphic (Hooker, 1987; Churchland, 2010). This means that we can achieve better representations if we increase representational resolution, just as we have shown in the previous two sections.

As our main objective is to argue in favour of the representational efficacy of scientific models, we want to discuss their implications for the cultural-linguistic level as well. For doing this we want to establish a clear distinction between the nature of representational procedures and what is represented. Bunge (1979) has argued that one of the most important things is to make a clear distinction between laws as natural patterns and laws as scientific formulations. In this sense, laws at a first level have an ontological character, they are patterns of interaction between natural entities⁶. On the other hand, laws at a second level consist of a formal representation of those patterns, so one first-order-law can be represented by many different second-order-laws. Furthermore, Bunge (1979) establishes a third distinction, or third-order-laws: the experimental application and subsequent cultural transmission of a formal law (second level) that is evidenced by experience. The most relevant proposition in this distinction is that second and third level laws have to be comprehended at an epistemological level.

This distinction allows us to give a philosophical assessment of our previous claims. First, even when we evaluate reality by comparing the

⁵ Churchland (2010) has proposed a three-level process of learning, where only the third level, which is the configuration and transmission of knowledge in a social and cultural space, can be regarded as producing properly linguistic representations. Churchland's second-level learning is based on the redeployment of cognitive maps or representations that are configured through a first-level learning process characterized by Hebbian learning. This posits a knowledge-representation system of the brain not as a logic-formal structure, but (more plausibly) as a vector-activation space of neural connections.

⁶ Frigg & Hartman (2012) have argued that realists have not given an account of laws within models. Here we present Bunge's (1979, 2010) account that is an explanation of laws from a Scientific Realist position. Also, a Scientific Realist answer to empiricism that does give an account of laws can be found in Hooker (1995). So, it seems that there are realist accounts that consider laws as part of nature and not as purely epistemic elements that can only be found within models.

maps we conform of it, because we have no direct access to the world (healthy scientific scepticism), we can trust some of those representations more than the others. Second, this is based on the possibility of an abductive process of knowledge evaluation (or inference to the best explanation) that is present even in our day-to-day experiences. Third, it is possible to decide which of those models are better regarding their predictive success (when data is not fudged), and their descriptive and explanatory merits; namely prognosis is the best test for diagnosis and etiology (Bunge, 1979). Finally, we can understand the plausibility of this process only if we consider that an independent external reality is what is being represented and observed by the construction and evaluation of these models.

Conclusions

Scientific models and theories have shown huge progress throughout recent history. We have used the examples of particle physics and gravitation, but we think that this progress can be observed in other sciences as well. For instance, it can be seen in the improvement of biological evolutionary theories, or in the progression of many psychological topics and concepts through neuroscientific research. One of the fundamental characteristic of theoretical progress is that despite some theories can contradict each other, the most functional and accurate theories tend to embrace and enlarge representational models of the past through a new and more general framework. And this means that our picture of reality, at least regarding some aspects of it, is more accurate than before: it is represented through more fine-grained models which assist us in improving and cohering our day-to-day image of the world.

With this in mind, it is highly relevant to consider that ontology not only precedes but also embeds epistemology. Our minds depend on a previous history of physical-chemical and biological change that occurs at an ontological level. Our epistemological adventures are an expression of that history. However, we have the possibility of reconfiguring and transmitting our cognitive representations, and thanks to cultural development we can improve them through academic discussion and technology. For this reason it is important to make a clear distinction between ontology and epistemology. This is, fundamentally, a philosophical task. But as this task allows us to evaluate (among other things) the plausibility and testability of theories and their models, it is highly relevant for

science as well. Even more, this distinction not only establishes a solid footing for the development of different types of models, from visually-imaginary to logical-mathematical, but it also aid us in assessing and examining the reliability and accuracy of those models.

Bibliography

- BAYM, G. (1969). *Lectures on Quantum Mechanics*. New York: Westview Press.
- BUNGE, M. (1979). *Causality and Modern Science*. New York: Dover Publications.
- BUNGE, M. (2010). *Matter and Mind: A Philosophical Inquiry*. New York: Springer.
- CARROLL, S. (2004) *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*. San Francisco: Addison Wesley.
- CHURCHLAND, P. M. (2010). *Plato's Camera: How the Physical Brain Captures a Landscape of Abstract Universals*. Cambridge: The MIT Press.
- ETKINA, E. & WARREN, A. & GENTILE, M. (2005). The role of Models in Physics instruction. *The Physics Teacher*, 44(1), pp. .
- FLORIDI, L. (2011). *The Philosophy of Information*. Oxford: Oxford University Press.
- FRIGG, R. & HARTMAN, S. (2012). Models in Science. *Stanford Encyclopaedia of Philosophy*. Center for the Study of Language and Information (CSLI), Stanford University. Retrieved November 12, 2014, from: <http://plato.stanford.edu/entries/models-science/>.
- GOLDSTEIN, P., POOLE, C. & SAFKO, J. (2001). *Classical Mechanics: Third Edition*. San Francisco: Addison Wesley.
- HOOKE, C.A. (1987). *A Realistic Theory of Science*. New York: State University of New York Press.
- HOOKE, C.A. (1995). *Reason, Regulation and Realism: Toward Regulatory Systems Theory of Reason and Evolutionary Epistemology*. New York: State University of New York Press.

-
- LADYMAN, J (2014) Structural Realism. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Retrieved October 27, 2014, from: <http://plato.stanford.edu/entries/structural-realism/>.
- LANGACKER, P. (2010). *The Standard Model and Beyond*. New York: CRC Press.
- Lipton, P. (2004). *Inference to the Best Explanation*. New York: Routledge
- MAGGIORE, M. (2005). *A Modern Introduction to Quantum Field Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- PSILLOS, S (2000). The Present State of the Scientific Realism Debate. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 51, pp. 705-728. Retrieved December 07, 2014, from: <http://jstor.org/stable/3541614>.
- PSILLOS, S. (2001). Is Structural Realism Possible?. *Philosophy of Science*, 68(3), Supplement: Proceedings of the 2000 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Part I: Contributed Papers (Sep., 2001), pp. S13-S24. Retrieved December 01, 2014, from: <http://www.jstor.org/stable/3080931>.
- SHIMONY, A. (1947). An Ontological Examination of Causation. *The Review of Metaphysics*, 1(1), pp. 52-68. Retrieved December 02, 2014, from: <http://www.jstor.org/stable/20123089>.
- SCHWINGER, J. (1957). A Theory of the Fundamental Interactions. *Annals of Physics*, 2, pp. 407-434.
- WORRALL, J. (1989). Structural Realism: The Best of Both Worlds?. *Dialectica*, 43(1-2), pp. 98-124.
- YUKAWA, H. (1935). On the Theory of Elementary Particles I. *Progress of Theoretical Physics*, 2(4), pp. 209 - 215.

El proceso de aceptación de modelos de decisión en organizaciones privadas

Esteban Anzoise & Silvia Curadelli & Cristina Scaraffia¹

Resumen

Existe una ausencia de estudios sistemáticos para identificar los factores presentes para la aceptación de modelos de decisión en el proceso de decisión de ejecutivos de organizaciones privadas. Este trabajo propone dicho estudio desde la perspectiva de la Teoría de la Innovación Tecnológica, al considerar los Modelos de Decisión como artefactos tecnológicos. Este trabajo exploratorio argumenta que la integración del Modelo de Difusión de Tecnologías Innovadoras de Rogers y el Modelo de Difusión de Bass con el Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen permitiría obtener un modelo explicativo tanto del proceso de aceptación y/o resistencia al uso de modelos de decisión en el área de administración como de su velocidad de difusión. Al establecer la correspondencia entre dichos modelos y su complementariedad, podría extenderse el uso del cuestionario validado de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen para medir el grado de aceptación de los Modelos de Decisión en un momento temporal determinado. De igual forma, la determinación de los parámetros del Modelo de Difusión de Bass permitiría pronosticar el grado de difusión de los Modelos de Decisión en un determinado contexto social y horizonte temporal.

Palabras claves: modelos de decisión, difusión de tecnologías, comportamiento planeado; gestión de organizaciones, ciencia de la administración.

¹ Instituto de Gestión Universitaria – Grupo IEMI - Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional – Argentina.
E-mail de contacto: esteban.anzoise@frm.utn.edu.ar

Introducción

Existe todavía una alta resistencia al uso de modelos de decisión por parte del personal de dirección en las organizaciones privadas. Las decisiones sobre la mejor asignación de recursos para el logro de los objetivos organizacionales se basan en datos parciales de la realidad, intuición y consenso grupal. Este trabajo busca identificar los factores presentes para la aceptación y/o rechazo de los modelos de decisión en organizaciones privadas. Para ello se propone la integración del Modelo de Difusión de Tecnologías Innovadoras de Rogers y el Modelo de Difusión de Bass con el Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen como modelos explicativos de la aceptación y/o resistencia al uso de modelos de decisión en el área de administración.

La construcción de un modelo teórico para explicar un aspecto de la realidad es uno de los pasos en la investigación científica que se inicia con el planteo del problema y continúa luego de construir un modelo teórico con la deducción de consecuencias particulares; la prueba de hipótesis y la introducción de conclusiones en la teoría analizada (Bunge, 1997). La aceptación de modelos es amplia tanto en las ciencias formales como en las ciencias naturales fácticas que incluye entre otras a química, astronomía y biología (Giere, 2010; Suppes, 1969). Sin embargo todavía la aceptación de modelos es limitada en las ciencias naturales culturales (García Sierra, 2001) tales como sociología; antropología, economía, educación e historia (D'Andrade, 1974). Este nivel de aceptación es aún menor en áreas del conocimiento tal como administración donde todavía perdura el debate sobre su categorización como arte, técnica o ciencia (C.Mosher & Cimmino, 1961; D. Davis, 2001).

En toda organización, el Modelo de Vroom-Yetton-Jago provee un mecanismo de análisis del contexto de decisión para determinar el modo más eficiente y efectivo de decidir (Vroom & Yetton, 1973). Sin embargo, este modelo no explica los factores que favorecen el proceso de aceptación de los modelos de decisión ni los factores que promueven la difusión de dichos modelos en un determinado entorno de gestión. Este trabajo propone el considerar los modelos de decisión como elementos tecnológicos y como tales explicar los procesos de aceptación y difusión integrando el Modelo de Difusión de Tecnologías Innovadoras (Rogers, 1995), el Modelo de Difusión de Bass (G. L. Lilien & Rangaswamy, 2004) y el Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado (Ajzen, 1991, 2002).

El uso de modelos en el proceso de decisión

Decidir no es la tarea más demandante en términos de horas del personal en cargos directivos de una organización pero sin embargo es la más importante (Drucker, 2007). La realización de decisiones correctas en un ambiente complejo conduce al éxito y la supervivencia de la organización en el largo plazo (Drucker, 2007; Grünig & Kühn, 2013; Probst & Bassi, 2014). Diversos estudios muestran el impacto de las correctas decisiones en las organizaciones. Como muestra, puede citarse el estudio de los procesos de decisión de administradores de nivel superior realizado por Capgemini en UK. Este estudio revela que los administradores en dicha categoría realizan un promedio de 20 decisiones diarias con un impacto financiero promedio de £167.000 y una tasa de error del 24% (Grünig & Kühn, 2013).

Todo proceso de decisión está delimitado por los objetivos a alcanzar, recursos disponibles y el tiempo en el cual se deben alcanzar los objetivos propuestos (Project Management Institute, 2004). Diversos estudios coinciden en que el proceso de decisión requiere elegir el modo de decidir y la realización de un proceso secuencial que permite elegir el mejor curso de acción (Cleland & Ireland, 2006; Grünig & Kühn, 2013; Heizer & Render, 2001; Koontz & Weihrich, 1998).

El Modelo de Vroom-Yetton-Jago provee un mecanismo de análisis del contexto de decisión para determinar el modo más eficiente y efectivo de decidir (Vroom, 2000; Vroom & Jago, 1988, 2007; Vroom & Yetton, 1973). Luego de determinar el estilo de liderazgo a aplicar y el grado de participación del equipo de los integrantes del equipo de trabajo, se realiza un proceso secuencial que permite elegir el mejor curso de acción. Este proceso involucra identificar el problema a enfrentar; recolectar información sobre dicho problema; generar posibles soluciones o cursos de acción para su resolución; analizar y comparar las distintas alternativas de solución; y finalmente seleccionar el mejor curso de acción (Cleland & Ireland, 2006; Grünig & Kühn, 2013; Kepner & Tregoe, 1997; Probst & Bassi, 2014). En particular, este trabajo se focaliza en el paso de recolectar información sobre el problema a resolver.

En el contexto de la administración, el proceso de entender la realidad requiere un adecuado balance entre la visión intuitiva de la misma y el resultado de la realización de procesos de observación, cuasi-experimentación y experimentación. El uso de datos como salida directa de dichos procesos conduce en general a decisiones erróneas. Es necesario

convertirlos en información al procesarlos a través de diversas herramientas y agregarles contexto. Finalmente, se debe convertir la información en conocimiento al someterla a un proceso de análisis que permite su testeo y validación lo que da un alto grado de exactitud a su contenido (Myatt, 2012). Este proceso es equivalente a la generación de conocimiento racional aplicando el método científico. Dicho conocimiento racional está constituido por conceptos, juicios y raciocinios que se combinan de acuerdo con algún conjunto de reglas lógicas con el fin de producir nuevas ideas (inferencia deductiva) y se organizan en conjuntos ordenados de proposiciones (teorías) (Bunge, 1997).

La generación de modelos entendidos como un “esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja”(Real Academia Española, 2001) es una de las principales herramientas para convertir datos en conocimiento. El proceso de generación de modelos de un aspecto de la realidad requiere la selección de factores pertinentes; inventar hipótesis central y auxiliares que realicen el nexo entre las variables identificadas y la traducción matemática de la hipótesis (Bunge, 1997; D. Davis, 2001). La aceptación de modelos es amplia tanto en las ciencias formales como en las ciencias naturales fácticas que incluye entre otras a química, astronomía y biología (Giere, 2010; Suppes, 1969).

Sin embargo todavía la aceptación de modelos es limitada en las ciencias naturales culturales (García Sierra, 2001) tales como sociología; antropología, economía, educación e historia (D’Andrade, 1974). Este nivel de aceptación es aún menor en áreas del conocimiento tal como administración donde todavía perdura el debate sobre su categorización como arte, técnica o ciencia (C.Mosher & Cimmino, 1961; D. Davis, 2001).

En el marco de la Teoría Científica Administrativa, los aportes de la Escuela Sistemica en los 60s (Koontz & Weihrich, 1998) generó un amplio desarrollo teórico para el desarrollo de modelos en las ciencias sociales que se inició en la década de los 70s (Blalock, 1974; Duncan, 1985; Gras, 1995; Koopmans, 1985; Lave & March, 1993; Mason & Halter, 1985; McCleary & Hay, 1980; Sullivan, 1985). Dicho desarrollo sentó las bases para el uso de simulaciones en computadoras para construir modelos teóricos en forma alternativa a los procesos de argumentación y formalización utilizando modelos basados en agentes (Gilbert & Terna, 2000).

Estos modelos proveen un marco de referencia para la comprensión de una realidad de complejidad creciente y proveen oportunidades para explorar las consecuencias de posibles decisiones alternativas (G. L. Lilien & Rangaswamy, 2004; Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1997; Morwitz, 2001). Los avances en la potencia de cálculo de las computadoras personales han posibilitado la difusión del uso de los modelos de decisión en ciertas áreas de la administración tales como marketing (G. L. Lilien & Rangaswamy, 2004), finanzas (Higgins, 1997; Raun, 1964) y producción (Kleinfeld, 1993; Park, 1993).

Los modelos de decisión como elementos tecnológicos

Diversos trabajos en el área de los procesos de decisión muestran que un alto porcentaje de ejecutivos decide basados en su experiencia previa, modelos mentales o un simple conjunto heurístico de reglas de decisión (Grünig & Kühn, 2013; Kepner & Tregoe, 1997; Probst & Bassi, 2014; Stern, 2003). Estos procesos de decisión pueden ocurrir sin una real comprensión del complejo sistema en el cual se halla inmersa la organización. Por ello los modelos mentales resultan limitados y es necesario el uso de simulaciones basadas en modelos de decisión cercanos a la realidad compleja (Brehmer & Allard, 1991; Grünig & Kühn, 2013).

Sin embargo, el proceso de aceptación de modelos de decisión halla una fuerte resistencia en los ejecutivos de las organizaciones dada la dificultad para entender fácilmente los modelos matemáticos formales embebidos en los mismos (Al-Mamary, Alina Shamsuddin, & Aziati, 2013; G. L. Lilien & Rangaswamy, 2004; Stern, 2003). Entre los factores de resistencia se puede identificar la perspectiva personal del usuario hacia el modelo de decisión; variables situacionales y personales; nivel de satisfacción con el modelo de decisión; y el estilo cognitivo del usuario (Ram, 1987; Schultz & Henry, 1981). De igual forma se puede identificar como factor de éxito la habilidad integrativa del usuario del modelo (Al-Mamary et al., 2013; Aldhmour & Eleyan, 2012; Zoltners, 1981). Sin embargo existe una ausencia de estudios sistemáticos en dichos aspectos.

Existen diversas definiciones de tecnología. Una de las acepciones de la Real Academia Española la define como el "conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico" (Real Academia Española, 2001). Para este trabajo definiremos tecnología como "la práctica implementación de aprendizajes y conocimiento por parte de individuos y organizaciones para ayudar al

esfuerzo que realiza la humanidad para el logro de objetivos“ (White & Bruton, 2007, p. 16). Desde esta perspectiva, el entender los modelos de decisión como una muestra del aprendizaje y conocimiento por parte de los individuos sobre la realidad implica su existencia como un elemento tecnológico cada vez que se utiliza para ayudar al esfuerzo que realizan las organizaciones privadas para el logro de sus objetivos. En consecuencia, cabe la pregunta sobre como es el proceso de aceptación de modelos de decisión desde la perspectiva de una tecnología innovadora en el área de decisión.

Desde la perspectiva de la teoría de Difusión de Innovaciones [Innovation Diffusion Process theory], Rogers (1995) busca explicar el proceso por el cual las nuevas ideas y tecnologías² se difunden a través de una cultura específica. Rogers define difusión como “el proceso por el cual una innovación se comunica a través de ciertos canales a lo largo del tiempo entre los miembros de un sistema social”(Rogers, 2003, p. 5). Este proceso consta de cinco etapas: conocimiento, persuasión o convencimiento, decisión, implementación y confirmación (Rogers, 2003). El individuo pasa de un primer conocimiento de la innovación (1) a formar una opinión o actitud acerca de la misma (2), a la decisión de adoptarla o rechazarla (3), a la implementación de la nueva idea o tecnología (4), y la confirmación de esa decisión (5). Diversos estudios confirman la validez del modelo de difusión en áreas como Sistemas de Información Contables (O’Leary, 2009), Modelos de Mercadeo (G. Lilien, Philip, & Moorthy, 1992) y nuevos productos tecnológicos (G. L. Lilien & Rangswamy, 2004).

² Nota del autor: Rogers define tecnología como “el diseño para una acción instrumental que reduce la incertidumbre en la relaciones causa – efecto involucradas para alcanzar un cierto resultado” (Rogers, 2003, p. 13). Dicho diseño está compuesto por una componente tecnológica dura [hardware] que es “la herramienta que da sustrato a la tecnología en la forma de un objeto físico o material” y una componente tecnológica blanda [software] que es “la base informacional para la herramienta” (Rogers, 2003, p. 259).

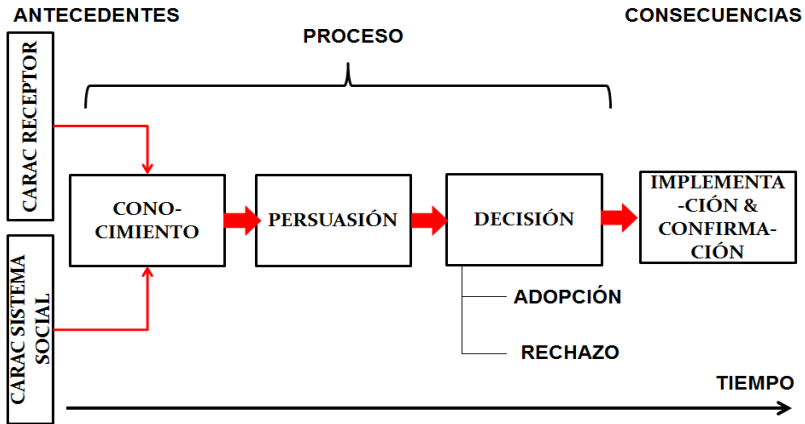


Gráfico 1: Modelo de la Teoría de Difusión de Innovaciones.

Fuente: Adaptado de Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovation*, 4th edition. New York, NY: Free Press Copyright © 1995 by Everett M. Rogers.

En la etapa de conocimiento, el individuo aprende sobre la existencia de la innovación y busca información sobre cómo utilizarla correctamente así como los principios funcionales que describen cómo y por qué la innovación funciona (Rogers, 2003). Es fundamentalmente una etapa centrada en el conocimiento sobre la innovación donde a mayor conocimiento antes de probar la innovación mayor es la chance de su adopción. Por ello este conocimiento se vuelve crítico en innovaciones de relativa complejidad tales como modelos de decisión de base estadística. El resultado de esta etapa está influenciado por las características socio-económicas del individuo; su personalidad y su comportamiento comunicacional.

En la etapa de persuasión, el individuo desarrolla una actitud positiva o negativa hacia la innovación pero esto “no siempre lleva directa o indirectamente a la adopción o rechazo” (Rogers, 2003, p. 176). Actitud es definida de múltiples formas de acuerdo a las diferentes teorías volitivas desarrolladas. A los términos de esta investigación, se define actitud como “una predisposición aprendida a responder consistentemente de un modo favorable o desfavorable ante objetos, personas o grupos de personas y situaciones” (García-Urrea & Chikhani, 2012). Tal y como indica este autor, la actitud es aprendida y por lo tanto se va conformando a lo

largo de toda la vida del individuo y no en un momento determinado. Esta etapa es principalmente centrada en los sentimientos y toma como referencia el conocimiento sobre la innovación desarrollado previamente. Los factores que influyen en esta etapa son el refuerzo social que ejercen los que rodean al individuo y el grado de incertidumbre sobre el funcionamiento de la innovación.

Luego del desarrollo de una actitud positiva o negativa hacia la innovación, sigue la etapa de decisión donde el individuo decide adoptar o rechazar la innovación. La intención de adoptar se refiere al “uso total de una innovación como el mejor curso de acción posible” y la de rechazo se refiere a “no adoptar una innovación” (Rogers, 2003, p. 177). En el caso del uso de modelos de decisión por ejecutivos, la decisión estará influenciada por el grado en el cual su uso en el proceso de decisión será valorada positivamente no solo por el individuo sino por el entorno organizacional.

Luego de decidir adoptar o rechazar la innovación, siguen las etapas de implementación y confirmación. En la etapa de implementación, el individuo pone la innovación en práctica. Con el objeto de sostener la difusión de la innovación es necesario reducir el grado de incertidumbre sobre el resultado final a alcanzar así como facilitar el grado de reinención de la innovación definido como “el grado en el cuál una innovación puede ser cambiada o modificada por el usuario en el proceso de su adopción e implementación” (Rogers, 2003, p. 180). Finalmente, en la etapa de confirmación, el individuo busca mensajes externos que confirmen su decisión lo cual puede llevar a confirmar la adopción de la innovación o a discontinuar su uso al reemplazarla por una mejor o dejar de utilizarla al percibir que no le provee una ventaja relativa.

La velocidad de adopción de una innovación permite “la clasificación de los miembros de un sistema social a partir de su grado de originalidad” (Rogers, 2003, p. 22), es decir “el grado en el cual un individuo u otra unidad de adopción adopta en forma temprana nuevas ideas antes que otros miembros del sistema” (Rogers, 2003, p. 22). El gráfico 2 muestra las cinco categorías propuestas por Rogers (innovadores; adoptantes tempranos; mayoría temprana; mayoría tardía y rezagados). La tabla 1 muestra el factor principal que impulsa la adopción de la innovación en cada categoría.

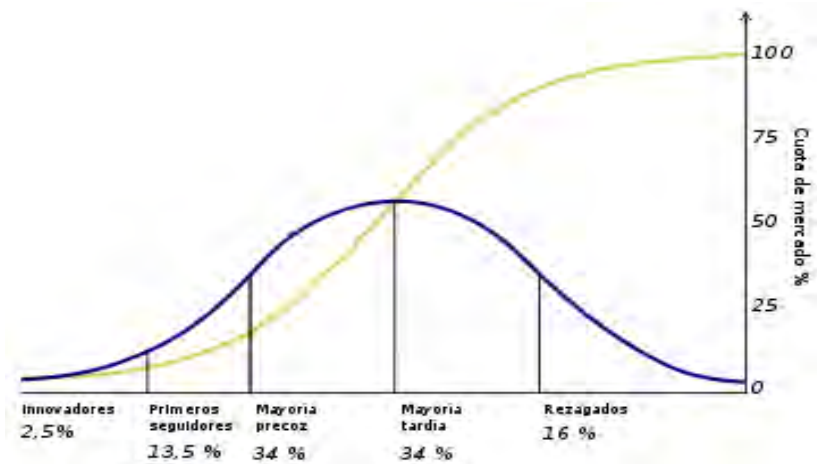


Gráfico 2: Categorización de los individuos que adoptan una innovación según su grado de originalidad.

Fuente: Reproducido de Wikipedia. (2014, 15 October 2014 at 16:20). Difusión de Innovaciones. Retrieved 02/12/2014, 2014, from http://es.wikipedia.org/wiki/Difusi%C3%B3n_de_innovaciones © [Creative Commons Attribution-ShareAlike License](#)

Rogers describe el proceso de difusión de la innovación como un “proceso de reducción de la incertidumbre” (Rogers, 1995, p. 216) e identifica los cinco atributos de la innovación que ayudan a reducir su grado de incertidumbre: 1) ventaja relativa, 2) compatibilidad, 3) complejidad, 4) posibilidad de ser observada y 5) funcionamiento comprobado. La tabla 2 muestra la definición correspondiente. Esto implica que la nueva tecnología se difundirá entre los individuos si los posibles usuarios perciben que la innovación: 1) tiene ventajas por sobre innovaciones previas; 2) es compatible con las prácticas existentes; 3) es fácil de entender y usar; 4) muestra resultados observables y 5) se puede mínimamente experimentar con ella antes de adoptarla (Rogers, 1995).

Tabla 1:

CATEGORIZACIÓN	FACTOR IMPULSOR
innovadores	Necesidad de experimentar nuevas ideas / capacidad para enfrentar la incertidumbre
adoptantes tempranos	Necesidad de experimentar nuevas ideas / liderazgo dentro de los límites del sistema social al cual pertenecen
mayoría temprana	Tiempo para evaluar la adopción de la innovación / buena interacción con los otros miembros del sistema social
mayoría tardía	Necesidad económica / presión de los pares para adoptar la innovación
rezagados	certeza del éxito de adoptar la innovación

Fuente: Adaptado de Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovation*, 4th edition. New York, NY: Free Press Copyright © 1995 by Everett M. Rogers.

Bass formalizó matemáticamente el Modelo de Difusión de Rogers lo que permite estimar el número de consumidores que adoptarán (comenzarán a comprar) un nuevo producto a lo largo del tiempo a través de la interacción de innovadores y el resto de los consumidores definidos como imitadores como se muestra en el gráfico 3 (Bass, 1969).

El Modelo de Bass desarrollado inicialmente para predecir la demanda de productos de consumo durable como televisores, seca-ropas, lava-va-jillas y congeladores (G. L. Lilien & Rangaswamy, 2004), demostró que su aplicación se extiende a toda clase de productos y nuevas tecnologías (Bass, 2004; Jordi, 2004; G. Lilien et al., 1992) en diferentes mercados y contextos culturales (Naseri & Elliott, 2013; Shankar, 2008; Weissmann, 2008). Sin embargo, este modelo de por sí requiere una mayor complejidad dado que “se conoce muy poco sobre la relación entre la intención de uso y la real adopción de tecnología y se conoce menos sobre como ajustar la intención de uso en casos individuales para estimar el mercado potencial” (Bass, 2004, p. 1839)

Tabla 2:

ATRIBUTOS	DEFINICIÓN
ventaja relativa	el grado en el cual una innovación es percibida como mejora que la idea que reemplaza
compatibilidad	el grado en el cual una innovación es percibida como consistente con los valores existentes, experiencias pasadas y necesidades de los adoptantes potenciales
complejidad	el grado en el cual una innovación es percibida como relativamente difícil de comprender y utilizar
posibilidad de ser observada	el grado en el cual una innovación puede ser experimentada en forma limitada
funcionamiento comprobado	el grado en el cual los resultados de una innovación son visibles a otros

Fuente: Adaptado de Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovation*, 4th edition. New York, NY: Free Press Copyright © 1995 by Everett M. Rogers

A partir del Modelo de Difusión propuesto por Rogers y la Teoría de Acción Razonada de Ajzen (Fishbein & Ajzen, 1975), los trabajos de Davis (1989) y Moore y Benbasat (1991) permiten el desarrollo del Modelo de Aceptación de Tecnología [Technology Acceptance Model (TAM)] con un cuestionario validado para medir el grado de aceptación de la innovación entre otros aspectos. TAM involucra dos predictores primarios: Facilidad de uso percibida (EU) y Utilidad percibida (U) y la variable independiente Intención de Comportamiento (BI) (F. D. Davis, 1989; Moore & Benbasat, 1991). Diversos trabajos de investigación y meta-análisis confirman la correlación positiva entre ventaja relativa y compatibilidad con la tasa de adopción de la innovación (King & He, 2006; Tornatzky & Klein, 1982) así como la correlación negativa entre complejidad y la tasa de adopción (Tornatzky & Klein, 1982).

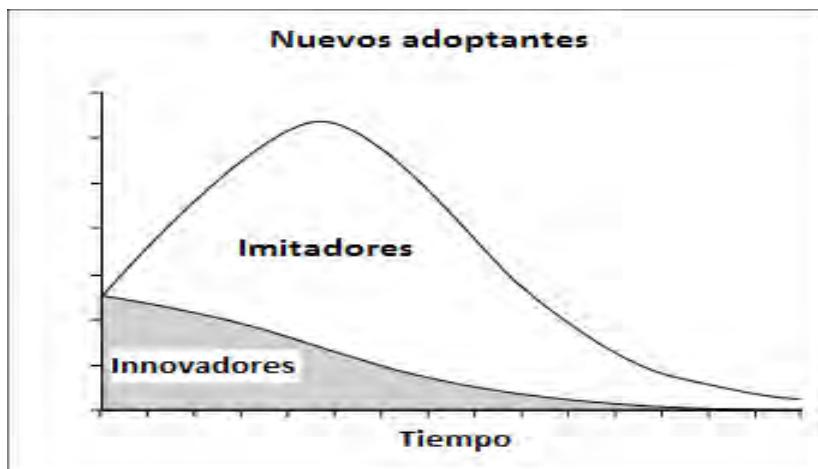


Gráfico 3: Pronóstico de número de nuevos usuarios utilizando el Modelo de Bass

Fuente: Adaptado de Wikipedia. (2014, 19 August 2014 at 08:13). Bass diffusion model. Retrieved 02/12/2014, 2014, from http://en.wikipedia.org/wiki/Bass_diffusion_model © Creative Commons Attribution-ShareAlike License

Diversos modelos han surgido ampliando el número de predictores pero siempre conservando los predictores Facilidad de uso percibida (EU) y Utilidad percibida (U) como núcleo siendo el más comprehensivo el modelo de la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de la Tecnología [Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)] (Venkatesh, Morris, Davis, & Davis, 2003). La aplicación de estos modelos se ha realizado principalmente a nivel de usuarios de tecnología informática con diferentes porcentajes de hardware y software ya sea en diferentes puestos de trabajo como usuarios finales de las aplicaciones (Yaghoubi & Bahmani, 2010; Yayla & Hu, 2007).

Discusión y conclusiones

La necesidad de decidir en un contexto de complejidad creciente donde los modelos mentales presentan altas limitaciones frente a modelos de decisión de base estadística lleva a formular como pregunta válida aquella sobre los factores que ayuden a la adopción de modelos de decisión en el proceso de decisión de los ejecutivos de organizaciones privadas.

A partir de la Teoría de Acción Razonada [Theory of Reasoned Action (TRA)] de Ajzen (Fishbein & Ajzen, 1975) surge la Teoría del Comportamiento Planeado [Theory of Planned Behavior (TPB)] (Ajzen, 1988, 1991) con el objeto de incluir aquellas situaciones donde el individuo no tiene un completo control sobre su comportamiento. En este modelo se introducen mejoras al modelo de TRA al incluir el control volitivo sobre el comportamiento (Ajzen, 1988). Tanto TAM como TPB han sido rigurosamente testeadas en diferentes contextos tecnológicos mostrando similar capacidad predictiva del comportamiento y mejor que los sucesivos modelos híbridos generados (Taylor & Todd, 1995; Yayla & Hu, 2007). Sin embargo, TAM adolece de variables sociales, el impacto de las personas significativas para el sujeto y controles de comportamiento (Mathieson, 1991; Taylor & Todd, 1995) por lo que la TPB provee “una comprensión más completa de los determinantes de la intención” (Taylor & Todd, 1995, p. 169; Yayla & Hu, 2007).

Desde la perspectiva de la Teoría del Comportamiento Planeado [Theory of Planned Behavior] (Ajzen, 1991, 2002, 2011; Harder, 2009) se halla un modelo que explica cómo las actitudes pueden predecir un comportamiento probable. Ajzen postula que las intenciones determinan el comportamiento de manera causal y que las intenciones son provocadas por dos factores: la influencia de las actitudes hacia el comportamiento y la influencia de las normas subjetivas (Ajzen y Fishbein, 1977). Las actitudes son función de creencias comportamentales (información disponible sobre las consecuencias de la conducta y valoración de la misma) y las normas subjetivas son función de creencias normativas (percepción de lo que referentes significativos para el sujeto piensan sobre si debería realizar o no esa conducta y de la motivación para cumplir con ellos) como se muestra en el gráfico 4.

Tomando como referencia el modelo del Comportamiento Planeado se hace necesario determinar la influencia de las actitudes hacia el uso de modelos de decisión y la influencia de las normas subjetivas. En este caso

particular, la actitud³ sería medida por un enunciado del tipo “Utilizar un modelo de decisión en mi proceso de decisión sería para mi ...” en tres escalas Likert de cuatro puntos que van de muy bueno (4) a muy malo (1); inteligente (4) a estúpido (1) y desde benéfico (4) a perjudicial (1).

A su vez, la actitud del individuo queda definida por el balance producido entre la creencia respecto del comportamiento esperado de utilizar el modelo de decisión y la evaluación que realiza el individuo del comportamiento esperado. La creencia respecto del comportamiento esperado⁴ estaría medida por un enunciado del tipo “Utilizar un modelo de decisión en mi proceso de decisión significaría que mi decisión sería mejor” en una escala Likert de cuatro puntos que va de muy cierto (4) a muy falso (1). La evaluación que realiza el individuo del comportamiento esperado estaría medida por un enunciado del tipo “Utilizar un modelo de decisión en mi proceso de decisión sería para mi ...” en una escala Likert de cuatro puntos que va de muy bueno (4) a muy malo (1). Si la evaluación es positiva, ambos constructos generarían una idea de la forma “Es muy probable que utilizando Modelos de Decisión en forma regular en mis procesos de decisión mejoraré la calidad de mis decisiones”. Estos constructos resultan equivalentes al atributo “ventaja relativa”, identificada por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, por el cual una innovación es percibida como mejor que la idea que reemplaza.

El segundo constructo que modela la Intención de Comportamiento es las Normas Subjetivas [Subjective norms] que comprenden las diferentes componentes de presión social percibida por el individuo por parte de sus referentes más importantes para que realice o no un determinado comportamiento (valores familiares e individuales, normas legales, reglas institucionales, etc.). En el caso de una organización privada, la presión social lo ejercerá el cuerpo directivo de la misma para realizar decisiones correctas que tengan un impacto positivo en el resultado financiero. En este caso, las normas subjetivas del individuo quedan definidas por el balance producido entre las creencias normativas respecto del comportamiento esperado de utilizar el modelo de decisión y la motivación para utilizar el modelo de decisión que experimenta el individuo.

³ Actitud queda definida como el grado en el cual el comportamiento esperado es valorado positiva o negativamente por el individuo.

⁴ La creencia respecto del comportamiento esperado refleja la creencia del individuo sobre las consecuencias probables del comportamiento. Este concepto está basado en una probabilidad subjetiva de que el comportamiento producirá cierto resultado.

En este caso particular, la influencia de las normas subjetivas sobre la intención de comportamiento sería medida por un enunciado del tipo “La mayoría de la gente cuya opinión es importante para mí piensa que yo debería utilizar un modelo de decisión en mi proceso de decisión” en una escala Likert de cuatro puntos que va de muy cierto (4) a muy falso (1). En relación con las creencias normativas respecto del comportamiento esperado de utilizar el modelo de decisión estarían medidas por un enunciado del tipo “Mi supervisor inmediato piensa que yo debería utilizar un modelo de decisión en mi proceso de decisión” en una escala Likert de cuatro puntos que va de muy cierto (4) a muy falso (1). Finalmente, en relación con la motivación para utilizar el modelo de decisión que experimenta el individuo estaría medida por un enunciado del tipo “En general, deseo hacer aquello que mi supervisor inmediato piensa que yo debería hacer” en una escala Likert de cuatro puntos que va de totalmente de acuerdo (4) a totalmente en desacuerdo (1). Estos constructos resultan equivalentes al atributo “compatibilidad con prácticas y valores existentes”, identificada por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, por el cual una innovación es percibida como que es consistente con los valores, experiencias pasadas y necesidades de los potenciales adoptantes.

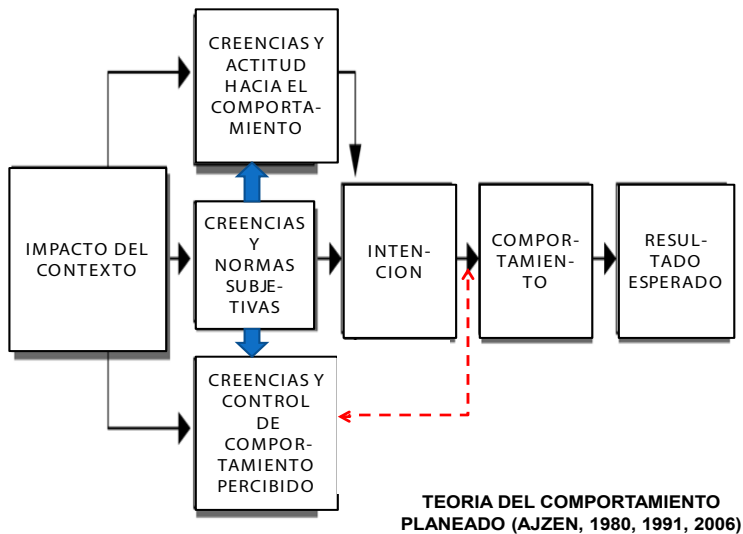


Gráfico 4: Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado

Para que un determinado comportamiento se materialice, es necesario que la intención se mantenga en el tiempo desde que es definida hasta el momento de su realización. Esto requiere por parte del individuo la existencia del Control de Comportamiento Percibido, factor determinante para comprender aquellos comportamientos cuya realización requiere control por parte del individuo. Siguiendo a Ajzen, se puede definir el Control de Comportamiento Percibido como la valoración que hace el individuo sobre si un determinado comportamiento será fácil o no de llevarse a cabo; es decir, el control que la persona cree tener sobre la realización de un determinado comportamiento. Diversos estudios refuerzan la evidencia de que las actitudes, los valores individuales y los factores de control tienen una significativa influencia en el comportamiento de los individuos (Ajzen, 2011; Harder, 2009; Moore & Benbasat, 1991; Taylor & Todd, 1995; Tseng, Tu, Lee, & Wang, 2013; Wu, Tao, & Yang, 2008) y en particular en usuarios de nuevas tecnologías de base informática aplicaciones informáticas tales como acceso bancario y transacciones bursátiles a través de Internet (Bhattacharjee, 2000; Yaghoubi & Bahmani, 2010); uso de posicionadores satelitales (Tseng et al., 2013); y telemedicina (Chau & Hu, 2002).

En el caso particular de estudio, para que el comportamiento esperado de que el individuo utilice un modelo de decisión en su proceso de decisión se materialice, es necesario que la intención se mantenga en el tiempo desde que es definida hasta el momento de su realización. Esto requiere por parte del individuo la existencia del Control de Comportamiento Percibido, factor determinante para comprender aquellos comportamientos cuya realización requiere control por parte del individuo. Siguiendo a Ajzen, para este caso se puede definir el Control de Comportamiento Percibido como la valoración que hace el individuo sobre si utilizar un modelo de decisión en su proceso de decisión será fácil o no de llevarse a cabo; es decir, el control que el ejecutivo cree tener sobre la realización de un determinado comportamiento. En el caso de los ejecutivos de organizaciones privadas, el Control de Comportamiento Percibido queda definido por las Creencias de Control⁵ del individuo sobre el comportamiento esperado. Dicha Creencia de Control está dada por el balance producido entre la convicción que uno puede exitosamente eje-

⁵ La Creencia de Control del individuo es la probabilidad subjetiva - estimación que realiza el individuo - que un factor facilitador o inhibidor del comportamiento esperado se presente. Dichos factores incluyen competencias y habilidades requeridas; disponibilidad de tiempo y dinero; la cooperación de otras personas; etc.

cutar el comportamiento requerido para producir el resultado esperado [self-efficacy] y la estimación que realiza el individuo que un comportamiento determinado producirá un cierto resultado [outcome expectancy]. En este aspecto, el constructo “Creencias de Control” [Control beliefs] resulta equivalente al atributo “simplicidad y facilidad de uso”, identificada por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, por el cual una innovación es percibida como difícil de comprender y utilizar. Finalmente, en relación con los atributos “resultados observables” (lo que permite reducir la incertidumbre) y “posibilidad de ser experimentada” (en forma limitada lo que también permite reducir la incertidumbre) identificados por Rogers en el proceso de Difusión de la Innovación, se postula que existe una correlación positiva con la estimación que realiza el individuo que un comportamiento determinado producirá un cierto resultado [outcome expectancy].

Tabla 3:

ATRIBUTOS MODELO DE DIFUSIÓN (Rogers, 1995)	ATRIBUTOS TAM (King, 2006)	ATRIBUTOS TPB (Ajzen, 1988, 1991, 2011)
Ventaja relativa	(+) Utilidad percibida	Evaluación de resultado subjetiva
Compatibilidad		Creencias normativas & Motivación para utilizar la innovación
Complejidad	(-) Fácil de usar	Creencias de control & Autoeficacia
Posibilidad de ser observada		(+) Expectativa de resultado
Funcionamiento comprobado		(+) Expectativa de resultado
Normas sociales & culturales		Creencias normativas
Competencia tecnológica		Creencias de control
Acceso a la tecnología		Expectativa de resultado

Conclusiones

Diversas meta-análisis muestran la superioridad predictiva de TAM y TPB para determinar la actitud de los individuos frente a diferentes artefactos tecnológicos. De igual forma, el análisis realizado muestra la alta correspondencia entre los atributos del Modelo de Difusión de Rogers y los constructos de la Teoría del Comportamiento Planeado [TPB] de Ajzen frente a los constructos del Modelo de Aceptación de Tecnología [TAM] como se resume en la tabla 3.

En consecuencia, se argumenta que la integración del Modelo de Difusión de Tecnologías Innovadoras de Rogers y el Modelo de Difusión de Bass con el Modelo de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen permitiría obtener un modelo explicativo tanto del proceso de aceptación y/o resistencia al uso de modelos de decisión en el área de administración como de su velocidad de difusión. Al establecer la correspondencia entre dichos modelos y su complementariedad, podría extenderse el uso del cuestionario validado de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen para medir el grado de aceptación de los Modelos de Decisión en un momento temporal determinado. De igual forma, la determinación de los parámetros del Modelo de Difusión de Bass permitiría pronosticar el grado de difusión de los Modelos de Decisión en un determinado contexto social y horizonte temporal.

Referencias

- AJZEN, I. (1988). *Attitudes, Personality and Behavior*. Chicago: Dorsey Press.
- AJZEN, I. (1991). The Theory of Planned Behaviour. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- AJZEN, I. (2002). Perceived Behavioral Control, Self-Efficacy, Locus of Control, and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 32, 1-20.
- AJZEN, I. (2011). The theory of planned behaviour: reactions and reflections. *Psychol Health*, 9, 1113-1127.
- AL-MAMARY, Y. H., ALINA Shamsuddin, & AZIATI, N. (2013). The Impact of Management Information Systems Adoption in Managerial Decision Making: A Review Management Information Systems, 8(4), 010-017.

- ALDHMOUR, F. M., & ELEYAN, M. B. (2012). Factors Influencing the Successful Adoption of Decision Support Systems: The Context of Aqaba Special Economic Zone Authority. *International Journal of Business and Management*, 7(2).
- BASS, F. (1969). A New Product Growth Model for Consumer Durables. *Management Science*, 15(5), 215-227.
- BASS, F. (2004). A New Product Growth Model for Consumer Durables: The Bass Model. *Management Science*, 50(12), 1833-1840.
- BHATTACHERJEE, A. (2000). Acceptance of e-commerce services: The case of electronic brokerages. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part A. Systems and Humans*, 30(4), 411-420.
- BLALOCK, H. M. (1974). *Measurement in the Social Sciences: Theories and Strategies*. Chicago: Aldine Publishing Co.
- BREHMER, B., & ALLARD, R. (1991). Dynamic Decision Making: The effects of task complexity and feedback delay In B. B. a. J. L. J. Rasmussen (Ed.), *Distributed Decision Making: Cognitive models of cooperative work*. Chichester, England: Erlbaum.
- BUNGE, M. (1997). *LA CIENCIA. Su método y su filosofía*. (2da ed.). Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- C. MOSHER, F., & CIMMINO, S. (1961). *Ciencia de la Administración* (J. A. Escalante & F. Anson, Trans. 1ra ed.). Madrid: Ediciones RIALP S.A.
- CLELAND, D. I., & IRELAND, L. R. (2006). *Project Management: Strategic Design and Implementation* (5 ed.). New York: McGraw-Hill Professional,.
- CHAU, P. Y. K., & HU, P. J. H. (2002). Investigating healthcare professionals' decisions to accept telemedicine technology: An empirical test of competing theories. *Information and Management*, 39(4), 297-311.
- D'ANDRADE, R. G. (1974). Memory and the Assessment of Behaviour. In H. M. Blalock (Ed.), *Measurements in the Social*

- Sciences: Theories and Strategies (pp. 470). Chicago, Illinois: Aldine Publishers Company.
- DAVIS, D. (2001). Investigación en administración para la toma de decisiones (5ta ed.). Colonia Polanco, México: International Thomson Editores.
- DAVIS, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology *MIS Quarterly*, 13(3), 318-340.
- DRUCKER, P. F. (2007). *The Effective Executive* (2nd Revised ed.). New York: Elsevier.
- DUNCAN, O. D. (1985). Path Analysis: Sociological Examples. In H. M. Blalock (Ed.), *Causal Models in the Social Sciences* (1st ed., pp. 55-80). New York: Aldine Publishers Co.
- FISHBEIN, M., & AJZEN, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- GARCÍA-URREA, S., & CHIKHANI, A. (2012). Percepciones que tienen los docentes de América Latina sobre las tecnologías de la información y la comunicación. *Revista Educación, Comunicación y Tecnología*, 6(12).
- GARCÍA SIERRA, P. (2001). *Diccionario filosófico. Manual de materialismo filosófico. Una introducción analítica.* : PEN-TALFA EDICIONES.
- GIERE, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172, 269-281.
- GILBERT, N., & TERNA, P. (2000). How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*, 1(1), 57-72.
- GRAS, J. A. (1995). Diseño de investigación longitudinal: datos longitudinales y enfoque analítico. In J. A. Gras & J. Arnau (Eds.), *Diseños longitudinales aplicados a las ciencias sociales y del comportamiento* (pp. 200). Mexico: Editorial Limusa.
- GRÜNIG, R., & KÜHN, R. (2013). *Successful Decision-Making. A Systematic Approach to Complex Problems* (M. Montani,

- A. Clark & C. O'Dea, Trans. 3rd ed.). Berlin Springer-Verlag.
- HARDER, A. (2009). Planned Behavior Change: An Overview of the Diffusion of Innovations. Retrieved. from <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/WC/WC08900.pdf>
- HEIZER, J., & Render, B. (2001). Dirección de la Producción. Decisiones Estratégicas. (L. de Larrauri Ros, Trans. 6a ed.). Madrid: Prentice-Hall.
- HIGGINS, R. (1997). Assessing the Financial Health of a Firm - Analysis for Financial Management. New York, N.Y.: Irwin/McGraw-Hill.
- JORDI, R.-R. (2004). Predicting the Speed and Patterns of Technology Take- Up. Australian Venture Capital Journal, 131, 34-36.
- KEPNER, C. H., & TREGOE, B. B. (1997). The New Rational Manager (Updated edition ed.): Princeton Research Press.
- KING, W. R., & HE, J. (2006). A meta-analysis of the technology acceptance model. Information & Management, 43, 740-755.
- KLEINFELD, I. H. (1993). Engineering Economics: Analysis for Evaluation of Alternatives. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.
- KOONTZ, H., & WEIHRICH, H. (1998). Administración. Una perspectiva global (E. M. González, Trans. 11va ed.). Mexico, D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- KOOPMANS, T. C. (1985). Identification Problems in Economic Models Construction. In H. M. Blalock (Ed.), Causal Models in the Social Sciences (1st ed., pp. 103-124). New York: Aldine Publishers Co.
- LAVE, C. A., & MARCH, J. G. (1993). An Introduction to Models in the Social Sciences Lanham, Maryland.
- LILien, G., PHILIP, K., & MOORTHY, K. S. (1992). Marketing Models. New York: Prentice-Hall.

- LILIEN, G. L., & RANGASWAMY, A. (2004). *Marketing Engineering: Computer-assisted Marketing Analysis and Planning*. Victoria, B.C.: DecisionPro, Inc.
- MAKRIDAKIS, S. G., WHEELWRIGHT, S. C., & HYNDMAN, R. J. (1997). *Forecasting: Methods and Applications* (3rd ed.). New York: Wiley.
- MASON, R., & HALTER, A. N. (1985). The Application of a System Simultaneous Equation to an Innovation Diffusion Model In H. M. Blalock (Ed.), *Causal Models in the Social Sciences* (1st ed., pp. 137-158). New York: Aldine Publishers Co.
- MATHIESON, K. (1991). Predicting User Intentions: Comparing the Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior. *Journal: Information Systems Research*, 2(3), 173-191.
- MCCLEARY, R., & HAY, R. (1980). *Applied Time Series Analysis for the Social Sciences*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- MOORE, G. C., & BENBASAT, I. (1991). Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting and Information Technology Innovation. *Information System Research*, 2(3), 192-215.
- MORWITZ, V. G. (2001). Methods for forecasting from intentions data. In J. S. Armstrong (Ed.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (pp. 33-56). New York: Springer Science.
- MYATT, M. (2012, 3/28/2012 @ 12:16PM). 6 Tips for Making Better Decisions. LEADERSHIP Retrieved 06/11/14, 2014, from <http://www.forbes.com/sites/mikemyatt/2012/03/28/6-tips-for-making-better-decisions/>
- NASERI, M. B., & ELLIOTT, G. (2013). The diffusion of online shopping in Australia: Comparing the Bass, Logistic and Gompertz growth models. *Journal of Marketing Analytics* 1, 49-60.
- O'LEARY, D. E. (2009). The Impact of Gartner's Maturity Curve, Adoption Curve, Strategic Technologies on Information Systems Research, with Applications to Artificial Intelligen-

- ce, ERP, BPM, and RFID. JOURNAL OF EMERGING TECHNOLOGIES IN ACCOUNTING, 6.
- PARK, C. S. (1993). Contemporary Engineering Economics Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.
- PROBST, G., & BASSI, A. (2014). Tackling Complexity. A Systemic Approach for Decision Makers. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.
- Project Management Institute. (2004). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Tercera Edición ed.). Newtown Square, PA, EE.UU.: Project Management Institute, Inc.
- RAM, S. (1987). A Model of Innovation Resistance. Advances in Consumer Research, 14, 208-212.
- RAUN, D. L. (1964). The Limitations of Profits Graphs, Breakeven Analysis, and Budgets. The Accounting Review, 39(4), 927-945.
- Real Academia Española. (2001, Abril 2005). Diccionario de la lengua española. 22. Retrieved 21/08/07, 2007, from <http://buscon.rae.es/draeI/>
- ROGERS, E. M. (1995). Diffusion of Innovation (4th ed.). New York, NY: Free Press.
- ROGERS, E. M. (2003). Diffusion of Innovation. New York, NY: Simon and Schuster.
- SCHULTZ, R. L., & HENRY, M. D. (1981). Implementing Decision Models. In R. L. Schultz & A. A. Zoltners (Eds.), Marketing Decision Models. New York: Elsevier Science Publishing Co.
- SHANKAR, V. (2008). The Evolution of Markets: Innovation Adoption, Diffusion, Market Growth, New Product Entry, and Competitor Responses. In S. Shane (Ed.), The Handbook of Technology and Innovation Management (20/11/2008 ed., pp. 504). Chippenham, Wiltshire, GB: John Wiley & Sons.
- STERN, D. (2003). Increasing acceptance of managers for the use of marketing decision support systems. Paper presented at

- the Australian and New Zealand Marketing Academy Conference, Adelaide, Australia.
- SULLIVAN, J. L. (1985). Multiple Indicators and Complex Causal Models. In H. M. Blalock (Ed.), *Causal Models in the Social Sciences* (1st ed., pp. 395-402). New York: Aldine Publishers Co.
- SUPPES, P. (1969). *Studies in the methodology and foundations of science: Selected papers from 1951 to 1969.* (Vol. 12). Dordrecht: Reidel.
- TAYLOR, S., & Todd, P. A. (1995). Understanding information technology usage: A test of competing models. *Information Systems Research*, 6(2), 144-176.
- TORNATZKY, L. G., & KLEIN, K. J. (1982). Innovation characteristics and innovation adoption-implementation: A meta-analysis of findings. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-29, 28-45.
- TSENG, H. C., TU, P. P., LEE, Y. C., & WANG, T. S. (2013). A Study of Satellite Navigation Fleet Management System Usage in Taiwan with Application of C-TAM-TPB Model. *Information Technology Journal*, 12(1), 15-27.
- VENKATESH, V., MORRIS, M. G., DAVIS, G. B., & DAVIS, F. D. (2003). User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- VROOM, V. H. (2000). Leadership and the Decision-Making Process. *Organizational Dynamics*, 28(4), 82-94.
- VROOM, V. H., & JAGO, A. G. (1988). *The New Leadership: Managing Participation in Organizations* (1st ed.). New York: Prentice Hall.
- VROOM, V. H., & JAGO, A. G. (2007). The Role of the Situation in Leadership. *American Psychologist* 62(1), 17-24.
- VROOM, V. H., & YETTON, P. (1973). *Leadership and Decision Making* (1st ed.). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
- WEISSMANN, V. (2008). Difusión de nuevas tecnologías y estimación de la demanda de nuevos productos: un análisis

- comparativo entre Argentina y EE.UU. *Palermo Business Review*, 1, 5-18.
- WHITE, M. A., & BRUTON, G. D. (2007). *The Management of Technology and Innovation: A Strategic Approach*. Mason, OH: Thomson South-Western.
- WU, Y.-L., TAO, Y.-H., & YANG, P.-C. (2008). The use of unified theory of acceptance and use of technology to confer the behavioral model of 3G mobile telecommunication users. *Journal of Statistics & Management Systems*, 11(5), 919-949.
- YAGHOUBI, N.-M., & BAHMANI, E. (2010). Factors Affecting the Adoption of Online Banking An Integration of Technology Acceptance Model and Theory of Planned Behavior. *International Journal of Business and Management*, 5(9).
- YAYLA, A., & HU, Q. (2007, 7 - 9 June). User Acceptance of E-Commerce Technology: A Meta-Analytic Comparison of Competing Models. Paper presented at the EUROPEAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS (ECIS) 2007, St Gallen, Switzerland.
- ZOLTNER, A. A. (1981). Normative Marketing Models. In R. L. Schultz & A. A. Zoltners (Eds.), *Marketing Decision Models*. New York: Elsevier Science Publishing Co.

Gobernanza de riesgos en la sociedad de la información

Gustavo Alberto Masera¹ & Javier Ulises Ortiz²

Resumen

El propósito de esta investigación fue analizar los riesgos que conllevan los cambios tecnológicos, especialmente los relacionados con la aplicación de las tecnologías de la información y de la comunicación. Se utilizó como método principal la identificación de tendencias relevantes en el ámbito internacional, mediante una revisión de los documentos elaborados por los organismos internacionales y *think tanks*, junto a la consulta a obras especializadas. La tesis sostenida en el documento plantea la necesidad de comprender el riesgo sistémico, así como el que se encuentra directamente asociado al desenvolvimiento de las infraestructuras críticas. El resultado del trabajo concluye que el riesgo es inherente a la expansión de la compleja sociedad de la información y que el mismo conlleva un aumento considerable de las vulnerabilidades emergentes del sistema social. Se argumenta que la gobernanza es un proceso orientado a la toma de decisiones colectivas en una sociedad; y en tal sentido, se torna en uno de los principales mecanismos para la gestión del riesgo. La gobernanza permite enfrentar los desafíos que presenta la brecha tecnológica en los países en vías de desarrollo, y en América Latina en particular.

Palabras claves: sociedad de la información, nuevas tecnologías, riesgos, infraestructuras críticas, gobernanza.

¹ FING-UNCuyo; IDICEJ-Universidad del Aconcagua (Mendoza, Argentina).

² Instituto Universitario del Ejército (IUE - Buenos Aires, Argentina).

Fundamentos y objetivos de la investigación

La percepción compartida por los analistas subraya que los cambios científico-tecnológicos que han tenido lugar desde las últimas décadas del siglo XX constituyen a la vez un desafío teórico –dada su complejidad y su dinámica en estado de flujo– y un campo de oportunidades para el desarrollo económico, político y cultural. Al mismo tiempo, en la medida en que se vincula con los impactos del proceso de globalización, estas transformaciones a ritmo acelerado, representan un conjunto de amenazas para la sociedad como sistema, como sucede, por ejemplo, con los desastres tecnológicos.

El tema tiene un inicio simbólico con la serie de explosiones que destruyeron el reactor de la central eléctrica atómica de Chernobyl. En efecto, la crisis socio-ambiental iniciada en abril de 1986 en Ucrania y esparcida por distintos países marca el inicio de una nueva época: la de los riesgos globales (Alexievich, 2006).

El objetivo del trabajo es identificar los principales riesgos emergentes en la sociedad de la información. Esta labor, de carácter introductoria, facilita la evaluación de aquellos potenciales que específicamente surgen en las denominadas “infraestructuras críticas”. Se concluye que dado que los eventos pueden impactar decisivamente en el bienestar y el funcionamiento de una sociedad, su gestión mediante la gobernanza de riesgos se convierte en un aspecto crítico para las sociedades.

Respecto al método, se ha tomado en cuenta: 1) la experiencia de los países industrializados, según lo revelan documentos de organizaciones (nacionales, internacionales, *think tanks*); 2) la combinación de líneas de investigación, programas académicos y obras especializadas. A fin de contextualizar el conocimiento en el horizonte regional, se derivan lecciones y desafíos para América Latina.

Sociedad de la información: raíces de un concepto

En los últimos años, el concepto “sociedad de la información” (SI) se ha difundido por el planeta, en gran parte debido a la notable expansión del sector info-comunicacional, ayudado por las numerosas iniciativas en el ámbito internacional, que han tenido por objeto su análisis y su promoción. Así, su utilización se generalizó con el reconocimiento oficial otorgado por las “Cumbres Mundiales sobre la Sociedad de la Información” (WS-SI), coordinadas por Naciones Unidas, a través de

la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2006) y cuya primera Conferencia se realizó en Ginebra en el 2003.

El establecimiento de un área especial sobre SI, por parte de la Comisión Europea, también impulsó su utilización. Igualmente, el término SI es discutido (Webster, 2002), y por lo mismo se han propuesto alternativas, aunque no exactamente equivalentes: entre ellas, sociedad postindustrial (Bell; Masuda), sociedad digital (Mercier, Plassard, y Scardigli) y sociedad en red (Castells; van Dijk), han tenido mayor repercusión, tal como revela el itinerario de teorías elaborado por Webster (2006) y Mansell (2009).

Aunque desde hace tiempo se habla de “sociedad del conocimiento” (Böhme and Stehr, 1986), se considera que ésta sería, en realidad, una etapa posterior a la SI y como una consecuencia del ingreso al mundo BING. El significado del acrónimo muestra que el aspecto decisivo del paso de una fase a la otra, se encontraría en la posibilidad de dominación más intensiva de los campos biológicos, informáticos, nanotecnológicos y el de las ciencias del comportamiento y neuronales (*behavioral and neural sciences*) (Bernal-Meza y Masera, 2007).

La SI se la define como un estadio del desarrollo caracterizado por la capacidad de sus miembros para obtener y compartir cualquier información, instantáneamente, desde cualquier lugar y bajo diversas formas. El factor de posibilidad es la aplicación universal de tecnologías homogéneas de procesamiento y comunicación de datos, conectadas mediante autopistas de la información. La SI hace referencia, entonces, a un nuevo paradigma, cuyos criterios orientadores dan cuenta del camino hacia un tipo de sociedad en construcción, resultante de la acción de los nuevas tecnologías y de los progresivos procesos de digitalización (Cepal, 2003; Peres y Hilbert, 2009).

Por nuevas tecnologías se entiende el conjunto convergente de tecnologías en microelectrónica, robótica, redes, autopistas de la información, computación (máquinas y software), telecomunicaciones, transmisiones y optoelectrónica; a las que se agregan las aplicaciones tecnológicas y de ingeniería derivadas de la ciencia de materiales, incluyendo los mecanismos de coordinación que permiten manipularlas. (Hadkiewicz and Gawowicz, 2013).

La fuerza conductora de este estadio del desarrollo, son específicamente, las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (TIC). Una consecuencia directa es que su uso masivo genera

una mayor interdependencia, dada la propensión a utilizar la misma tecnología o similares en todo el orbe. En este sentido, son las verdaderas herramientas de la globalización, porque posibilitan una mayor: a) velocidad de transmisión en tiempo real o instantaneidad; b) conectividad entre actores mediante autopistas de la información y redes, lo que deriva en un aumento del grado de densidad en las relaciones sociales; c) intangibilidad de la información digitalizada en forma de textos, imágenes, voz; d) aceleración e intensificación de los flujos de intercambio (Masera, 2010).

El aspecto decisivo de la SI se encuentra en el potencial de digitalización, en las formas de comunicación y en la capacidad de los individuos para obtener y compartir cualquier información, instantáneamente, desde cualquier lugar y bajo diversas formas, gracias a la aplicación universal de tecnologías homogéneas tanto de procesamiento como de comunicación de datos. La digitalización supone el uso intensivo de varias clases de ordenadores y otras tecnologías, en una labor de modelización de acuerdo a determinadas operaciones, junto con la fase de innovación vinculada a la creación y puesta en funcionamiento de toda una serie de infraestructuras (Rennstich, 2008).

Riesgos en la sociedad de la información

En los inicios de la postguerra fría, Ulrich Beck (1992) introdujo el concepto de “sociedad del riesgo”. Téngase en cuenta, tal como se ha ya mencionado, que pocos años antes había ocurrido el caso más emblemático sobre la fragilidad de los sistemas tecnológicos. El accidente de la planta nuclear de Chernobyl en la antigua Unión Soviética reveló el límite de la modernidad (Lechte, 2003).

Beck argumenta que la verdadera naturaleza del riesgo ha cambiado. Sostiene que la tecnología actual ha creado nuevas formas de riesgo e impone una peligrosidad cualitativamente distinta a la del pasado. El riesgo ha dejado de ser contingente para convertirse en un rasgo estructural del nuevo orden de cosas y, además, hacia fin de siglo, el riesgo ha pasado a tener secuelas sobre un área geográfica más extensa y crecientemente global. Beck señala problemas y critica las limitaciones de la sociedad actual, donde los accidentes no pueden ser aislados (como el cambio climático), aunque no llega a proponer un modo para gestionar esos problemas. A pesar de ello, su valoración del riesgo social ha sido muy influyente y ha permitido profundizar los debates sobre

el diálogo político en torno a temas claves: ambientales, alimentarios, energéticos, etc. (Mythe, 2004). En análisis más recientes (p.e. Bischoff, 2008), junto a una más precisa determinación de amenazas y fallas potenciales, de sus causas y consecuencias, se ha avanzado en la elaboración de perspectivas intersectoriales; incluso se asiste al nacimiento de una nueva área de conocimiento (p.e. *Infranomics* como disciplina de disciplinas), de las que se derivan modelizaciones, instrumentos y prácticas (Gheorge Gheorghe, Masera and Polinapilinho, 2013).

En el mundo globalizado aparecen riesgos sistémicos por su impacto sobre el conjunto de la sociedad; los que, incluso, pueden desarrollar un contagio internacional. Aunque no hay una definición aceptada universalmente, sin embargo, se han clasificado dos posibles categorías de riesgo (Arven and Renn, 2010): aquellas donde el riesgo se expresa mediante probabilidades de un suceso aunado a valoraciones sobre expectativas; y las otras, que sostienen que los riesgos se expresan fundamentalmente por la ocurrencia de eventos imprevistos y las consecuencias que pueden emanar de los mismos, con un fuerte componente de incertidumbre. De acuerdo con lo expuesto, puede afirmarse que la noción de riesgo se refiere, en suma, a la incertidumbre acerca de la gravedad de las consecuencias (o resultados) de una actividad, con respecto a algo que la sociedad percibe como valioso, vital o crítico.

Thompson (1990) distingue entre riesgos reales, riesgos observados y riesgos percibidos. Los reales se refieren a lo que puede ocurrir, con consecuencias negativas y que pueden suceder con una probabilidad conocida por estadísticas (sismos, caídas de aviones). Mientras que los observados se pueden deducir de modelos, por ejemplo, sobre los posibles efectos de una epidemia. Los percibidos son juicios subjetivos que se emiten en la ausencia de modelos o conocimiento previo. Algunos factores que se tienen que considerar cuando se habla de riesgos son: a) incertidumbre sobre la probabilidad de ocurrencia; b) incertidumbre sobre la severidad del impacto de un fallo catastrófico; c) existencia de posibles víctimas y daños; d) reversibilidad de los efectos negativos; e) compensación por la exposición al riesgo; f) beneficios, peligros y costos para los distintos actores.

Dentro del ámbito general de los riesgos es necesario considerar aquellos específicos que se dan en el contexto de la SI. Se parte del reconocimiento de que ningún sistema socio-tecnológico es perfecto. En la SI, en particular, aparecen riesgos, amenazas y vulnerabilidades (y los puntos cercanos de errores, fallos, seguridad, etc.) antes desconocidos.

Sumado a ello, irrumpen antagonismos que demandan estrategias defensivas (Ortiz, 2012); entendiendo la diferencia entre ciberguerra (*cyberwar – information warfare*) (Saadawi, and Jordan, 2011); en cuanto a operaciones militares y netguerra (*netwar*): acerca de conflictos a gran escala entre naciones o sociedades comerciales (Arpagian, 2009).

El desafío se encuentra en que debe afrontarse rápidamente la cuestión de los puntos débiles que aparecen al conectar “todo”, es decir comercio, gobierno, hospitales, bancos, energía, etc., a la denominada “Infraestructura de la Información y de la Comunicación” - IIC (según la Cumbre Mundial WSIS – Fase de Túnez). Esta IIC es el soporte básico que hace posible la construcción de la SI, como el resultado de la interconexión de los sistemas de telefonía fija y móvil, con Internet, y las comunicaciones por satélites. Se ve como otros sistemas (por ejemplo, el GPS de posicionamiento global y todos los medios de comunicación) confluyen y se ven integrados por esta gran IIC. Este proceso dinámico de convergencia de los sectores tecnológicos TIC junto a la formación de una red de redes por una parte da lugar al desarrollo de todos los servicios “e-”: *e-commerce, e-government, e-health*. Al mismo tiempo, implanta fragilidades puesto que los sistemas de hardware, software y procesos adjuntos no son, ni lo serán quizás, a prueba de fallos.

Los riesgos pueden derivarse de numerosos factores y en distintos ámbitos: *cracks* financieros; crisis alimentaria; calentamiento global; aumento de la desertificación; estancamiento de las negociaciones comerciales; problemas de suministros de gas y restricciones energéticas; renovados conflictos geopolíticos; fallas en los sistemas, como *black-outs* eléctricos de grandes dimensiones (Aven and Renn, 2010; OECD, 2003).

Infraestructuras críticas

Las sociedades contemporáneas descansan sobre numerosas y variadas infraestructuras.

La infraestructura es un sistema socio-tecnológico de segundo orden (sistema de sistemas), que cumple con un servicio vital, como es transmitir o transferir un flujo de algo (bienes, información, etc.) entre los nodos del sistema (Gheorghe et al., 2005). Particularmente, las “Infraestructuras Críticas” (IC) son una red de sistemas interdepen-

dientes de gran escala, y que implican complejas distribuciones físicas transfronterizas asociadas a tecnologías y redes cibernéticas, producto de la interconexión con los sistemas de tecnologías de la información y comunicación (Gheorghe et al., 2005).

La Oficina de Protección de la Infraestructura Crítica de los Estados Unidos (EUA) las definió como los sistemas que tienen incapacidades, o podrían ser debilitados o destruidos, generando impactos sobre la defensa y la seguridad económica de una nación, incluyendo bancos, transporte, sistemas de agua, servicios del gobierno y gobiernos públicos. Sobre esa concepción se han desarrollado estrategias para asegurar el ciberespacio y la protección física de las IC (NIPP, 2009) o la asociación para la seguridad de las IC y la “resiliencia” (Canadá, 2014).

La Unión Europea definió a las IC como aquellas instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información cuya interrupción o destrucción pueden tener una repercusión importante en la salud, la seguridad o el bienestar económico de los ciudadanos o en el eficaz funcionamiento de los gobiernos de los Estados miembros (Comisión Europea, 2004). Por lo expuesto, se desarrolló desde 2006, el Programa Europeo de protección de las IC (PEPIC).

Los principales sistemas de IC son: 1) energía (centrales y redes de energía); 2) abastecimiento de agua (embalses, almacenamiento, tratamiento de agua potable y redes); 3) tratamiento de desechos; 4) transporte (aeropuertos, puertos, instalaciones intermodales, ferrocarriles y redes de transporte público, sistemas de control del tráfico); 5) infraestructura de la información y comunicación, que incluye las tecnologías de base digital e internet, usadas para gestionar, monitorear y controlar las otras infraestructuras. Además, hay consenso en que las IC pueden incluir las siguientes áreas: instituciones financieras; sector sanitario; alimentación; producción, almacenamiento y transporte de mercancías peligrosas (materiales químicos, biológicos, radiológicos y nucleares); administración (servicios básicos, instalaciones, redes de información; etc. (Ortiz, 2012).

En las IC se pueden enumerar tres aspectos principales:

1. Su función es la de producir un flujo continuo y universal de servicios básicos que resultan esenciales para el desarrollo económico y social. En otras palabras, son elementos que tienen que estar disponibles para todos, en todo momento. El usuario no se preocupa de la complejidad detrás de su acceso al servicio, puesto que le interesa solamente conectarse y que el servicio esté disponible.
2. Las infraestructuras tienden a no ser posesión de un único dueño (público o privado).. Además, puede pasar que cada operador, regulador y usuario posean distintas lógicas de funcionamiento. La regionalización de los mercados, por ejemplo en la Unión Europea, ha conducido al “desacople” de su sistema eléctrico (*unbundling*), donde ningún operador controla la infraestructura de producción o distribución. Entonces, cuando los sistemas se interconectan a través de las fronteras, los mismos entes nacionales ven recortados sus competencias.
3. Las infraestructuras han sido diseñadas para satisfacer necesidades sociales básicas, pero los cambios tecnológicos y organizativos han elevado su nivel de complejidad, quedando sujetas a riesgos internos y externos debido a fallos accidentales o intencionales. Y cuando se producen fallos, éstos tienden a propagarse excediendo los límites estructurales, funcionales y territoriales de cada sistema singular.

Riesgos en infraestructuras críticas

La idea que recorre este apartado es que existe una relación directa entre infraestructuras críticas (IC), nuevas tecnologías (TIC) y sociedad de la información (SI). Por consiguiente, un conjunto de fallos en el funcionamiento de las TIC, pueden hacer colapsar por un cierto período la base técnica de la SI, y ello resultará en la pérdida de transmisiones de datos y del acceso a fuentes de información, afectando otras IC (agua, transporte, electricidad, logística, aeropuertos), lo que en pocos días derivará colapsando la sociedad misma.

El riesgo, en este nivel específico, implica la posibilidad de daño o avería en un sector determinado, por ejemplo, la infraestructura de la

información y de la comunicación (ICC), conjuntamente con la extensión de este daño a todas las otras infraestructuras que en la sociedad de la información dependen de ella (IRGC, 2006).

Hay diversos casos testigos de los riesgos que se presentan a las IC. En uno, pueden darse los posibles fallos en las TIC (sistemas operativos, programas de ofimática, cortes masivos de energía eléctrica), y la posibilidad de “cyberataques” a Estados en su totalidad. En otro, puede revelarse la fragilidad de los sistemas de seguridad de determinadas instalaciones. En ambos casos, las nuevas tecnologías se asientan o impactan sobre el espacio urbano donde se estructuran los nodos de IC dadas por el complejo tecnológico-electrónico-informacional. Debe reflexionarse sobre la logística que supone sostener los requerimientos de subsistencia de las grandes concentraciones urbanas y la administración de sus recursos. Es que la concentración urbana crea un nuevo espacio “las megalópolis”, constituyéndose en ellas sistemas “meta estables” que las sostienen, y por ello, verdaderamente sustanciales (Ortiz, 2012).

Los riesgos pueden incidir en las IC de una sociedad, afectando la estabilidad política y la prosperidad económica de los países. Además, son procesos que pueden generar cambios en la distribución del poder entre los países, así como efectos catastróficos en regiones vulnerables.

En lo que respecta a los desastres naturales, los terremotos y tsunamis han afectado a todas las civilizaciones en las diversos períodos históricos. La diferencia en la actualidad, es que las consecuencias podrían ser más desastrosas aún, por la difícil continuidad de la vida cotidiana luego de la destrucción de las infraestructuras básicas. Los ejemplos sobran: Nueva Orleans, posteriormente al huracán Katrina; Haití después del terremoto; Japón, seguidamente a los problemas de la central nuclear de Fukushima, etc. Estos casos evidencian la sensibilidad y el riesgo que representa el impacto sobre las IC. Al mismo tiempo, dan la impresión de que la sociedad se encuentra al borde de perder el control de frente a un número importante de riesgos, amenazas, desastres y crisis no convencionales.

Según el *International Risk Governance Council* (2010), que toma la definición de Riesgo de Arven y Renn, el riesgo de las infraestructuras críticas debe ser pensado desde las consecuencias más o menos inciertas de un evento o de una actividad, y desde su potencial impacto en temas críticos, ya sea para la sociedad en su conjunto, ya sea para un

grupo o un individuo concreto. Esta ponderación puede comprender cosas como los bienes naturales, el ambiente en su conjunto, la salud humana, los recursos naturales, etc., como elementos más abstractos como la estabilidad social y económica, la privacidad, etc. A pesar de que es difícil prever los riesgos, una de las tareas implicar imaginar escenarios futuros, posibles vías que puedan adoptar, mediante un estudio sistemático de situaciones futuribles, con la finalidad de definir las mejores estrategias paliativas.

El reconocimiento de la importancia de las IC se ha propagado por las principales potencias del sistema internacional. Rusia, a partir de la Organización del Tratado de Seguridad Colectiva (OTSC) de la Comunidad de Estados Independientes (CEI) con China, y en conjunción en el marco de la Organización de Seguridad y Cooperación de Shanghai (OCS) han comenzado a crear mayores capacidades de protección de sus IC. Pero, las IC rusas que aportan energía a Europa, presentan riesgos que potencialmente afectarían la seguridad de los suministros energéticos (Arteaga, 2010). Las presentes situaciones conflictivas en Ucrania-Crimea, Siria-Irak, Afganistán, etc. son una clara evidencia de lo que se llama riesgos a la “seguridad de los corredores energéticos” (Palma, Masera y Echeagaray, 2014).

En el ámbito regional, en el seno de la OEA, se estableció en 2004 un consenso generalizado con el establecimiento de la llamada “Estrategia Interamericana integral para combatir las amenazas a la seguridad cibernética”. Es un enfoque multidimensional y multidisciplinario dirigido a la formación de una cultura de seguridad cibernética, para proteger la infraestructura de las telecomunicaciones, redes y sistemas de información. Posteriormente, la misma OEA propició la creación de una “Red Interamericana de Seguridad Cibernética” (2005), a partir de los grupos nacionales de “vigilancia y alerta”, también conocidos al presente como los “Equipos de Respuesta a Incidentes de Seguridad en Computadoras” (CSRITs), cuyos objetivos son: a) identificar y luchar contra las amenazas, independientemente de su origen y motivación; b) formular planes nacionales de respuestas a situaciones de emergencia; c) crear una red interamericana de vigilancia y alerta para diseminar rápidamente información sobre seguridad cibernética y responder a crisis, incidentes y amenazas a la seguridad en computadoras.

La Gobernanza en un contexto de riesgos

Existe un aspecto del problema en el que los especialistas están de acuerdo: hay que gestionar y controlar el riesgo, pero ¿cómo? Porque convivir con situaciones de vulnerabilidades, amenazas o fallas, plantea a las sociedades contemporáneas profundas cuestiones de carácter político y de participación social. Aquí surge el tema de la gobernanza.

Por gobernanza se puede entender la estructura y los procesos para una decisión colectiva, que involucra a actores gubernamentales y no-gubernamentales (Nye and Donahue, 2000). Desde un enfoque institucional, se refiere a las acciones, procesos y mecanismos de participación, por el cual la autoridad es ejercidas y las decisiones son tomadas e implementadas (IRGC, 2006).

De las definiciones se desprende que la gobernanza implica la intervención de aquellos sujetos o entidades que son decisivos, o que de algún modo están involucrados en un tema específico. La participación es multinivel, ya que puede darse el caso de una convocatoria de carácter consultiva a un grupo de expertos en cambio climático, o a empresas que participan en alguna instancia del mercado energético. Pero, también corresponde a los responsables de la administración, la formulación y ejecución de políticas. En todos ellos, el proceso de gobernanza comporta un sentido de responsabilidad e involucramiento de los ciudadanos en la definición de los problemas, así como en el planto de soluciones conjuntas, a pesar de los intereses diversos y de las múltiples perspectivas que puedan tenerse sobre alguna cuestión crítica. Esta dinámica colaborativa requiere de transparencia en la comunicación y de eficacia, en lo que se refiere a la toma de decisiones en la escala y en el momento apropiado (Bevir, 2007).

La “gobernanza de riesgos” adapta los principios y los métodos del mecanismo básico de gobernanza pero, lógicamente, en un entorno de riesgos (Aven and Renn, 2010). Por tal razón, la gobernanza es, también, un proceso de participación y de consulta que sirve para gestionar la complejidad y la incertidumbre (Pierre and Peters, 2005).

En términos institucionales, la gobernanza de riesgos se refiere a la capacidad de las organizaciones y de los ciudadanos en general, para hacer frente a riesgos inevitables. La cuestión es que cuando todo el funcionamiento depende de un sistema complejo de tecnologías una falla puede tener consecuencias catastróficas. Surge, entonces el concepto de gobernanza de riesgos, el cual implica la aplicación de los

principios de una “buena” gobernanza hacia la identificación, evaluación, gestión y comunicación de los riesgos (IRGC, 2010).

Un ejemplo significativo de los nuevos riesgos y de su gestión en un ámbito regional mediante mecanismos de gobernanza, lo reveló la crisis del sistema de interconexión eléctrico europeo en el año 2004, donde a pesar de la pluralidad de actores involucrados, públicos y privados de diferentes países, el conjunto debió actuar de manera coordinada para hacer frente al problema (Gheorghe et al., 2005). Este ejemplo ha mostrado, además, que una adecuada gestión de riesgos: a) posee la ventaja de reducir las externalidades negativas que pueden derivarse potencialmente de las interdependencias negativas o por el contagio de una situación; b) promueve una gestión de la demanda y el ajuste de prioridades en una sociedad; c) reduce los tiempos de restauración del sistema luego de una falla y así, permite que se mantengan los servicios críticos.

Algunas lecciones a tener en cuenta para América Latina

El único futuro posible es que la región asuma una participación activa en la construcción de la sociedad de la información. Así, una nueva visión del desarrollo debe incorporar necesariamente una mejor política de acceso, de inversiones en infraestructuras y de efectivo uso de las nuevas tecnologías (Girard and Perini, 2013).

En la misma línea, el objetivo declarado por los documentos de la CEPAL, en tanto que organismo coordinador de las conferencias ministeriales y reuniones preparatorias frente a las Cumbres mundiales, ha sido desde el documento de Bávaro, “incorporar el proyecto de la sociedad de la información en la agenda del desarrollo” (Cepal, 2003). Paralelamente, se ha reconocido la diversa velocidad de los países en este proceso, junto a una heterogeneidad de respuestas internas- para la incorporación de la SI. Los dos objetivos salientes de la “revolución digital” propuesta en la Declaración de Montevideo y el Plan de trabajo 2013-2015 para la implementación del eLAC2015 son: 1) cerrar brechas en las tecnologías más avanzadas y de impacto masivo 2) acelerar la difusión de tales TIC, lo que implica mejorar el acceso y la apropiación a las mismas (Peres y Hilbert, 2009).

Hay países como Brasil que tienen ya definida una política clara de inserción en el nuevo mundo del conocimiento. Otros, ya tienen inicia-

tivas en estado de avance, como Chile Digital o Argentina Conectada, entre otros. Pero, en la cuestión específica del fortalecimiento de las infraestructuras y del riesgo en las Infraestructuras, aún queda mucho por realizar. Además, una verdadera concepción de la integración regional, no puede dejar de lado la cuestión de las infraestructuras ni la de los riesgos asociados a este proceso.

Algunas ideas que sintetizan los desafíos para América Latina, son:

1. Los diversos temas que surgen de la construcción de la SI van a influir, domésticamente, en la calidad de vida, bienestar y posibilidades de proyección de los ciudadanos; asimismo, influirá sobre la definición de los intereses en las políticas exteriores, en los procesos de cooperación regional y en el comportamiento general de la región.
2. En la SI desarrollarse significa tener más infraestructuras con más tecnologías, pero esto conlleva fragilidad, porque las ventajas poseen una fuerte interconexión con sus potenciales efectos. El desafío de una buena gestión de riesgos descansa, entonces, en el aprovechamiento del beneficio de las TIC, con una estrategia de minimización de las consecuencias negativas asociadas a los riesgos.
3. Es imprescindible la gestión de los riesgos de carácter regional, en especial de lo que poseen un alto nivel de impacto sobre la salud, la seguridad, el medio ambiente, la economía o la sociedad, y que estos sean evaluados mediante mecanismos consultivos con una amplia participación. La dualidad desarrollo-riesgos necesita ser analizada por los diversos públicos interesados (*stakeholders*) e incluida como variable clave por los formuladores de políticas.
4. Las infraestructuras deben ser operadas por empresas (privadas o públicas pero con organización de negocios y búsqueda de rentabilidad. De aquí la necesidad de gobernanza como una herramienta para la gestión integrada cuestiones críticos, donde participan múltiples actores, con intereses y valoraciones diversas.
5. Hay que pensar como objeto de análisis el riesgo específico en las infraestructuras críticas. La seguridad en el abastecimiento del servicio y los impactos que podrían causar una

extensa interrupción de los servicios deberían constituir una prioridad de alto nivel para la legislación, la coordinación de políticas, la planificación y la evaluación de escenarios.

6. Los riesgos globales no están confinados dentro de los límites nacionales, y por lo tanto, no pueden ser gestionados mediante acciones o políticas de un solo sector o gobierno aislado. La gobernanza de riesgos, y de las IC conectadas regionalmente, requiere una especial coordinación entre los países involucrados.
7. Las infraestructuras, en su acelerada evolución, “consumen” productos y servicios, al mismo tiempo que habilitan nuevas capacidades sociales y económicas. Esta situación define el campo de juego del desarrollo: por ejemplo, ¿qué energía se produce y cómo se consume la energía nuclear versus nuevas fuentes?, ¿cuántas empresas pueden generar y distribuir energía? De modo que hay que evaluar los efectos sobre la estructura de trabajo y ampliar los estudios sobre la necesidad / oportunidad de recursos especializados con nuevas habilidades profesionales mediante la ampliación de competencias.
8. Las IC implican una continua formación de las competencias científicas y tecnológicas, a modo de ventaja comparativa dinámica. Pero, puesto que las IC son diseñadas, operadas, mantenidas y utilizadas por personas, las capacidades profesionales estarán determinadas sobre la eficiencia y competencia que puedan obtener en el funcionamiento continuo y estable de las infraestructuras. Los países más desarrollados ya están invirtiendo en la formación de los profesionales y técnicos que tendrán responsabilidad sobre las IC. Y no se trata sólo de ingenieros o técnicos, sino también de economistas, especialistas en leyes, sociólogos, etc.
9. Si bien es verdad que los países se encuentran, por momentos, desgarrados entre distintas demandas y solicitudes, también es cierto que la estructura estatal deberá cumplir nuevas funciones y generar capacidades ampliadas en un escenario cada vez más complejo. Incluso, donde la soberanía no es sólo territorial sino espacial, de allí que surgen innovadores conceptos como “Estado Digital” (Keyworth, 1998) o “Estado Red” (Castells, 1998).

Como muchos de los riesgos tecnológicos actuales no respetan las fronteras nacionales, surgen también problemas relativos a las políticas de coordinación internacional o regional de los mismos. La gestión de la IIC, y en consecuencia de la SI son por su propia naturaleza realidades a la vez locales, regionales y globales.

Como ejemplo, representantes de los cerca de 80 países se reunieron en San Pablo, Brasil, a fines de abril de 2014 en la “Reunión Global de Múltiples Partes Interesadas sobre el Futuro de la Gobernanza de Internet (NETmundial)”. La Declaración Multisectorial emitida recalca la necesidad de contar con más diálogo sobre la gobernanza de Internet para fijar parámetros entre amenazas y derechos para que iniciativas en ciberseguridad deben implicar la colaboración tanto de gobiernos como del sector privado, la sociedad civil, la academia y la comunidad tecnológica (NETMundial, 2014).

En suma, se plantea la importancia de: 1) fundamentar estrategias para la inserción de América Latina en la comunidad internacional denominada SI; 2) planificar un sendero de crecimiento de las IC, teniendo en cuenta riesgos y amenazas potenciales; 3) implementar mecanismos de participación para la gestión de los riesgos, basados en el desarrollo sostenible y la gobernanza; 4) en un plano más operativo, formular las bases para políticas públicas encaminadas a la gestión y regulación del riesgo.

Reflexión final: la gobernanza como estrategia

La SI implica el ingreso a una era signada por la globalización y la complejidad, donde la inestabilidad y la inseguridad no son meramente variables exógenas y circunstanciales, sino rasgos estructurales del sistema social. Es la paradoja del progreso: más desarrollo conlleva una mayor fragilidad.

Las ventajas que trae el uso masivo y ubicuo de las TIC, pueden convertirse al mismo tiempo en amenazas significativas, debido a sus problemas de seguridad, en niveles y extensión que son difíciles de prever, tanto como es arduo predecir la evolución de las tecnologías y sus empleos futuros. Por ello, la confiabilidad de las infraestructuras críticas y la confianza que el ciudadano y la sociedad pueden poner en ellas, están en el centro de la cuestión.

En particular, las vulnerabilidades de las IC pueden ser gestionadas a través de mecanismos y políticas de gobernanza, representando ésta un nuevo tipo de colaboración entre actores públicos y privados en la toma de decisiones colectivas. La elaboración de los libros verdes y libros blancos, son resultados tangibles de estos amplios procesos consultivos y participativos.

Se concluye que los riesgos emergentes en la SI serán en los próximos años cuestiones de máximo interés para el conjunto de los países y que formarán parte ineludible de las agendas. La región latinoamericana, en particular, al igual que los países desarrollados, tendrá que preocuparse de invertir, no sólo en el acrecentamiento de las capacidades en infraestructuras, sino también en su protección, reconociendo su criticidad y su vulnerabilidad.

Referencias

- ALEXIEVICH, S. (2006). *Voces de Chernóbil*. Crónica del futuro. Madrid, Siglo XXI.
- ARPAGIAN, N. (2009). *La Cyberguerre, la guerre numérique a commencé*, Paris, Institut d'estudes et de recherche pur la sécurité des entreprises – Vuibert.
- AVEN, T. and O. Renn (2010). *Risk Management and Governance. Concepts, Guidelines and Applications*, Berlin, Springer Verlag.
- BECK, U. (1992). *Risk Society. Towards a New Modernity*. London, Sage.
- BERNAL-MEZA, R. y G. Masera (2007). "Sociedad de la información: etapa posterior de la globalización", *Realidad Económica*, Nro. 227, pp. 90-116.
- BEVIR, M. (edit.) (2007). *Encyclopedia of Governance*. London, Sage.
- BISCHOFF, H.J. (2008). *Risks in Modern Society*. Dordrech, Springer.
- BÖHME, G. and Nico Stehr (edit.) (1986). *The Knowledge Society. The growing impact of scientific knowledge on social relations*. Dordrech, Reidel-Kluwer.

- hr data-bbox="135 72 867 75"/>
- CANADA (2014). *Action Plan for Critical Infrastructure 2014–2017*. Disponible: <http://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rs-rs/rs/pblctns/pln-crtcl-nfrstrctr-2014-17/index-eng.aspx>
- CASTELLS, M. (1999). *La Era de la información*. México D.F., Siglo XXI Editores, 3 vols.
- CEPAL (2003). *Los Caminos Hacia una Sociedad de la Información en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, UN-CEPAL, Documento de Bávaro,
- COMISIÓN EUROPEA (2003). *Hacia la Europa basada en el conocimiento. La Unión Europea y la sociedad de la información*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas
- COMMITTEE ON IMPROVING RISK ANALYSIS APPROACHES (2009). *Advancing Risk Assessment*, Washington D.C., The National Academy Press.
- GHEORGHE, A. et. al. (2005). *Critical Infrastructures at Risk*, Dordrecht, Springer.
- GHEORGHE, A., M. Masera, and F. Polinapapilinho (eds.) (2013). *Infranomics. Sustainability, Engineering Design and Governance*, Dordrecht, Springer.
- GIRARD, B. and F. Perini (eds.) (2013). *Enabling Openness: The future of the information society in Latin America and the Caribbean*. Ottawa: Canada, IDRC.
- HADKIEWICZ, W. and P. Gawowicz (2013). “Information technologies in the postindustrial society”. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, N°103: 500 – 505.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION [ITU], (2006). *WSIS Golden Book*, Geneva, United Nations.
- INTERNATIONAL RISK GOVERNANCE COUNCIL [IRGC] (2006), *White Paper on Managing and Reducing Social Vulnerabilities from Coupled Critical Infrastructures*, Geneva.
- INTERNATIONAL RISK GOVERNANCE COUNCIL [IRGC] (2010). *Emerging risks. Sources, drivers and governance issues*, Geneva, Revised edition.

- KEYWORD, G. et al. (1998) *The Digital State: How State Governments are Using Digital Technology*, Washington, DC: The Progress and Freedom Foundation.
- LECHTE (2003). J. Key *Contemporary Concepts*. London, Sage.
- MANSELL, R. (edit.) (2009). *The Information Society. Critical concepts in sociology*. London and New York, Routledge.
- MASERA, G. (2008). "Impactos en la Sociedad Global de la Información", *Políticas Públicas*, FAE-Universidad de Santiago de Chile, vol.2, nro. 1, pp. 5-27.
- MASERA, G. (2010). *Epistemología y Economía Mundial*, Mendoza, EdUDA.
- MYTHEN, G. (2004). Ulrich Beck. *A Critical Introduction to the Risk Society*. London, Pluto Press.
- NETmundial (2014). "Multistakeholder Statement" (April, 24th, 2014). Disponible en: <http://netmundial.br/wp-content/uploads/2014/04/NETmundial-Multistakeholder-Document.pdf>
- NIPP (2009). *National Infrastructure Protection Plan. US Department of Homeland Security*. Washington D.C., U.S. Department of Home Security.
- NYE, J. and J. Donahue (eds.) (2000). *Governance in a Globalizing World*, Washington, D.C., Brookings Institution.
- OECD (2003). *Emerging systemic risks in the 21st Century – An Agenda for Action*, Paris; International Futures Project.
- ORTIZ, J. (1999). "La Era de la Información Glocal", *Revista de la Escuela Superior de Guerra del Ejército Argentino*, N° 534 (julio-septiembre), p.35-49.
- ORTIZ, J. (2012). "Estrategia de Defensa Cibernética en la era de la información", *Revista de la Escuela Superior de Guerra del Ejército Argentino*, N° 582, (septiembre-diciembre), p. 89-112.
- PALMA, R., y G. MASERA (2014). "Escenarios energéticos. Aplicación del enfoque PESTEL". Mendoza, documento presentado en ECEFI 2014-UTN), *forthcoming*.

- PERES, W. y M. Hilbert (eds.) (2009). *La sociedad de la información en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Naciones Unidas-CEPAL.
- PIERRE, O. and G. Peters (2005). *Governing Complex Societies. Trajectories and Scenarios*. New York, Palgrave Macmillan.
- RENN, O. (2008). *Risk Governance. Coping with Uncertainty in a Complex World*. London, Esarthscan.
- RENNSTICH, J. K. (2008). *The Making of a Digital World*. New York, Palgrave Macmillan.
- SAADAWI, T. and L. Jordan (edit.) (2011). *Cyber Infrastructure Protection*. PA: USA, Strategic Studies Institute.
- THOMPSON, P. (1990): "Risk Objectivism and Risk Subjectivism: When Are Risks Real?", *Risk: Health, Safety & Environment*, n°1: 3, HeinOnline.
- WEBSTER, F. (2002). "The information Society Revisited", in L. Lievrouw and S. Livingstone (Edit.) *Hand Book of New Media, Social Shaping and Consequences of ICT's*. London, Sage, 2002, p. 22-33.
- WEBSTER, F. (2006). *Theories of Information Society*. London and New York, Routledge, third edition. First edition 1995.

Pensar la investigación en educación: rasgos históricos desde los cuales se ha proyectado una imagen para su significación

Mónica Rocío Barón Montaña¹

Resumen

El presente estudio hace parte del trabajo investigativo titulado “Investigar y ser Investigador en educación: Un estudio a partir de las representaciones sociales”, desarrollado en la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia sede Bogotá, e inscrito en la Maestría en Educación. La importancia de abordar el concepto de investigación en el marco de este proyecto, radica en el valor que éste ha adquirido en el ámbito de la educación superior, teniendo en cuenta que desde la perspectiva clásica se considera que uno de los aspectos característicos de la Universidad es la investigación. Para aproximarse a su concepto, es necesario inmiscuirse en su devenir, en cuanto no es posible simplificar su existencia a su institucionalización, por esta razón se abordan algunas definiciones que dan cuenta de una compleja red de situaciones históricas desde las cuales se ha proyectado una imagen para su significación social.

El acercamiento crítico a la producción teórica sobre el concepto de investigación permitió constatar que en torno a su significación han surgido diversas definiciones, entre las cuales se pueden encontrar las que pasan por el apoyo y necesidad metodológica, en donde los pasos secuenciales y estructurados son lo fundamental, hasta la alternativa conceptual, en la cual se evidencia la investigación en profundidad relacionándola con la necesidad de abordar y despertar el espíritu científico al momento de trabajarla.

Palabras Clave: Investigación, investigación social, investigación en educación.

¹ MONTAÑO, M.R.B. Doutoranda em Educação do programa de Pós-graduação em Educação da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Bolsista do Programa Estudantes-Convênio de Pós-Graduação – PEC-PG, da CAPES– Brasil.

Marco jurídico de la investigación en Colombia

La formación académica en el ámbito de la Educación Superior en Colombia, está íntimamente relacionada con el tema de la investigación, su integración se evidencia a través de la implementación de cursos de investigación en las universidades, la demanda de trabajos de grado que reflejan experiencias investigativas y la difusión de postgrados en investigación, entre otras estrategias; todo esto con el propósito de formar profesionales investigadores que además de atender de manera idónea los retos y responsabilidades que su quehacer demanda, adquieran un compromiso social y humano frente a su desempeño.

A su vez, como resultado de la reglamentación de la Constitución de 1991, aparece la Ley de la Educación Superior -Ley 30 de 1992- en la cual se concibe la educación superior “como un proceso permanente que posibilita el desarrollo de las potencialidades del ser humano de una manera integral y tiene por objeto el desarrollo pleno de los alumnos y su formación académica o profesional”, siendo la investigación uno de los tres pilares básicos en los cuales debe soportarse la educación universitaria. Esta misma ley en sus artículos 19, 20, 125 y 126, define las universidades como instituciones que deben acreditar y basar su desempeño en actividades de investigación científica y/o tecnológica. Así mismo, en su artículo 12 establece: “Los programas de maestría, doctorado y postdoctorado, tienen a la investigación como fundamento y ámbito necesario de su actividad. Las maestrías buscan ampliar y desarrollar los conocimientos para la solución de problemas disciplinarios, interdisciplinarios o profesionales y dotar al sujeto de los instrumentos básicos que lo habilitan como investigador en un área específica de las ciencias o de las tecnologías o que le permitan profundizar teórica y conceptualmente en un campo de la filosofía, de las humanidades y de las artes”, dando así relevancia a la función investigativa de la universidad.

Dentro de este marco, la formación científica e investigativa en las instituciones de Educación Superior constituye un aspecto esencial para la formación de los profesionales en todos los campos del saber, ya no se concibe un docente dedicado sólo a la docencia o a la transmisión de conocimientos, ni tampoco un docente cuya formación se limite al dominio de algunas técnicas de recolección, registro y tratamiento de datos, se requiere de docentes activos que investiguen y fortalezcan la formación de estudiantes a quienes les brinden las herramientas necesarias para que pasen de ser oyentes pasivos a coinvestigadores activos, integrando así la docencia y la investigación.

Tendencias y perspectivas sobre investigación

La importancia de retomar el concepto de investigación en el marco de este proyecto, radica en el valor que éste ha adquirido en el ámbito de la educación superior, teniendo en cuenta que desde la perspectiva clásica se considera que uno de los aspectos característicos de la Universidad es la investigación, la cual hace parte de las tres funciones asignadas a la universidad - *docencia, investigación y proyección social*²- estableciendo así la estructura que soporta los fines consagrados a su institucionalidad. Para aproximarse a su concepto, es necesario inmiscuirse en su devenir, en cuanto no es posible simplificar su existencia a su institucionalización, por esta razón se trata en primer lugar, algunas definiciones que dan cuenta de una compleja red de situaciones históricas desde las cuales se ha proyectado una imagen para su significación social.

La palabra investigación en sus orígenes, según Borrero (2008) denotaba recorrer caminos ya trazados, repasar las huellas de la ciencia, reconstruir en nuestra mente lo recogido; ésta noción primó en los siglos XII y XIII cuando se rescató la sabiduría milenaria acumulada por el hombre. Sin embargo, con la revolución científica del siglo XVI y con ello la llegada de las ciencias nuevas, la investigación cambió su significado y se tornó entonces en la búsqueda de lo desconocido.

La historia demuestra que desde la fundación de la Universidad en la Edad Media, la investigación ha sido parte esencial de ella por tanto, desde los currículos medievales se incorporó el saber científico a la educación trazando el camino que configura una de sus funciones, tal como afirma Hernández (2006), “la característica fundamental y la naturaleza misma de la universidad moderna es precisamente la investigación y la formación de un espíritu científico” (p. 15).

En torno al concepto de investigación han surgido diversas definiciones, entre las cuales se pueden encontrar las que pasan por el apoyo y

² En el documento de la Conferencia Mundial de Educación Superior “Las Nuevas Dinámicas de la Educación Superior y de la Investigación para el Cambio Social y el Desarrollo”, celebrada en París en julio de 2009, en el capítulo relacionado con la Responsabilidad Social de la Educación Superior se consignó: “Las instituciones de educación superior a través de sus funciones de docencia, investigación y extensión, desarrolladas en contextos de autonomía institucional y libertad académica, deberían incrementar su mirada interdisciplinaria y promover el pensamiento crítico y la ciudadanía activa, lo cual contribuye al logro del desarrollo sustentable, la paz, el bienestar y el desarrollo, y los derechos humanos, incluyendo la equidad de género”.

necesidad metodológica, en donde los pasos secuenciales y estructurados son lo fundamental, hasta la alternativa conceptual, en la cual se evidencia la investigación en profundidad relacionándola con la necesidad de abordar y despertar el espíritu científico al momento de trabajarla.

Para Borrero (2008) la investigación se puede mirar desde dos sentidos, el primero se refiere a la necesidad de encontrar y recoger los procesos que ya han sido desarrollados en un área del conocimiento y con éste generar un avance en la sociedad, al respecto menciona:

Partiendo del significado etimológico de la palabra investigar o recorrer los caminos ya trazados por la inteligencia humana, In-vestigium-ire, investigar, es repasar y re- pisar la huellas de la ciencia, el arte y la técnica hundidas en los senderos de la historia... Investigar es buscar y re- buscar rastros que ya existen, recogiendo y espigando al paso conocimientos y saberes (...) ad-similare o hacerlos alimento y hacerlos propios de nuestra inteligencia. Es algo más que conservarlos en la memoria (p. 75).

Al revisar esta definición, se determina una mirada más reciente del concepto de investigación y aún más lejana del romanticismo de la época medieval, es un concepto de utilidad práctica en la época actual. Antes que lo desconocido para el hombre, la investigación contemporánea se refiere a lo que falta afianzar en lo conocido, es decir, la investigación no acude a lo inexplorado por una persona, sino a complementar o afianzar el conocimiento de un área.

A partir de lo que cita este autor, se puede afirmar que las dos definiciones o posiciones planteadas sobre investigación, se complementan en el sentido de una responder a la necesidad de desconocimiento en un momento histórico de cualquier área o disciplina del saber y la segunda fortalece su proceso y desarrollo científico para reafirmarse como avance serio y fortalecido de conocimiento.

En conceptos más ligados a entender la investigación como un factor de generación de conocimiento y como factor estratégico de desarrollo, la investigación se puede definir como “un proceso que mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (Tamayo y Tamayo, 2005, p.45).

Ampliando un poco la visión anterior sobre la interpretación del concepto de investigación, se podría contextualizar su significación como un proceso formal, sistemático e intensivo de llevar a cabo un método de

análisis científico, el cual comprende una estructura de investigación más sistemática, dirigida hacia el descubrimiento del desarrollo de un cuerpo de conocimientos organizados. A partir de este abordaje, la investigación se fundamentaría a partir del análisis crítico de proposiciones hipotéticas con el propósito de establecer relaciones causa – efecto, que exigen ser probadas frente a la realidad objetiva. Este propósito puede ser ya la formulación – teoría o la aplicación – teoría, conduciendo a la predicción y finalmente, al control de hechos que son consecuencia de acciones o de causas específicas. En este sentido, mientras que es posible emplear el espíritu científico sin investigación, sería imposible emprender una investigación a fondo sin emplear espíritu y método científico, deduciendo así que la investigación es una fase más especializada de la metodología científica.

Haciendo un análisis de otros autores frente al concepto de investigación, se hace referencia a Kerlinger (citado en Sampieri, 2006) quien afirma:

La investigación es sistemática, empírica y crítica. Sistemática porque no deja los hechos a la casualidad, sino que se trata de una actividad disciplinada, empírica porque se trata de recolectar y analizar datos de la realidad y finalmente, es crítica porque evalúa y mejora de manera constante (...). (p.37).

Así mismo, Rojas Soriano (2006) afirma “la investigación es una búsqueda de conocimientos ordenada, coherente, de reflexión analítica y confrontación continua de los datos empíricos y el pensamiento abstracto, a fin de explicar los fenómenos de la naturaleza” (p. 29). El mismo autor explica:

“Para descubrir las relaciones e interconexiones básicas a que están sujetos los procesos y los objetos, es necesario el pensamiento abstracto, cuyo producto (conceptos, hipótesis, leyes, teorías) debe ser sancionado por la experiencia y la realidad concreta (p.29)”.

Así pues, investigar supone aplicar la inteligencia a la exacta comprensión de la realidad objetiva, a fin de dominarla. Sólo al captar la esencia de las cosas, al confrontarla con la realidad, se cumple la labor del investigador y en esa medida la consecuencia de tal proceso incrementará los conocimientos científicos.

Según estas definiciones, la investigación puede establecerse desde un punto de vista científico en donde lo que se pretende es interpretar el conocimiento de acuerdo a una necesidad; sin embargo, es necesario tener en cuenta otra mirada en torno al concepto de investigación, mirada a partir de la cual se pueda entender la investigación con una visión más profunda.

De acuerdo a este panorama, se retoma lo planteado por Narváez y Sánchez quienes definen la investigación como “un proceso intencional de construcción de nuevos conocimientos que permitan interpretar los fenómenos del medio en interacción con personas que también se transforman de manera amplia y completa en beneficio de la sociedad” (Narvaez & Sánchez, 2001) A partir de este planteamiento, la investigación es vista como una herramienta fundamental en el desarrollo de las realidades que se quieren ampliar, mejorar o modificar en beneficio de la sociedad y del mismo individuo, todo esto a partir de la construcción de conocimiento que en este sentido es definido como la esencia de la búsqueda de toda investigación y que además pretende aportar a la transformación de una realidad.

Por lo dicho con anterioridad y teniendo en cuenta la revisión teórica que hasta este momento se presenta acerca de las diferentes posturas en torno a la definición de investigación, resulta pertinente para el presente estudio sintetizar algunas definiciones y alcances sobre investigación social, algunas de ellas se presentan a continuación.

Para Briones “la investigación social es un proceso destinado a obtener un conocimiento científico acerca de la estructura, las transformaciones y los cambios de la realidad social” (Briones, 1980, p.8); Torres considera “la Investigación Social como un proceso sistemático destinado a producir y comunicar conocimientos acerca de una problemática definida de la realidad social”. (1999, p.50) y un último concepto afirma que “la investigación social es el proceso que utilizando la metodología científica permite obtener nuevos conocimientos en el campo de la realidad social” (Ander-Egg, 1978, p. 29).

A partir de los planteamientos hechos por estos autores se puede afirmar que la investigación social busca fundamentalmente la descripción, comprensión, significación y evaluación del objeto de estudio, partiendo desde luego de la existencia de un problema o situación que requiera ser solucionado o entendido, de tal manera que los resultados que a partir de la investigación se obtengan, correspondan realmente a las características

del problema estudiado y cuyo contexto esté dado a partir de la realidad social.

Por lo anterior, y tal como lo plantea Briones (1995), la investigación social no puede ser una actividad improvisada, pues ésta al sustentar y orientar sus resultados hacia los intereses sociales y culturales de una realidad, requiere de un estudio y documentación profundos del tema a investigar, así como también de la definición y aplicación de una buena metodología de trabajo que contribuya al desarrollo de la investigación y al avance del conocimiento, se requiere además por parte del investigador disciplina y constancia, características que están directamente ligadas al óptimo resultado que se desea obtener.

A partir de lo que se ha abordado sobre investigación social, es evidente la relevancia de relacionarla con el hecho educativo, en este sentido, cuando se habla de investigación en educación se hace referencia a la generación de conocimiento científico, referido a un hecho social que se denomina educación, de esta forma se reconoce la relación de la investigación educativa en el marco de las ciencias sociales.

Esta manera de asumir la investigación, conduce a cuestionarse: ¿a partir de cuándo puede comenzar a hablarse de investigación en educación? y ¿cómo se ha relacionado con el ámbito educativo? Para dar respuesta a estas inquietudes, en primer lugar se hace una revisión frente al origen de la Investigación Educativa, la cual entendida como disciplina según Blanco (2007) es un ámbito de conocimiento reciente, aproximadamente tiene un siglo de historia, pues, su origen se sitúa a fines del siglo XIX, cuando la pedagogía, a semejanza de lo que anteriormente habían realizado disciplinas humanísticas, como la sociología, la psicología entre otras, adoptó la metodología científica como instrumento fundamental para constituirse en una ciencia.

La investigación educativa como disciplina de base empírica se denominó inicialmente pedagogía experimental, la cual surgió en un contexto histórico-social en donde era evidente el interés por afianzar la educación sobre fundamentos empíricos e incorporar el método experimental en las ciencias humanas. Según los estudios que en 1949 Buyse presentó (citado en Arnal, Rincón, & Latorre, 1994) se pueden diferenciar tres influencias principales en la pedagogía experimental: el pensamiento filosófico dominante en el siglo XIX, el nacimiento de la pedagogía científica y el desarrollo de la metodología experimental. Este planteamiento conduce a analizar que esa conversión científica no fue un producto del azar, sino

el resultado de un largo proceso que comenzó a fines de la Edad Media y a principios de la Moderna, fruto del trabajo de diversos autores, dando así surgimiento a un nuevo modelo de aproximaciones al conocimiento de la realidad en el ámbito educativo.

Es necesario entonces tener en cuenta que en el campo educativo, como en el resto de las ciencias, la investigación se ha constituido en una actividad precisa y elemental, por ello, se ha configurado la investigación educativa como disciplina que “trata las cuestiones y problemas relativos a la naturaleza, epistemología, metodología, fines y objetivos en el marco de la búsqueda progresiva de conocimiento en el ámbito educativo” Arnal et al (1994).

Por su parte, Vielle (1989) explica el concepto afirmando que: “la investigación educativa se extiende como todo proceso de búsqueda sistemática de algo nuevo, se trata de actividades intencionales y sistemáticas que llevan al descubrimiento y a la intervención de algo nuevo” (Citado por Albert, 2007). Ese algo de acuerdo a lo planteado por este autor, producto de la investigación, no es solamente del orden de las ideas y del conocimiento, sino que genera resultados diversos y muy diferentes, nuevas ideas, conceptos, teorías, nuevos diseños, valores, prototipos, comportamientos y actitudes.

Con relación a los rasgos distintivos de la Investigación Educativa, para Carr y Kemmis (1988) la investigación se legitima como educativa, cuando desenvuelve prácticas y teorías educativas y formativas enmarcadas en situaciones y contextos educacionales y prácticos. Para estos autores, el decir que son prácticos implica afirmar que son situaciones que no siempre son resueltas a través del descubrimiento de un nuevo saber, sino también a través de la elección de un camino o una línea de acción.

En cuanto a su finalidad, se encuentran diferentes visiones, así, para Kerlinger (citado en Hernández, 2006) la finalidad de la investigación educativa es llegar a elaborar teorías que expliquen los fenómenos educativos; mientras que otros autores, argumentan que el objetivo debe ser el de interpretar la educación en cada contexto para mejorar la práctica educativa y así solucionar problemas de orden práctico, a cuyo tipo de investigación educativa Stenhouse (2007) la califica como una indagación sistemática y continua, planificada y autocrítica, añadiendo un elemento importante, que debe ser sometida a la crítica pública.

Simplificando, se encuentran diversas y hasta contrapuestas posturas de investigación en el campo educativo que de una u otra forma reper-

cuten en esa pluralidad de procesos de investigación en la educación, dando lugar a formas diversas de operar las disciplinas educativas en la actualidad.

De forma semejante, resulta fundamental hacer referencia a un aspecto que cobra relevancia en la investigación educativa, y es los tipos de investigación que al transcurrir el tiempo han venido surgiendo, productos de una u otra investigación y que han ido aportando diferentes acercamientos al ámbito educativo, generando así un conocimiento más profundo.

Así, es importante definir tres abordajes en los cuales el término investigación ha sido discutido y que muchas veces en los escenarios educativos no se consigue diferenciar; si bien es prudente decir que hablan de un fenómeno similar, deben tener consideraciones diferentes. Tal como lo sintetiza Restrepo:

Aunque para el común de los investigadores no exista una diferencia de énfasis, amerita distinguir dos términos que suelen usarse para referirse a la investigación de los objetos educativos: investigación en educación e investigación educativa, a los cuales deseamos agregar un tercer término, investigación sobre educación. (1996, p. 17).

Bajo esta perspectiva, este autor retoma en primer lugar el concepto de investigación educativa, como aquella que se entiende generalmente centrada en lo pedagógico, esta se refiere a los estudios históricos sobre la pedagogía, a la definición de su espacio intelectual, o a la investigación aplicada a objetos pedagógicos en busca del mejoramiento de la educación, como es el caso de la indagación sobre el currículo, los métodos de enseñanza y demás factores inherentes al acto educativo (tiempo de aprendizaje, medios y materiales, organización y clima de la clase, procesos de interacción o comunicación...). Para cumplir tales propósitos, la investigación describe, clasifica, explica, predice, experimenta y controla los factores objeto de estudio, dando lugar a investigación teórica, experimental y de investigación y desarrollo de procesos y objetos educativos. Esta visión amplía el concepto que sobre investigación educativa se planteó al comienzo de este apartado y al igual que los otros conceptos, centran su atención en los procesos educativos.

En cuanto a la investigación sobre educación, que corresponde al segundo aspecto, Mialaret (1977), en su obra *Ciencias de la educación*, distingue la investigación de aquellas disciplinas que estudian los hechos

y las situaciones educativas con una perspectiva macroscópica, como la historia, la economía, la sociología, la demografía y en general las ciencias de la educación que utilizan métodos de investigación de rigor científico ya que enfocan hechos estables y claramente definidos; para este autor, el objeto de la investigación educativa es “definir e identificar los hechos educacionales sobre los que se podrá hacer un análisis científico riguroso, es decir un estudio de las situaciones educacionales pasadas, presentes y futuras” (p 68).

En el mismo camino, para Restrepo (1996) la investigación sobre educación se refiere, entonces, más a estudios científicos explicativos o comprensivos de fenómenos relacionados con la educación y que son abordados por otras ciencias y disciplinas como la filosofía, la antropología, la economía, la administración, la sociología y, por supuesto, la psicología, desde su mirada particular (no pedagógica), disciplinas y ciencias que aportan conceptos, teorías e instrumentos que apoyan el análisis de problemas de la educación y ofrecen marcos conceptuales a la investigación en educación. A éstas se les ha denominado ciencias básicas de la educación y a las aplicaciones de ellas a objetos educativos se les ha denominado ciencias de la educación. Existen, así, aplicaciones concretas como sociología de la educación, filosofía de la educación, economía de la educación y psicología del aprendizaje, de la adolescencia, de grupos.

El británico Stenhouse (2007), señala que la investigación es educativa en el grado en que puede relacionarse con la práctica de la educación, en la medida en que se realiza dentro del proyecto educativo y enriquece la empresa educativa. El mismo autor aclara que es investigación sobre educación la que desde el punto de vista de otras disciplinas, la historia, la filosofía, la psicología, la sociología, realiza contribuciones incidentales a la empresa educativa.

Ahora bien, el tercer aspecto, investigación en educación, se usa para referirse a todo estudio investigativo relacionado con educación, sea investigación educativa o investigación sobre educación y busca asociar las dos anteriores, teniendo en cuenta que cualquier investigación en éste ámbito independiente de su razón o intención, beneficiará el campo educativo, esta teoría afirma el postulado presentado en líneas anteriores por Stenhouse en relación a plantear la investigación como base de la enseñanza, ya que sin investigación el proceso educativo podrá tener poco o relativo éxito.

Para avanzar en la comprensión de esta temática, es necesario además considerar que el concepto de investigación en educación ha ido cambiando y adoptando nuevos significados, a la vez que han ido apareciendo nuevos enfoques y modos de entender el hecho educativo, en la actualidad son múltiples los significados que puede adoptar este concepto, si se consideran la diversidad de objetivos y finalidades que se le asignan. Es por esto que resulta necesario abordar el siguiente apartado vinculado con los paradigmas educativos.

Hablar sobre el significado de los paradigmas y las implicaciones que éstos tienen en la práctica educativa, no es una tarea sencilla, ya que habría que discutir en principio qué se entiende por paradigma y la manera como éstos se reflejan en las prácticas educativas y en el quehacer de la investigación. En dichas actividades emergen un sistema de creencias acerca de la realidad, de la relación del que investiga con el objeto, de la naturaleza del conocimiento y las formas de proceder para buscarlo y generarlo, así que enmarcar estas ideas en un paradigma con frecuencia resulta una tarea complicada.

Durante las últimas décadas han surgido múltiples lenguajes científicos, de diversidad de posiciones epistemológicas y de nuevas perspectivas de investigación que han sido englobados bajo la denominación de paradigmas de investigación. La palabra paradigma se puede encontrar hoy en cientos de textos científicos, en artículos de variados textos y hasta en una simple conversación cotidiana, sin embargo, en las ciencias sociales se le han atribuido múltiples y diversos significados: como sinónimo de teoría, corriente de pensamiento o escuela, modelo de investigación o sinónimo de método; por ello, resulta pertinente considerar brevemente el concepto de paradigma a partir de diversos planteamientos.

Con respecto a la noción de paradigma, Skrtic (citado en Flores, 2004) señala que en las décadas pasadas el concepto de paradigma se asoció de manera más frecuente con el análisis que Kuhn hace del progreso científico, según Skrtic en 1971 Kuhn, a partir de su obra clásica la estructura de las revoluciones científicas admite la pluralidad de significados y usos diferentes del término paradigma, definiéndolo como:

Conjunto de creencias y actitudes que permiten asumir una visión del mundo compartida por un grupo de científicos que implica, específicamente, una metodología determinada, es una concepción general del objeto de estudio de una ciencia, de los problemas que deben estudiarse, del método que debe emplearse en la investigación y de las formas de

explicar, interpretar o comprender, según el caso, los resultados obtenidos por la investigación” (p. 16).

Aunque la noción de paradigma fue el concepto central de la obra de Kuhn, este autor no ha sido estable acerca de su significado. Según una revisión minuciosa hecha por Masterman (citada en Lakatos, 1989) hay más de veinte usos de dicho término en el trabajo original de Kuhn, quien ilustra el concepto de paradigma y cambio de paradigma con las ciencias físicas.

Siguiendo con este análisis e dada la diversidad de significados que tiene el término paradigma, es pertinente además presentar la definición dada por Patton (2002) en la cual afirma: “Un paradigma es una forma de ver el mundo, una perspectiva general, una manera de fragmentar la complejidad del mundo real. Dicho esto, los paradigmas están enraizados en la socialización de los adeptos y de los practicantes, los paradigmas dicen a ellos lo que es importante, legítimo y razonable.” (p. 37).

El paradigma es un esquema teórico, o una vía de percepción y comprensión del mundo, que un grupo de científicos ha adoptado. Como se puede deducir, “cada comunidad científica participa de un mismo paradigma y constituye así una comunidad intelectual cuyos miembros tienen en común un lenguaje, unas metas y unas creencias” (Fernández Díaz, 1985, p.184). Del mismo modo para Guba (citado por Krause, 1995) el paradigma es entendido como “...un conjunto básico de creencias que guía la acción, tanto de la vida cotidiana como la acción relacionada con la investigación científica” (p. 20).

De acuerdo con los planteamientos anteriores, se puede afirmar que toda investigación está guiada por diferentes concepciones, teorías, costumbres, tradiciones, creencias, reglas, procedimientos; que definen cómo operar la investigación y que hacen referencia a los paradigmas, los cuales constituyen las reglas de juego que orientan dicha actividad. El término paradigma se usa por tanto, para designar una postura, una opción o un modo sistemático de investigar.

En la investigación educativa surgen diversos sistemas de creencias acerca de la realidad, de la relación del investigador con el objeto, y acerca de la manera de buscar el conocimiento, los cuales toman forma de paradigmas. El tema de la investigación ha estado determinado por diversos debates en torno a los paradigmas, se ha trabajado desde enfoques cualitativos hasta enfoques cuantitativos; enfoques marcadamente positivistas a

enfoques más abiertos y pluralistas. Arnal, Del Rincón y Latorre (1994), consideran que “esta división es producto de las dos grandes tradiciones filosóficas predominantes en la cultura: realismo e idealismo” (p. 38), de ahí la aceptación de la diversidad epistemológica y la pluralidad metodológica que se evidencia en el ámbito educativo.

En términos de Guba (citado por Krause, 1995), los paradigmas pueden ser caracterizados según la manera en que sus representantes responden a tres preguntas, la primera de corte ontológico: ¿Cuál es la naturaleza que lo conocible o cuál es la naturaleza de la realidad?; la segunda de orden epistemológico: ¿de qué naturaleza es la relación entre el investigador y aquello que desea conocer? y la última de orden metodológico: ¿Cómo deberá el investigador proceder en la búsqueda del conocimiento? La respuesta a estas preguntas constituye el sistema de creencias de un paradigma, y sobre sus bases es que algunos autores distinguen entre paradigma positivista, post positivista, interpretativo o fenomenológico, constructivista, entre otros, hay quienes sólo distinguen entre paradigma cualitativo y cuantitativo; en fin, es amplia la distinción o clasificación de distintos paradigmas, lo cual ha permitido entender que existen diferentes creencias, diferentes formas de ver los hechos, y de esta forma concebir el mundo y lo que en él ocurre de modos profundamente heterogéneos.

Los términos utilizados para conceptualizar cada uno de los paradigmas de la investigación educativa, reflejan los diferentes análisis que en torno a este tema se han desarrollado, así, para Arnal et al. (1994):

En la actualidad son varios los autores (Bredo y Feinberg, 1982; Koe-tting, 1984; Popkewitz, 1984; Soltis, 1984; Lincoln y Guba, 1985; Morin, 1985; De Miguel, 1988; entre otros) que han definido e identificado tres grandes paradigmas como marcos generales de referencia de la investigación en educación, superando la dicotomía tradicional planteada en términos de enfoque cuantitativo frente a enfoque cualitativo (p. 39).

Si bien, existe amplia terminología para denominar los paradigmas, en este caso las numerosas tradiciones de investigación se pueden agrupar empleando las expresiones de paradigma positivista, paradigma interpretativo y paradigma sociocrítico, como categorías que recogen y clarifican mejor el sentido de las diferentes perspectivas de investigación. Es necesario aclarar que esta categorización no necesariamente ha de comprenderse de manera excluyente, no obstante, establecer alguna distinción permite situar abordajes diferenciales desde los cuales se puedan plantear diferentes análisis en torno al objeto del presente estudio.

Abordar el tema de la investigación en educación y los rasgos que han marcado su significación es una tarea extensa que no se pretende agotar en estas páginas, se trató de incluir aquellos aspectos que se consideraron relevantes para abordar la discusión y se deja abierta la posibilidad a nuevas interpretaciones y abordajes.

Bibliografía

- ALBERT, G. (2009). *La investigación educativa. Claves teóricas*. España: Mc Graw-Hill.
- Ander-Egg, E. (1978). *Introducción a las técnicas de Investigación: Para trabajos sociales*. Buenos Aires: Humanistas.
- ARNAL, J., Rincón, D., & Latorre, A. (1994). *Investigación educativa*. Barcelona: Labor.
- BLANCO, C. (2007). *En resumen: discurso y conocimiento en la investigación educativa*. Caracas: UCV.
- BORRERO, A. (2004). *Administración de la Investigación*. Conferencia XXVI, Simposio permanente sobre Universidad. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- BORRERO, A. (2008). Simposio Permanente sobre Universidad. Conferencia XXVI "Administración de la investigación en la Universidad".
- BRIONES, G. (1980). *La formulación del problema de investigación social*. México: Trillas.
- BRIONES, G. (1995). *La investigación social y educativa*. Bogotá: SECAB.
- CARR, W., & Kemmis, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza*. Barcelona: Martínez Roca.
- CORBETTA, P. (2007). *Metodologías y técnicas de investigación social*. Madrid: Mc. Graw Hill.
- FERNÁNDEZ, D. (1985). *Paradigmas de la investigación pedagógica*. Madrid, Anaya: A. de a Orden (ed).

-
- FLORES. (31 de Enero de 2004). Reista Digital Universitaria. Acceso em 2012 de 27 de Noviembre, disponível em http://www.revista.unam.mx/vol.5/num1/art1/ene_art1.pdf
- HERNÁNDEZ, S. (2006). Metodología de la Investigación (Cuarta ed.). México: Mc Graw-Hill.
- KRAUSE, M. (1995). La investigación cualitativa: Un campo de posibilidades y desafíos. Temas de Educación, 19 - 40.
- KUHN, T. (2004). La estructura de la revoluciones científicas. México: Fondo de Cultura Económica.
- LAKATOS, I. (1989). La metodología de los paradigmas de investigación científica. Madrid: Alianza.
- MIALIARET, G. (1977). Ciencias de la Educación. Barcelona: Oikos-tau.
- NARVAEZ, J., & SÁNCHEZ, J. V. (2001). La investigación como factor estratégico de desarrollo en Colombia: investigar o caer en la marginalidad. Acceso em 3 de Diciembre de 2012, disponível em [Revista Escuela de Administración de Negocios: http://journal.ean.edu.co](http://journal.ean.edu.co)
- NIETO, S., & RODRÍGUEZ, M. J. (2009). Investigación y evaluación educativa en la sociedad del conocimiento (1ª ed.). España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- PATTON, Q. (2002). Two decades of developments in qualitative inquiry. Qualitative Social Work.
- PÉREZ, S. G. (1998). Investigación Cualitativa: retos e interrogantes. Métodos (Vol. I). La Muralla.
- PERRENOUD, P. (2001). La formación de los docentes en el siglo XXI. Revista de tecnología educativa.
- POPKEWITZ, T. (1988). Paradigma e ideología en investigación educativa. Madrid: Mondadori.
- Portal Oficial IDEP. (s.d.). Acceso em 1 de Junio de 2010, disponível em <http://www.idep.edu.co>
- RESTREPO, B. (1996). Investigación en Educación. Bogotá: IC-FES.

- ROJAS SORIANO, R. (2006). Guía para realizar investigaciones sociales. México: Plaza y Valdés.
- SAMPIERI, H. (2006). Metodología de la Investigación (Cuarta ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- STENHOUSE, L. (2007). La investigación como base de la enseñanza (Cuarta ed.). Madrid, España: Morata.
- TAMAYO Y TAMAYO, M. (2005). La administración de la investigación y su incidencia en el proceso investigativo. Memorias VII Congreso Latinoamericano de Educación para el desarrollo del pensamiento. Colombia.
- TAMAYO, T. M. (2003). El proceso de la Investigación Científica (Cuarta ed.). México: Limusa, Noriega Editores.
- TORRES CARRILLO, A. (1999). Investigar en Comunidad. Bogotá: Rams.

S | T

Serie Selección de Textos

La *Serie Selección de Textos* se propone publicar, por una parte, trabajos presentados en coloquios, congresos y simposios organizados en la Facultad de Humanidades de la Universidad de Valparaíso; y por otra, la producción académica de pre y post-grado debidamente arbitrados por el claustro de profesores correspondiente.

ISBN 978-956-358-724-1

